



**HAL**  
open science

# Prise en charge des déformations des pieds en neuro-orthopédie : atteinte de l'objectif thérapeutique et proposition de nouveaux éléments d'évaluation

Cédric Blouin

## ► To cite this version:

Cédric Blouin. Prise en charge des déformations des pieds en neuro-orthopédie : atteinte de l'objectif thérapeutique et proposition de nouveaux éléments d'évaluation. Chirurgie. Université Paris-Saclay, 2023. Français. NNT : 2023UPASW006 . tel-04387049

**HAL Id: tel-04387049**

**<https://theses.hal.science/tel-04387049>**

Submitted on 11 Jan 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Prise en charge des déformations des pieds en neuro-orthopédie : atteinte de l'objectif thérapeutique et proposition de nouveaux éléments d'évaluation

*Foot deformity management in neuro-orthopedics: achieving the therapeutic goal and proposing new assessment elements*

## Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n° 566, Sciences du sport, de la motricité et du mouvement humain (SSMMH)  
Spécialité de doctorat : Sciences du Sport et du Mouvement Humain  
Graduate School : Sport, mouvement facteurs humains  
Réfèrent : Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines

Thèse préparée dans les Unités de Recherche **ERPHAN** (Université Paris-Saclay, UVSQ) et **END-ICAP** (Université Paris-Saclay, UVSQ, INSERM)  
sous la direction de **François GENET**, PhD-HDR Professeur des Universités,  
le co-encadrement de **Antoine PERRIER**, PhD-HDR

Thèse soutenue à Garches, le 20 novembre 2023, par

**Cédric BLOUIN**

## Composition du Jury

Membres du jury avec voix délibérative

<b>Patricia THOREUX</b> , PhD. HDR Professeur des Universités Praticien Hospitalier, Université Sorbonne Paris Nord, Hôpital Hôtel-Dieu	Présidente
<b>Virginie BLANCHETTE</b> , PhD. HDR Professeur des Universités, Université du Québec à Trois-Rivières	Rapportrice & Examinatrice
<b>Peggy GATIGNOL</b> , PhD. HDR Professeur des Universités, Sorbonne Université, Hôpital Pitié-Salpêtrière	Rapportrice & Examinatrice
<b>Frédéric DUBRANA</b> , PhD. HDR Professeur des Universités Praticien Hospitalier, Université de Bretagne Occidentale, CHU Cavale Blanche Brest	Examineur
<b>Nicolas NAIDITCH</b> , PhD Université de Tours	Examineur

**Titre :** Prise en charge des déformations des pieds en neuro-orthopédie : atteinte de l'objectif thérapeutique et proposition de nouveaux éléments d'évaluation.

**Mots clés :** Neuro-orthopédie – Déformations des pieds – Appareillage – Chirurgie orthopédique – Maladie de Charcot-Marie-Tooth – Hallux valgus

**Résumé :** La prise en charge des patients en orthopédie et neuro-orthopédie repose d'abord sur des traitements conservateurs tels que la rééducation et l'appareillage, et peut évoluer progressivement vers une nécessité d'actes médico-chirurgicaux. Les choix thérapeutiques doivent se baser sur un panel d'évaluations solides. Ceci s'avère d'autant plus exact lorsque les problématiques concernent le pied, dont l'anatomie structurelle et fonctionnelle est complexe, exposant ainsi à des difficultés de compréhension de l'ensemble des mécanismes physiopathologiques.

L'objectif principal de cette thèse est de participer à la prévention des insatisfactions possibles issues des thérapeutiques proposées, qu'elles soient orthétiques ou chirurgicales, en proposant de nouvelles modalités d'analyse des attentes des patients en orthopédie, en qualifiant les parcours de soins des patients en neuro-orthopédie amenant à l'appareillage, et en proposant ainsi des outils de standardisation des pratiques d'évaluations.

Dans le champ de l'orthopédie concernant les déformations du pied, nos résultats suggèrent qu'il semble nécessaire d'améliorer l'évaluation du contexte de l'acte chirurgical, en incluant une analyse exhaustive du motif de consultation.

Dans le cadre de neuropathies dégénératives telles

Charcot-Marie-Tooth, les parcours de soins hétérogènes et non standardisés conduisent à une prise en charge massive par appareillages ; pourtant largement sous-utilisés (49%) chez 940 sujets CMT interrogés pour cause notamment d'inadaptations. Les connaissances des indicateurs orientant vers le meilleur choix de l'appareillage ou la meilleure contextualisation de la chirurgie ne semblent pas encore bien établies. Les analyses cliniques relatives aux déformations des pieds, les prescriptions et réalisations d'appareillages qui en découlent ne semblent pas consensuelles et hétérogènes. Il semble exister un besoin d'utilisation d'outils validés, le Foot Posture Index à 6 items paraissant ainsi incontournable.

Il apparaît nécessaire d'apprécier davantage le contexte chirurgical avec les attentes du patient, de faire usage d'évaluations standardisées montrant d'excellentes qualités métrologiques, et de considérer l'utilisabilité des appareillages. Cette approche multimodale permettra d'abord d'améliorer la compréhension des problématiques des patients, puis d'uniformiser les bonnes pratiques basées sur les preuves afin d'envisager une prise en charge plus performante pour les patients.

**Title :** Foot deformity management in neuro-orthopedics: achieving the therapeutic goal and proposing new assessment elements.

**Keywords :** Neuro-orthopedics - Foot deformities – Orthotic devices - Orthopaedic surgery - Charcot-Marie-Tooth disease - Hallux valgus

**Abstract :** The management of orthopedic and neuro-orthopedic patients is initially based on conservative treatments such as rehabilitation and orthotic devices, and may gradually evolve towards the need for medical-surgical procedures. Therapeutic choices must be based on a panel of solid assessments. This is all the more true when the problem concerns the foot, whose structural and functional anatomy is complex, making it difficult to understand all the pathophysiological mechanisms involved.

The main aim of this thesis is to help prevent possible dissatisfaction with proposed therapies, whether orthotic or surgical, by proposing new ways of analyzing orthopedic patients' expectations, qualifying neuro-orthopedic patients' care pathways leading to orthotic devices, and proposing tools for standardizing assessment practices.

In the field of orthopedics for foot deformities, our results suggest the need to improve assessment of the context of the surgical procedure, by including an exhaustive analysis of the reason for consultation.

In the case of degenerative neuropathies such as Charcot-Marie-

Tooth, heterogeneous and non-standardized care pathways lead to massive use of orthotic devices, although these were largely under-utilized (49%) in the 940 CMT subjects surveyed, mainly because of poor fit. Knowledge of the indicators guiding the best choice of orthotic devices or the best contextualization surgery does not yet seem to be well established. Clinical analyses of foot deformities, and the resulting prescriptions and fitting of devices, do not appear to be consensual or uniform. There seems to be a need for the use of validated tools, with the 6-item Foot Posture Index appearing to be essential.

It would appear necessary to take greater account of the surgical context and the patient's expectations, to make use of standardized assessments with excellent metrological qualities, and to consider the usability of orthotic devices. This multimodal approach will firstly improve our understanding of patients' problems, and then standardize the evidence-based best practices, so that we can envisage more effective patient care.





*“Dans les champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés.”*

*Louis Pasteur*



## REMERCIEMENTS

Je tiens vivement à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont soutenu tout au long de ce périple.

Dans un premier temps, je remercie les participants aux études.

Je remercie vivement les professeurs Peggy Gatignol et Virgine Blanchette d'avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail de thèse, ainsi que Pr Patricia Thoreux, Pr Frédéric Dubrana, et Dr Nicolas Naïditch en tant qu'examineurs. Je serai ravi de vous présenter ces travaux, et honoré de pouvoir échanger avec vous afin d'enrichir mes réflexions.

Je remercie sincèrement François Genêt pour sa bienveillance et ses compétences en tant que directeur de thèse. François, je te remercie de m'avoir accompagné jusqu'à la soutenance en toute confiance. Tu m'as permis d'arriver à l'aboutissement de ce manuscrit de thèse en respectant l'honneur de mon travail. Je te remercie également pour les discussions pour l'avenir. Je remercie chaleureusement Antoine Perrier de m'avoir ouvert les portes d'accès à la thèse et pour son encadrement. Antoine, je te remercie pour ton partage d'expérience et d'expertise, pour ta confiance, et de m'avoir guidé vers ce chemin que j'affectionne particulièrement. Tu as su comprendre ma volonté d'évolution, et tu m'as montré en toute humilité que cela était possible. Je te remercie pour ta participation à mon avancement professionnel.

Je remercie Céline Bonnyaud de m'avoir épaulé tout au long de ce chemin. Céline, tu as joué un rôle majeur dans les moments clés. Ta ferveur et ta loyauté sont vénérables.

Je tiens à remercier l'ensemble de notre Unité de Recherche ERPHAN, Samuel Pouplin, Théo Maulet, Élise Dupitier. Vous avez contribué de près à mon évolution. Votre aide et votre écoute active m'ont permis de ne rien lâcher. Je vous remercie pour tous les agréables moments.

Je suis très reconnaissant envers Wilfrid Graff et l'équipe de chirurgie orthopédique de l'hôpital de la Croix-Saint-Simon : Antoine Mouton, Thomas Aubert, Simon Marmor, Adénike Adedjouma, Younès Kerroumi, je vous remercie tous pour votre confiance.

Je remercie fortement Johanna Robertson et Lionelle Nkam pour leurs compétences.

Je remercie mes amis, Michel, Romain, Mildred, Laurent, Marion, pour leur présence.

Finalement, je remercie infiniment mes proches, sans qui rien n'aurait été possible. Je remercie ma mère pour son soutien à toute épreuve.



Eva, merci pour tout ton amour, je ne l'oublierai pas. À nous, à notre équipe. Andréa, si tu es amenée à lire ces quelques mots, sache que tu es maintenant l'essence de ma vie. Il en est de même pour toi, Roman, bienvenue dans notre équipe.

Cette thèse repose sur un appel d'offre de l'Agence Régionale de Santé Île-de-France (2018) dont des membres de mon équipe du laboratoire ERPHAN (Céline Bonnyaud, Samuel Pouplin) et moi-même ont été lauréats. Elle s'ancre dans un projet d'accompagnement vers l'émergence d'enseignants-chercheurs bi-appartenants, et sur une bourse de l'Institut de Santé Parasport Connecté ISPC-Synergies.

## Publications et Communications

### Publications dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture

**Blouin, C.**, Perrier, A., Denormandie P., Genêt, F. (2023). Relationship between care pathway features and use or non-use of orthotic devices by individuals with Charcot-Marie-Tooth disease: a cross-sectional, exploratory study. *Disability and Rehabilitation*. DOI: 10.1080/09638288.2023.2208883

**Blouin, C.**, Genêt, F., Graff, W., Bonnyaud, C., Perrier, A. (2023). Cross-cultural adaptation and reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) – French version. *Disability and Rehabilitation*. DOI: 10.1080/09638288.2023.2203524

**Blouin, C.**, Genêt, F., Denormandie, P., Graff, W., Perrier, A. (2022). Development of a preoperative questionnaire to improve satisfaction with hallux valgus repair: A Delphi study. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276303>

### Publications dans des revues professionnelles à comité de lecture

Mangin, P., Casabianca, L., **Blouin, C.** (2023). Détection clinique et radiologique d'une inégalité de longueur des membres inférieurs. DOI: 10.1016/j.revpod.2022.12.003

Casabianca, L., **Blouin, C.** (2023). Les différentes corrections possibles chez l'adulte avec inégalité de longueur de membre inférieur après prothèse de hanche. DOI: 10.1016/j.revpod.2022.12.004

**Blouin, C.**, Genêt, F., Perrier, A. (2021). De la chiropodie à la podiatrie : progression des formations à l'international. DOI: 10.1016/j.revpod.2021.05.005

**Blouin, C.**, Perrier, A., Genêt, F. (2021). Du chirurgien pédicure au pédicure-podologue enseignant-chercheur. DOI: 10.1016/j.revpod.2021.05.004

## **Communication dans des congrès nationaux**

**Blouin, C.**, Perrier, A., Denormandie P., Genêt, F. (2022). Facteurs de risques de non-utilisation de l'appareillage par des patients atteints de la maladie de Charcot-Marie-Tooth : une étude transversale exploratoire. Congrès de la Société Française de Médecine Physique et de Réadaptation, Rennes, France, Décembre. (Communication orale)

**Blouin, C.**, Genêt, F., Denormandie, P., Graff, W., Perrier, A. (2023). Development of a preoperative questionnaire to improve satisfaction with hallux valgus repair: A Delphi study. Congrès de l'Association Française de Chirurgie du Pied, Strasbourg, France, Mai. (Communication orale)

**Blouin, C.**, Genêt, F., Graff, W., Bonnyaud, C., Perrier, A. (2023). Cross-cultural adaptation and reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) – French version. Disability and Rehabilitation. Congrès de la Société Française de Médecine Physique et de Réadaptation, Le Havre, France, Octobre. (Communication orale)



# Table des matières

---

<b>Liste des abréviations.....</b>	<b>8</b>
<b>Table des figures.....</b>	<b>10</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>13</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>14</b>
<hr/>	
<b>Chapitre 1 : Généralités anatomiques - Anatomie structurale du pied et de la cheville</b>	<b>18</b>
<hr/>	
1 Introduction.....	18
2 Ostéologie, arthrologie .....	18
2.1 Articulation talo-crurale.....	19
2.2 Articulation subtalaire .....	20
2.3 Articulation transverse du tarse .....	21
2.4 Articulation tarso-métatarsienne.....	21
2.4.1 Articulation métatarso-phalangienne (MTP).....	23
2.4.2 Articulations interphalangiennes proximale (IPP) et distale (IPD).....	24
3 Myologie .....	25
3.1 Les muscles de la jambe .....	25
3.1.1 Loge antérieure de jambe .....	25
3.1.2 Loge latérale de jambe .....	29
3.1.3 Loge postérieure profonde de jambe.....	31
3.1.4 Loge postérieure superficielle de jambe.....	34
3.2 Les muscles du pied.....	35
3.2.1 Loge dorsale du pied .....	36
3.2.2 Loge plantaire intermédiaire .....	37
3.2.3 Loge plantaire interosseuse .....	40
3.2.4 Loge plantaire médiale .....	42
3.2.5 Loge plantaire latérale.....	45
4 Variations anatomiques musculo-squelettiques .....	48
4.1 Variations anatomiques osseuses.....	48
4.2 Variations anatomiques musculaires .....	50
5 Conclusion.....	52

1	Introduction.....	53
2	Pes cavus.....	53
2.1	Épidémiologie.....	53
2.2	Étiologie.....	54
2.3	Physiopathologie.....	54
3	Pes planus.....	57
3.1	Epidémiologie.....	58
3.2	Étiologies.....	59
3.3	Physiopathologie.....	60
4	Déformations des orteils latéraux.....	62
4.1	Concept fonctionnel : le modèle de Hicks, « Windlass Mechanism ».....	62
4.2	Physiopathologie des déséquilibres fonctionnels des déformations des orteils latéraux	65
4.2.1	Physiopathologie des déformations comprenant une hyperextension phalangienne proximale.....	65
4.2.1.1	Théorie musculaire.....	65
4.2.1.2	Théorie articulaire.....	66
4.2.1.3	Poids du mécanisme du Windlass dans la genèse des déformations.....	67
4.2.2	Physiopathologie des déformations comprenant une flexion des articulations interphalangienne proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD).....	67
5	Déformation du premier rayon en hallux valgus.....	68
5.1	Définition.....	68
5.2	Prévalence.....	68
5.3	Étiologies et physiopathologie.....	68
5.4	Examen clinique et pratique courante.....	71
5.5	Traitements de référence.....	73
5.6	Motif de consultation.....	75
5.7	Autour de la satisfaction et des attentes post-chirurgicales.....	75
5.7.1	Généralités.....	75
5.7.2	Aspect technique.....	76
5.7.3	Aspect fonctionnel, qualité de vie, bénéfices.....	76
5.7.4	Outils d'évaluation.....	77
5.7.5	Spécificité des outils.....	77
5.7.6	Conclusion sur les attentes du patient au sein du Groupe Hospitalier Diaconesses Croix Saint Simon.....	79
6	Conclusion sur les déformations des pieds.....	81

1	Validité et fiabilité.....	82
1.1	Validité .....	82
1.1.1	Validité de critère .....	83
1.1.2	Validité de construit .....	83
1.1.3	Validité de contenu.....	83
1.2	Fiabilité.....	83
2	Classifications morphologiques .....	84
2.1	Classification selon l'avant-pied.....	84
2.2	Classification selon le médio-pied.....	84
2.3	Classification selon l'arrière-pied.....	85
3	Classifications selon critères radiologiques : le gold standard.....	85
3.1	Mesures radiologiques dans le plan sagittal .....	86
3.2	Mesures radiologiques dans le plan horizontal.....	86
3.3	Mesures radiologiques dans le plan frontal .....	87
4	Classifications par empreintes.....	88
4.1	Le podographe .....	88
4.2	Classifications par empreintes podographiques.....	88
4.3	Le podoscope .....	90
4.4	Classifications par empreintes podoscopiques .....	90
5	Classifications selon mesures anthropométriques.....	92
5.1	Hauteur de l'arche longitudinale médiale.....	93
5.2	Angle de l'arche longitudinale médiale .....	93
5.3	Navicular Drop Test .....	93
5.4	Navicular Drift.....	94
5.5	Valgus Index.....	94
5.6	Rearfoot angle.....	94
5.7	Combinaison de mesures anthropométriques .....	95
5.8	Conclusion sur les outils de classification morphologiques.....	95
6	Le Foot Posture Index à 6 items (FPI-6) .....	96
7	Classification des déformations des orteils II à V .....	97
7.1.1	Définitions internationales .....	97
7.1.2	Classification morphologique .....	98
7.1.3	Classification fonctionnelle.....	100
8	Conclusion sur les théories de classification .....	101

---

**Chapitre 4 : Maladie de Charcot-Marie-Tooth** 102

---

1	Définition .....	102
2	Épidémiologie .....	103
3	Physiopathologie des déformations du pied dans la maladie CMT .....	105
4	Troubles de la marche dans la maladie CMT .....	106
5	Les outils de classifications de la maladie CMT .....	107
5.1	CMT Neuropathy Score (CMTNS) .....	107
5.2	CMT Pediatric Scale (CMTPedS) .....	109
5.3	CMT Disease Infant Scale (CMTInfS).....	110
5.4	Overall Neuropathy Limitations Scale (ONLS) .....	112
5.5	CMT Functional Outcome Measure (CMT-FOM).....	113
5.6	CMT Health Index (CMTIH) .....	114
6	Thérapeutiques des déformations du pied chez CMT .....	114
6.1	Prise en charge chirurgicale.....	115
6.2	Rééducation par kinésithérapie.....	116
6.3	Les orthèses suro-pédieuses.....	117
6.4	Les chaussures orthopédiques.....	119
6.5	Les orthèses plantaires .....	121
7	Conclusion sur la maladie de CMT .....	122

---

**Chapitre 5 : Modèle théorique** 123

---

1	Modèle logique théorique.....	123
2	Utilisation du modèle logique théorique .....	125

---

**Chapitre 6 : Problématiques et objectifs** 126

---

---

**Étude 1 : Développement d'un questionnaire préopératoire pour améliorer la satisfaction de la chirurgie de l'hallux valgus : une méthode DELPHI** 129

---

1	Introduction .....	129
2	Contexte scientifique.....	129
3	Objectifs et hypothèses.....	131
4	Méthode.....	131
4.1	Design.....	131
4.2	Examen des motifs d'insatisfaction de la chirurgie de l'hallux valgus .....	131



4.3	Comité de coordination .....	132
4.4	Panel d'experts .....	132
4.5	Procédure expérimentale .....	133
4.5.1	Étape 1 de la méthode DELPHI .....	136
4.5.2	Étape 2 de la méthode DELPHI .....	136
4.5.3	Étape 3 de la méthode DELPHI .....	136
4.5.4	Étape 4 de la méthode DELPHI .....	136
4.6	Analyses statistiques .....	137
5	Résultats .....	137
5.1	Raisons de l'insatisfaction des résultats de la chirurgie .....	137
5.2	Résultats des séries de questionnaires .....	139
6	Discussion .....	142
6.1	Panel d'experts .....	142
6.2	Raisons d'insatisfaction .....	142
6.3	Élaboration du questionnaire et validation des items par le panel d'experts .....	144
6.4	Items rejetés .....	146
6.5	Items supplémentaires .....	147
6.6	Évaluation de l'hallux valgus .....	147
6.7	Limites .....	148
7	Conclusion.....	149

**Étude 2 : Relation entre les caractéristiques du parcours de soins et l'utilisation ou la non-utilisation d'appareillage par des individus atteints de la maladie de Charcot Marie Tooth : une étude transversale exploratoire** 150

---

1	Contexte scientifique.....	150
2	Matériel et méthodes .....	153
2.1	Design de l'étude.....	153
2.2	Document de l'enquête .....	154
2.3	Critères d'inclusion et de non-inclusion.....	155
2.4	Analyse statistique .....	155
3	Résultats .....	160
3.1	Échantillon.....	160
3.2	Évaluation des déformations du pied.....	161
3.3	Praticiens consultés.....	161
3.4	Prescription, adaptation, suivi, évaluation et renouvellement .....	162
3.5	Non-utilisation de l'appareillage .....	163

3.5.1	Facteurs augmentant la non-utilisation.....	163
3.5.2	Facteurs réduisant la non-utilisation.....	165
3.6	Exemple de parcours.....	166
4	Discussion .....	168
4.1	Impact du parcours de soins sur l'utilisation et la non-utilisation des appareillages.....	169
4.2	Âge à l'apparition des symptômes et premières prescriptions .....	169
4.3	Entorses .....	169
4.4	Consultation pour le diagnostic et la prescription .....	170
4.5	Évaluation de la déformation du pied et rôle de la kinésithérapie.....	170
4.6	Consultations de suivi.....	171
4.7	Prescription de l'appareillage .....	171
4.8	Suivi de l'appareillage .....	173
4.9	Limites de l'étude.....	173
5	Conclusion.....	174

**Étude 3 : Adaptation transculturelle et fiabilité du Foot Posture Index (FPI-6) -  
Version française** 175

---

1	Contexte scientifique.....	175
2	Méthode.....	177
2.1	Adaptation transculturelle.....	178
2.2	Participants et évaluation du FPI-6.....	179
2.3	Analyse statistique .....	179
3	Résultats .....	180
3.1	Adaptation transculturelle.....	180
3.2	Fiabilité.....	181
3.3	Classification morphologique par le FPI-6.....	185
4	Discussion .....	187
4.1	Adaptation transculturelle.....	187
4.2	Fiabilité.....	189
4.3	Limites .....	190
5	Conclusion.....	191

**Discussion générale** 192

---

1	Autour de la prise en charge de l'hallux valgus .....	192
2	Autour de la prise en charge de la maladie de Charcot-Marie-Tooth .....	197

3	Autour de la normalisation des évaluations des déformations neuro-orthopédiques.....	203
4	Raisons du retard de la profession de pédicure-podologue.....	204
5	Autour des modèles.....	209
5.1	Modèle logique théorique.....	209
5.2	Evidence-Based Practice .....	210
5.3	Modèle biopsychosocial .....	213
	<b>Conclusion générale</b> .....	216
	<b>Références</b> .....	217
	<b>Annexes</b> .....	259
	Annexe A. Chapitre 5 : Épistémologie de la profession de « Pédicure-Podologue » .....	259
	Annexe B. Article “Development of a preoperative questionnaire to improve satisfaction with hallux valgus repair: a Delphi study” .....	286
	Annexe C. Questionnaire initial de la méthode DELPHI V1.....	304
	Annexe D. Questionnaire Étape 2 de la méthode DELPHI V2 .....	312
	Annexe E. Questionnaire Étape 3 et 4 de la méthode DELPHI V3/V4 .....	313
	Annexe F. Questionnaire final issu de la méthode DELPHI V5.....	321
	Annexe G. Article “Relationship between care pathway features and use or non-use of orthotic devices by individuals with Charcot-Marie-Tooth disease: a cross-sectional, exploratory study” .....	328
	Annexe H. Enquête - Charcot-Marie-Tooth.....	339
	Annexe I. Article “Cross-cultural adaptation and reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) – French version” .....	341
	Annexe J. Adaptation transculturelle du FPI-6 .....	350

## Liste des abréviations

---

ABDH Muscle abducteur de l'hallux

ABDQ Muscle abducteur du quintus

ADDH Muscle adducteur de l'hallux

C1 Premier os cunéiforme (médial)

C2 Deuxième os cunéiforme (intermédiaire)

C3 Troisième os cunéiforme (latéral)

CEH Muscle court extenseur de l'hallux

CEO Muscle court extenseur des orteils

CF Muscle court fibulaire

CFH Muscle court fléchisseur de l'hallux

CFO Muscle court fléchisseur des orteils

CFQ Muscle court fléchisseur du quintus

CMT Charcot-Marie-Tooth

CP Muscle carré plantaire

EBP Evidence-Based Practice

FPI-6 Foot Posture Index à six items

IMC Indice de Masse Corporelle

IOD Muscles interosseux dorsaux

IOP Muscles interosseux plantaires

IPD Articulation interphalangienne distale

IPP Articulation interphalangienne proximale

LEH Muscle long extenseur de l'hallux

LEO Muscle long extenseur des orteils

LF Muscle long fibulaire  
LFO Muscle long fléchisseur des orteils  
M1 Premier os métatarsien  
M2 Deuxième os métatarsien  
M3 Troisième os métatarsien  
M4 Quatrième os métatarsien  
M5 Cinquième os métatarsien  
MDC Minimal Detectable Change  
MTP Articulation métatarso-phalangienne  
OPPQ Muscle opposant du quintus  
P1 Phalange proximale  
P2 Phalange intermédiaire  
P3 Phalange distale  
TA Muscle tibial antérieur  
TP Muscle tibial postérieur

## Table des figures

---

Figure 1. Ostéologie Pied-Cheville. Application Visible Body .....	19
Figure 2. Articulation talo-crurale. Application Visible Body.....	20
Figure 3. Articulation subtalaire. Application Visible Body.....	21
Figure 4. Articulation transverse du tarse. Application Visible Body .....	21
Figure 5. Articulation tarso-métatarsienne. Application Visible Body.....	23
Figure 6. Articulations métatarso-phalangiennes (MTP). Application Visible Body .....	24
Figure 7. Articulations interphalangiennes. Application Visible Body .....	25
Figure 8. Muscle tibial antérieur (TA). Application Visible Body .....	26
Figure 9. Muscle long extenseur de l'hallux (LEH). Application Visible Body .....	27
Figure 10. Muscle long extenseur des orteils (LEO). Application Visible Body .....	28
Figure 11. Muscle III <sup>e</sup> fibulaire. Application Visible Body .....	29
Figure 12. Muscle long fibulaire (LF). Application Visible Body.....	30
Figure 13. Muscle court fibulaire (CF). Application Visible Body .....	31
Figure 14. Muscle tibial postérieur (TP). Application Visible Body .....	32
Figure 15. Muscle long fléchisseur des orteils (LFO). Application Visible Body.....	33
Figure 16. Muscle long fléchisseur de l'hallux (LFH). Application Visible Body.....	34
Figure 17. Muscles de la loge postérieure superficielle de jambe. Application Visible Body	35
Figure 18. Muscle court extenseur des orteils (CEO). Application Visible Body .....	36
Figure 19. Muscle court extenseur de l'hallux (CEH). Application Visible Body .....	37
Figure 20. Muscle court fléchisseur des orteils (CFO). Application Visible Body .....	38
Figure 21. Muscle carré plantaire (CP). Application Visible Body .....	39
Figure 22. Muscles lombricaux. Application Visible Body.....	40
Figure 23. Muscles de la loge plantaire interosseuse. Application Visible Body .....	42
Figure 24. Muscle abducteur de l'hallux (ABDH). Application Visible Body .....	43
Figure 25. Muscle adducteur de l'hallux (ADDH). Application Visible Body .....	44
Figure 26. Muscle court fléchisseur de l'hallux (CFH). Application Visible Body .....	45
Figure 27. Muscle abducteur du quintus (ABDQ). Application Visible Body .....	46
Figure 28. Muscle court fléchisseur du quintus (CFQ). Application Visible Body .....	47
Figure 29. Muscle opposant du quintus (OPPQ). Application Visible Body .....	48
Figure 30. The Windlass mechanism. Hicks, 1954.....	63

Figure 31. Cycle de marche, d'après DIU Analyse de la marche (Marseille), et Perry & Burnfield (2010).....	64
Figure 32. Pivots lors du cycle de la marche, d'après DIU Analyse de la marche (Marseille), et Perry & Burnfield (2010) .....	64
Figure 33. Footstool edge weight-bearing test. Stainsby, 1997 .....	65
Figure 34. Qualités d'un test, d'après Mokkink (2010) et Piette (2016).....	82
Figure 35. Indices d'empreintes rapportés dans la littérature, selon Menz (1998).....	89
Figure 36. Mesure de l'Arch Index selon Staheli (1987).....	89
Figure 37. Paramètres d'empreintes plantaires selon Forriol (1990). $\alpha$ : Footprint angle ; c et b% : Chippaux-Smirak Index.....	90
Figure 38. Classification des empreintes plantaires, selon Goldcher (2012).....	91
Figure 39. Classification des empreintes plantaires de pieds creux, selon Lelièvre (1982).....	91
Figure 40. Classification des empreintes de pieds plats, selon Lelièvre (1982). .....	91
Figure 41. CMT Neuropathy Score - Version 2. Murphy (2011) .....	108
Figure 42. Instructions orales CMTNS .....	109
Figure 43. Charcot-Marie-Tooth Disease Pediatric Scale. Burns (2012).....	110
Figure 44. CMTInfS, Mandarakas (2018).....	111
Figure 45. Overall Neuropathy Limitations Scale. Graham (2006).....	113
Figure 46. Modèle logique théorique du programme de réadaptation, d'après Brouselle (2011) et Poncet (2017), et son adaptation. ....	124
Figure 47. Calendrier d'étude pour la méthode DELPHI .....	134
Figure 48. Critères de sélection des items de la méthode DELPHI .....	135
Figure 49. Processus d'obtention d'un consensus avec la méthode DELPHI.....	141
Figure 50. Flow chart d'inclusion des répondants .....	160
Figure 51. Chronologie relative au besoin d'appareillage .....	160
Figure 52. Exemple de parcours d'un patient associé à l'utilisation de l'appareillage .....	167
Figure 53. Exemple de parcours d'un patient associé à la non-utilisation de l'appareillage .	168
Figure 54. Processus d'adaptation transculturelle .....	178
Figure 55. Graphiques de Bland-Altman représentant la fiabilité des scores totaux du FPI-6 dans 4 conditions : (A) fiabilité inter-évaluateurs pour le membre inférieur dominant ; (B) fiabilité inter-évaluateurs pour le membre inférieur non-dominant ; (C) fiabilité intra-évaluateur pour le membre inférieur dominant ; (D) fiabilité intra-évaluateur pour le membre inférieur non-dominant.....	184

Figure 56. Orthèses plantaires semi-rigides (A), Heel cup (B), UCBL (C). Scheffers (2012)	199
.....	
Figure 57. Orthèses plantaires non utilisées favorisant la supination du pied à la marche ....	201
Figure 58. Proposition d'appareillages utilisés par les patients CMT .....	202
Figure 59. Evidence-Based Practice.....	211
Figure 60. Nouveau modèle de soins de santé fondé sur les données probantes de l'Institut Joanna Briggs, d'après Jordan (2018). .....	213
Figure 61. Modèle biopsychosocial, selon George L. Engel (1977). Source : <a href="https://ncbi.nlm.nih.gov">https://ncbi.nlm.nih.gov</a> .....	214



## Liste des tableaux

---

Tableau 1. Résumé des activités musculaires extrinsèques et intrinsèques relatives aux orteils latéraux.....	42
Tableau 2. Résumé des déformations des orteils latéraux.....	101
Tableau 3. Activité professionnelle et domaines d'expertise des membres du panel d'experts .....	133
Tableau 4. Liste des principales attentes subjectives qui n'ont pas été pleinement exprimées lors de la consultation préchirurgicale et qui n'ont pas été résolues par la réparation de l'hallux valgus. ....	138
Tableau 5. Sélection des items dans la méthode DELPHI .....	140
Tableau 6. Résultats de l'analyse univariée expliquant la non-utilisation des appareillages .	157
Tableau 7. Résultats de l'analyse univariée des facteurs qui réduisent le risque de non-utilisation.....	158
Tableau 8. Résultats du modèle de régression logistique multivariée .....	159
Tableau 9. Fréquence des consultations .....	162
Tableau 10. Prescripteur de l'appareillage.....	163
Tableau 11. Objectif des appareillages.....	163
Tableau 12. Caractéristiques des participants .....	182
Tableau 13. Fiabilité inter- et intra-évaluateur du FPI-6 pour le membre inférieur dominant .....	182
Tableau 14. Fiabilité inter- et intra-évaluateur du FPI-6 pour le membre inférieur non-dominant.....	183
Tableau 15. Morphologie du pied selon le FPI-6.....	186
Tableau 16. Différences inter-évaluateurs dans la classification de la morphologie .....	187
Tableau 17. Différences intra-évaluateur dans la classification de la morphologie.....	187

## Introduction générale

---

La prise en charge des patients en neuro-orthopédie est complexe et doit relever d'une réflexion poussée. L'acte qui sera réalisé, qu'il soit chirurgical, médical, ou bien orthétique, doit reposer sur des évaluations cliniques pointues et pertinentes. Tout raccourci ouvrirait possiblement la porte à des conséquences multiples non contrôlées (douleur, plaie, retard de cicatrisation, pression, raideur articulaire), au détriment du patient (Bertini et al., 2023; Fadale & Wiggins, 1994; Ricketts et al., 2017).

Le champ de la chirurgie orthopédique bénéficie de recherches ancrées scientifiquement depuis des dizaines d'années, permettant de baser et d'enrichir la pratique sur les preuves. La chirurgie de la hanche en est un parfait exemple. Depuis les premières interventions datant du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'arthroplastie totale de hanche s'est beaucoup développée jusqu'à devenir l'une des interventions chirurgicales les plus réussies jamais mises au point, étant même considérée comme LA chirurgie du XX<sup>e</sup> siècle (Gomez & Morcuende, 2005; W. H. Harris, 2009).

La satisfaction globale du patient lors d'une intervention chirurgicale demeure un concept très large, qui englobe bien plus que le résultat purement clinique. Dans ce contexte, l'arthroplastie totale de hanche présente un taux de satisfaction dépassant les 90% et nettement plus élevé que celui des arthroplasties totales de genou (Neuprez et al., 2016; Okafor & Chen, 2019). Concernant les pathologies déformantes du pied, une déformation pouvant tout à fait être fonctionnelle, l'indication chirurgicale semble plus délicate à poser. La déformation la plus commune est l'hallux valgus. La chirurgie correspondante semble moins consensuelle que celles des prothèses et dénombre aujourd'hui plusieurs centaines de techniques, conduisant à une insatisfaction post-interventionnelle pour un tiers des patients (J. Y. Chen, 2016; Schrier et al., 2015). Ainsi, en dehors de la maîtrise des techniques chirurgicales, une problématique majeure semble se dessiner autour de la temporalité de l'acte.

La prise en charge orthopédique ou neuro-orthopédique se doit de privilégier les actes non invasifs tentant de freiner l'évolution d'une pathologie ou d'une déformation, de traiter la symptomatologie et les éventuelles conséquences, dans le but de pouvoir proposer un acte radical non précocement et donc au moment le plus opportun. Cette progressivité incombe de proposer principalement un traitement par rééducation incluant l'appareillage, avant de se prononcer pour un acte médico-chirurgical.

Concernant les atteintes dégénératives des articulations de la hanche et du genou, cette hiérarchie orientant en première intention vers les traitements non médicamenteux et non opératoires est déjà clairement établie (Sinusas, 2012; Skou & Roos, 2019). Ces lignes directrices ne semblent cependant pas formellement respectées, les patients n'étant encore dirigés vers les traitements conservateurs (comme les orthèses plantaires) qu'avec grande parcimonie (Hinman et al., 2015; Snijders et al., 2011).

La multitude d'os et d'articulations organisant le pied rend son anatomie structurelle et fonctionnelle bien plus complexe que celle des articulations sus-jacentes du membre inférieur. Ainsi dans le contexte de pathologies déformantes du pied, la précipitation vers les traitements secondaires sans respect des recommandations de prise en charge de première intention peut être encore plus manifeste.

Ceci peut s'expliquer par le manque de données probantes dans le champ de l'appareillage, mettant en exergue les lacunes des recherches scientifiques. Les recommandations sont peu nombreuses et reposent sur des études à faible niveau de preuve. Les résultats des orthèses plantaires dans la prise en charge de la gonarthrose et de la coxarthrose sont très controversés et manquent d'études de qualité avec essais randomisés (Beaudreuil, 2017; King et al., 2022; Zafar et al., 2020). Ce manque de preuves peut contribuer au délaissement des orthèses de la part du corps médical prescripteur ainsi qu'aux lacunes en pratique clinique.

La prescription de l'appareillage en France est non consensuelle et fait l'objet d'une grande hétérogénéité de pratiques (Gélis et al., 2008; Haute Autorité de Santé, 2018; C. Nester et al., 2017). Elle est dépendante d'une double expertise : celle du praticien décidant de la typologie de prescriptions (chirurgiens orthopédiques, médecin en Médecine Physique et de Réadaptation (MPR), médecins généralistes...), et celle du praticien à l'origine de la conception et qui adapte le traitement.

Au meilleur de nos connaissances, il n'existe pas à ce jour d'indicateurs orientant vers le choix optimal de prescriptions d'appareillages et de qualités de réalisations, dans le cadre des pathologies déformantes du pied. Le chemin pour arriver à des recommandations de prise en charge validées scientifiquement, pathologie par pathologie, déformation par déformation, incombe une compréhension de l'impact biomécanique sur chaque structure anatomique, est encore long. Pourtant, l'appareillage est grandement prescrit dans les champs de la neurologie, de l'orthopédie (hallux valgus), de la neuro-orthopédie (notamment pour les patients atteints de la maladie de Charcot-Marie-Tooth (CMT)) et a donc sa place dans le spectre des alternatives

thérapeutiques (et leur hiérarchie) (Beals & Nickisch, 2008; Kwan et al., 2021; J. Wang et al., 2021). Il est admis par la communauté clinique et scientifique que la prise en charge doit progressivement relever de l'acte le moins invasif vers un acte plus invasif et donc définitif (Lazovic et al., 2021; Piclet-Legré et al., 2017).

Ainsi, le choix thérapeutique allant de la conception d'une orthèse à un acte médico-chirurgical se base sur une évaluation clinique exhaustive. À métier différent, pratiques différentes. Les analyses cliniques relatives aux déformations du pied d'un chirurgien orthopédique sont distinctes de celles d'un médecin en Médecine Physique et de Réadaptation, et très certainement encore plus de celles d'un pédicure-podologue. L'uniformisation des pratiques est nécessaire afin de standardiser les approches au sein d'un même champ d'application, et de permettre d'accéder à un langage commun optimisant la prise en charge des patients. Le pédicure-podologue fait partie intégrante des équipes interprofessionnelles appelées à la prise en charge des pathologies musculo-squelettiques du membre inférieur, et sa place a aujourd'hui besoin d'une redéfinition dans le domaine de la neuro-orthopédie.

La première partie de ce document présente le contexte théorique comprenant l'anatomie structurelle et fonctionnelle du pied et de la cheville conduisant à la physiopathologie des déformations et leurs traitements ; les théories de classifications morphologiques du pied avec descriptions des méthodes d'évaluations cliniques ; la maladie de Charcot-Marie-Tooth comme pathologie déformante nécessitant une prise en charge par appareillage ; l'épistémologie de la profession de Pédicure-Podologue.

La seconde partie décrit le développement d'un questionnaire préopératoire pour la déformation en hallux valgus, ayant pour but d'améliorer la satisfaction de la chirurgie, par analyse exhaustive du motif de consultation. Il est développé la nécessité d'évaluation du contexte de l'acte chirurgical.

La troisième partie présente le parcours de soin des patients atteints de la maladie CMT et les relations existantes avec l'utilisation ou la non-utilisation de l'appareillage prescrit et réalisé. Il est développé le besoin d'optimiser la distribution de l'appareillage, et de replacer sa prescription/réalisation dans le contexte de prise en charge en neuro-orthopédie actuel pour tenter d'expliquer les désagréments rencontrés.

La quatrième partie expose la validation transculturelle de l'outil clinique *Foot Posture Index* à six items (FPI-6) en français, étape indispensable à l'uniformisation des pratiques cliniques d'évaluations des déformations dans les champs de l'orthopédie et de la neuro-orthopédie.

# **Chapitre 1 : Généralités anatomiques - Anatomie structurelle du pied et de la cheville**

---

## **1 Introduction**

L'anatomie est la science des structures organisées du corps humain vivant (Kamina et al., 2002). L'anatomie descriptive permet de classer les différentes structures du sujet humain. Toutes les physionomies étant différentes, l'anatomie structurelle relève de quelques inconstances. La variabilité anatomique représente ainsi la norme.

## **2 Ostéologie, arthrologie**

Le pied humain (associé à la cheville) se compose de 28 os et de 33 articulations (Dufour, 2015; Kamina et al., 2002; Netter et al., 2023) (Figure 1).

On dissocie :

- l'arrière-pied, formé du tarse postérieur (os talus et os calcaneus) et du tarse antérieur (os naviculaire, os cuboïde, trois os cunéiformes) ;
- l'avant-pied, formé des os métatarsiens et des os phalangiens.

La notion de médio-pied est plus fonctionnelle qu'anatomique. En effet le médio-pied désigne le tarse antérieur compris entre les deux gros os du tarse postérieur et les os de l'avant-pied, et fait donc référence aux articulations transverses du tarse (Chopart), intertarsiennes et tarso-métatarsiennes (Lisfranc). Le squelette podal passe d'un empilement postérieur à une oblique, puis à un aplatissement antérieur.



Figure 1. Ostéologie Pied-Cheville. Application Visible Body

## 2.1 Articulation talo-crurale

Le tibia est un os long formant la partie antérieure et médiale du squelette jambier (Figure 2). Il s'articule par son épiphyse proximale avec le fémur, par son épiphyse distale (appelée pilon tibial) avec le talus, et latéralement avec la fibula par deux articulations tibio-fibulaires proximale et distale.

La fibula est un os long, plus grêle, formant la partie latérale du squelette jambier. Elle s'articule latéralement par son épiphyse proximale avec le tibia, et par son épiphyse distale, appelée malléole latérale, avec le tibia et le talus.

Les surfaces articulaires tibio-fibulaires distales forment la pince tibio-fibulaire, dans laquelle s'encastre la trochlée du talus.

Le talus est un os court postéro-supérieur du tarse. Il s'articule en haut avec la pince tibio-fibulaire, en bas avec le calcanéus et en avant avec l'os naviculaire.

L'articulation talo-crurale, ou cheville, est une articulation synoviale de type ginglyme qui met en rapport ces trois os. Elle présente un seul degré de liberté, ne permettant que des mouvements de flexion-extension dans le plan sagittal.

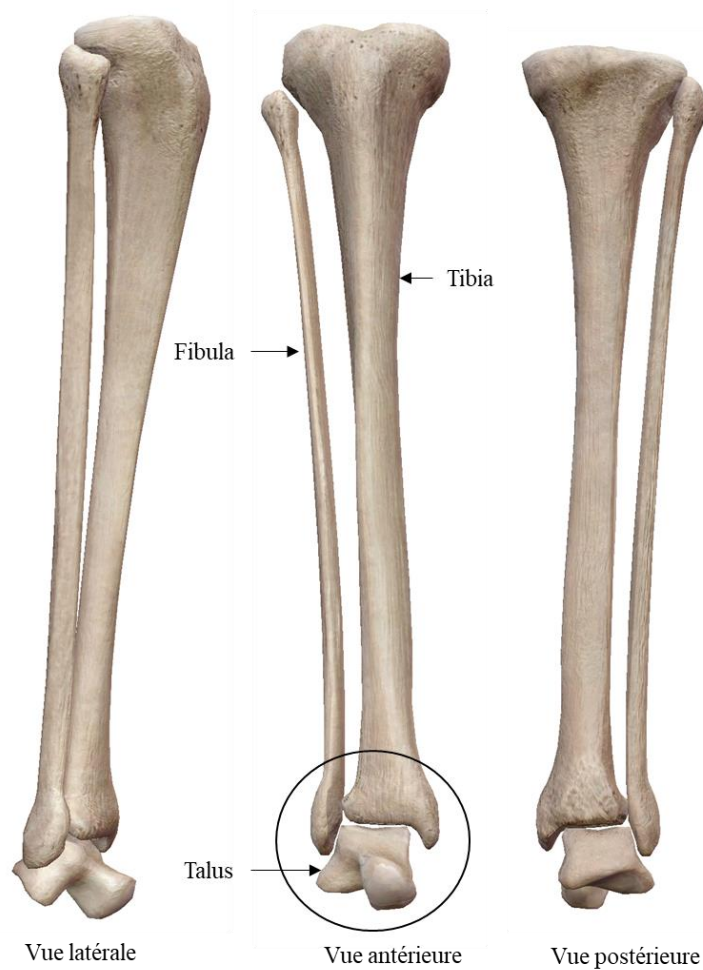


Figure 2. Articulation talo-crurale. Application Visible Body

## 2.2 Articulation subtalaire

Le calcanéus est un os court qui forme avec le talus le tarse postérieur (Figure 3). Il s'articule en haut avec le talus grâce à deux surfaces articulaires distinctes et en avant avec l'os cuboïde. L'articulation subtalaire est une double articulation synoviale de type ellipsoïde qui unit talus et calcanéus. Elle guide le pied dans les plans transversal et frontal.



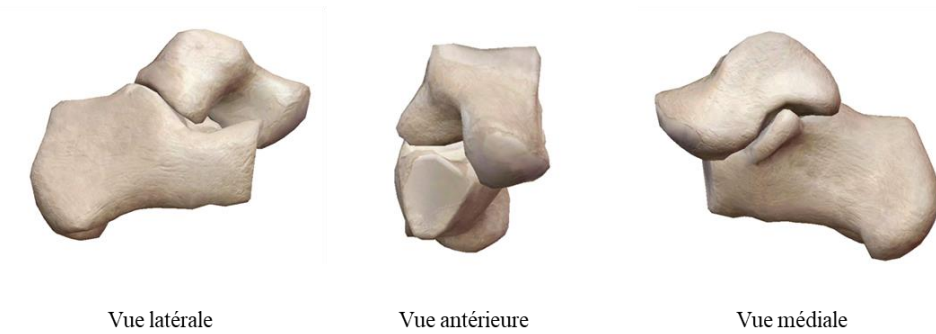


Figure 3. Articulation subtalaire. Application Visible Body

### 2.3 Articulation transverse du tarse

L'os cuboïde est un os court latéral du tarse antérieur, situé devant le calcanéus (Figure 4). L'os naviculaire est un os médial du tarse antérieur, situé devant le talus.

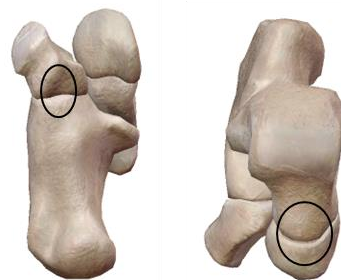
L'articulation transverse du tarse unit le tarse antérieur et le tarse postérieur.

L'articulation transverse du tarse latérale met en rapport le calcanéus avec le cuboïde et forme l'articulation calcanéocuboïdienne, articulation synoviale de type en selle.

L'articulation transverse du tarse médiale met en rapport le talus avec l'os naviculaire et forme l'articulation talo-naviculaire, articulation synoviale sphéroïde.

Ces deux articulations forment l'articulation médio-tarsienne de Chopart.

Articulation calcanéocuboïdienne



Articulation talo-naviculaire

Figure 4. Articulation transverse du tarse. Application Visible Body

### 2.4 Articulation tarso-métatarsienne

Les os cunéiformes sont des os courts qui contribuent à former le tarse antérieur, et sont situés devant l'os naviculaire. Ils sont au nombre de trois, un médial (C1), un intermédiaire (C2), et un latéral (C3).

Les os métatarsiens sont des os longs présentant chacun un corps, une base, et une tête. Au nombre de cinq, ils se situent entre le tarse et les phalanges proximales.

L'ensemble articulaire tarso-métatarsien est la limite entre une arcade tarsienne et une arcade métatarsienne (Figure 5).

Trois compartiments se distinguent :

- médial 1<sup>er</sup> os cunéiforme (C1) – 1<sup>er</sup> os métatarsien (M1)
- intermédiaire deuxième os cunéiforme (C2) / troisième os cunéiforme (C3) – deuxième métatarsien (M2) / troisième métatarsien (M3)
- latéral cuboïde – quatrième métatarsien (M4) cinquième métatarsien (M5)

Les articulations sont toutes synoviales de type planes.

L'interligne tarso-métatarsien décrit une ligne brisée, à concavité postérieure, due à l'emboîtement de la base des deuxième et quatrième métatarsiens (M2 et M4). Le deuxième métatarsien (M2) est en retrait de 8mm sur le premier métatarsien (M1), et de 4mm sur le troisième métatarsien (M3). Le quatrième métatarsien (M4) est quant à lui en retrait de 2mm sur le troisième métatarsien (M3).

L'interligne premier os cunéiforme - premier métatarsien (C1-M1) est oblique en avant et en dehors et croise le milieu de la diaphyse du cinquième métatarsien (M5).

L'interligne cuboïde - cinquième métatarsien (M5) est oblique en avant et en dedans et croise le milieu de la diaphyse du premier métatarsien (M1).

Cet interligne crénelé est propice à une mobilité différenciée entre les cinq rayons du pied. Il présente plusieurs encastrements :

- la base du deuxième métatarsien (M2) encastrée entre les cunéiformes. Ce système assure la bonne congruence de l'ensemble et rigidifie la partie interne du tarse.
- le troisième os cunéiforme (C3) encastrée dans les bases des métatarsiens médians (deuxième - troisième - quatrième métatarsiens (M2M3M4)).



Figure 5. Articulation tarso-métatarsienne. Application Visible Body

#### 2.4.1 Articulation métatarso-phalangienne (MTP)

Les phalanges forment le squelette des orteils. Les orteils latéraux (II à V) présentent trois phalanges, proximale (P1), intermédiaire (P2) et distale (P3) ; l'hallux présente deux phalanges, proximale et distale. Les phalanges sont des os longs, composés chacun d'une base, d'un corps et d'une tête.

Unissant les têtes métatarsiennes aux phalanges proximales, les articulations métatarso-phalangiennes (MTP) sont au nombre de cinq (Figure 6).

Ce sont des articulations synoviales de type ellipsoïde. Les surfaces articulaires présentent une faible concordance. La stabilité est assurée par :

- des moyens d'unions passifs que sont les ligaments collatéraux médiaux et latéraux, les ligaments plantaires (métatarso-phalangiens et métatarsiens transverses profonds) et la capsule articulaire. Un faisceau ligamentaire est destiné à relier la tête métatarsienne à la plaque plantaire ;
- des moyens d'union actifs extrinsèques et intrinsèques.

Ces articulations présentent comme particularité une plaque plantaire (ou fibrocartilage glénoïdien). Celle-ci crée un berceau de roulement de la tête métatarsienne et augmente la surface articulaire métatarso-phalangienne, s'insérant en plantaire de la tête métatarsienne à la base de la phalange proximale (P1). Le coussinet plantaire se trouve sous et en avant du fibrocartilage. La plaque plantaire est notamment liée à l'aponévrose et la capsule plantaires.

Sa partie inférieure de la première tête métatarsienne présente deux surfaces articulaires séparées par une crête osseuse, en regard de la face dorsale des os sésamoïdes médial et latéral.

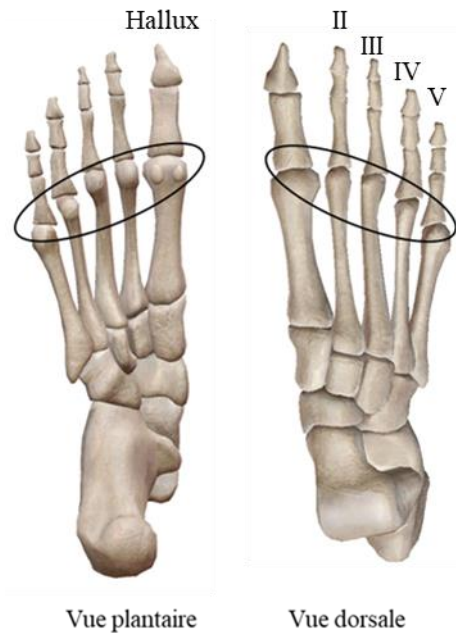


Figure 6. Articulations métatarso-phalangiennes (MTP). Application Visible Body

#### **2.4.2 Articulations interphalangiennes proximale (IPP) et distale (IPD)**

Les articulations interphalangiennes unissent les phalanges proximales (P1), intermédiaires (P2) et distales (P3) du pied entre elles et sont au nombre de neuf (Figure 7). Ce sont des articulations synoviales de type ginglyme.

Leurs surfaces articulaires présentent aussi de faibles concordances et nécessitent des moyens d'unions passifs et actifs que sont les ligaments collatéraux interphalangiens médiaux et latéraux, les ligaments interphalangiens plantaires, les capsules articulaires.

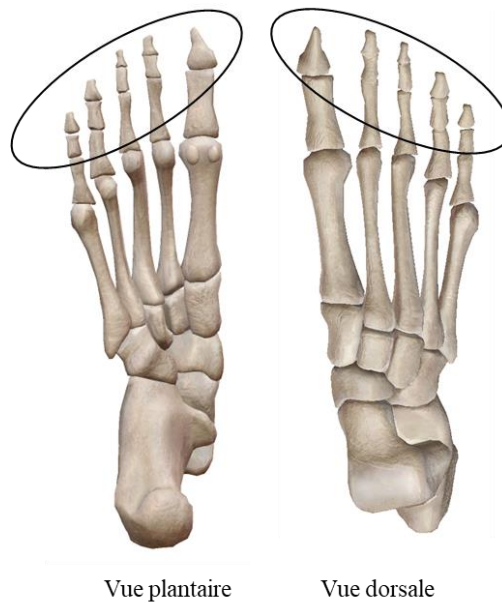


Figure 7. Articulations interphalangiennes. Application Visible Body

### 3 Myologie

#### 3.1 Les muscles de la jambe

Les muscles de la jambe correspondent aux muscles dont les insertions proximales se font sur le squelette jambier et les insertions distales sur les os du pied. Ils sont dénommés muscles extrinsèques du pied. A contrario, les muscles intrinsèques du pied correspondent aux muscles dont les insertions proximales et distales se font sur les os du pied. Leur description est nécessaire afin de comprendre la physiopathologie des déformations des pieds.

##### 3.1.1 Loge antérieure de jambe

- Muscle tibial antérieur (TA)

Le muscle tibial antérieur (TA) est dit extrinsèque du pied (Figure 8). Il forme, avec les muscles long extenseur de l'hallux (LEH), long extenseur des orteils (LEO) et troisième fibulaire, le groupe musculaire des releveurs du pied. Son insertion proximale se fait sur les deux tiers supérieurs de la face latérale du tibia. Son insertion distale se fait sur le bord médial de l'os cunéiforme médial (C1) et sur la base du premier métatarsien (M1). En chaîne ouverte (c'est-à-dire pied en décharge), il est fléchisseur de l'articulation talo-crurale et participe à l'adduction et supination du pied.



Figure 8. Muscle tibial antérieur (TA). Application Visible Body

- Muscle long extenseur de l'hallux (LEH)

Le muscle long extenseur de l'hallux (LEH) est dit extrinsèque du pied (Figure 9). Son insertion proximale se fait sur la partie moyenne de la face médiale de la fibula, sur la membrane interosseuse crurale et le fascia crural. Son insertion distale se fait sur la face dorsale de la base de la phalange distale (P2) de l'hallux et sur la phalange proximale (P1) par deux expansions latérales. En chaîne ouverte, il est fléchisseur de l'articulation talo-crurale, extenseur de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP), et participe à l'adduction et supination du pied.



Figure 9. Muscle long extenseur de l'hallux (LEH). Application Visible Body

- Muscle long extenseur des orteils (LEO)

Le muscle long extenseur des orteils (LEO) est dit extrinsèque du pied (Figure 10). Il s'insère en proximal sur les deux tiers supérieurs de la face médiale de la diaphyse fibulaire, la membrane interosseuse et le condyle latéral du tibia. Son tendon distal se divise, après passage sous le rétinaculum des extenseurs, en quatre tendons terminaux qui ont une action sur les orteils II à V. Ils s'insèrent distalement par trois languettes tendineuses prenant naissance en regard de la phalange proximale (P1) :

- une médiane qui se fixe sur la face dorsale de la base de la phalange intermédiaire (P2) ;
- deux bandelettes latérales, qui divergent pour venir ensuite fusionner à la face dorsale de la base de la phalange distale (P3).

En regard des articulations métatarso-phalangiennes (MTP), les tendons II à IV du muscle long extenseur des orteils (LEO) reçoivent latéralement l'insertion distale du muscle court extenseur des orteils (CEO). La phalange proximale (P1) est alors entourée par de multiples expansions fibreuses médiales et latérales provenant de ces muscles extenseurs. Les expansions situées en proximal ont une direction verticale et s'attachent à la capsule articulaire plantaire, au ligament transverse profond et à la gaine du fléchisseur, tandis que les expansions distales ont une

trajectoire oblique entre métatarsien et phalange (Ferrari-Portafaix et al., 2020; Mizel & Yodlowski, 1995).

Ce complexe tendineux extenseur forme un réel capuchon extenseur (dossière), occupant la face dorsale de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) et de la phalange proximale (P1), contribuant au mécanisme de bretelle qui ancre le muscle long extenseur des orteils (LEO) à la face plantaire de la tête métatarsienne et de la base de la phalange proximale (P1).

Le tendon reçoit des expansions des muscles intrinsèques du pied décrits plus tard.

Au niveau talo-crurale en chaîne ouverte, le muscle long extenseur des orteils (LEO) est fléchisseur avec un rôle éverseur, équilibrant la flexion dorsale de cheville en synergie avec le muscle tibial antérieur (TA) qui produit une supination.

Au niveau des orteils II à V, le muscle long extenseur des orteils (LEO) aura pour fonction principale l'extension de la phalange proximale (P1) au niveau de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) par effet bretelle.



Figure 10. Muscle long extenseur des orteils (LEO). Application Visible Body

- Muscle troisième fibulaire



Inconstant, le muscle troisième fibulaire est dit extrinsèque du pied (Figure 11). Son insertion proximale se fait sur la partie distale de la face antéro-médiale de la fibula et la membrane interosseuse crurale. Son insertion distale se fait sur la face dorsale de la base du cinquième métatarsien (M5). En chaîne ouverte, il est fléchisseur de l'articulation talo-crurale et pur éverseur du pied.



Figure 11. Muscle III<sup>e</sup> fibulaire. Application Visible Body

### 3.1.2 Loge latérale de jambe

- Muscle long fibulaire (LF)

Le muscle long fibulaire (LF) est dit extrinsèque du pied (Figure 12). Son insertion proximale se fait sur les deux tiers antéro-supérieur et postéro-supérieur de la face latérale de la fibula, les septums intermusculaires cruraux antérieur et postérieur, la face latérale de la tête de la fibula et sur le condyle latéral du tibia. Son insertion distale se fait sur la face plantaire de la base du premier métatarsien (M1) et par une expansion sur l'os cunéiforme médial (C1). En chaîne ouverte, il contribue à la pronation et abduction du pied, et accessoirement à l'extension de l'articulation talo-crurale.



Figure 12. Muscle long fibulaire (LF). Application Visible Body

- Muscle court fibulaire (CF)

Le muscle court fibulaire (CF) est dit extrinsèque du pied (Figure 13). Son insertion proximale se fait sur la moitié inférieure de la face latérale de la fibula et les septums intermusculaires cruraux antérieur et postérieur.

Son insertion distale se fait sur la styloïde du cinquième métatarsien (M5). En chaîne ouverte, il contribue à la pronation et abduction du pied, et accessoirement à l'extension de l'articulation talo-crurale.



Figure 13. Muscle court fibulaire (CF). Application Visible Body

### 3.1.3 Loge postérieure profonde de jambe

La loge postérieure profonde de jambe se compose de trois muscles ayant un trajet rétromalléolaire médial.

- Muscle tibial postérieur (TP)

Le muscle tibial postérieur (TP) est dit extrinsèque du pied (Figure 14). Son insertion proximale se fait sur les deux tiers supérieurs de la face postérieure du tibia et de la fibula ainsi que sur la membrane interosseuse crurale. Son insertion distale se fait sur la partie médiale de la tubérosité de l'os naviculaire et par de nombreuses expansions sur la face plantaire des trois os cunéiformes, de la tubérosité de l'os cuboïde, de la base des deuxième, troisième et quatrième métatarsiens (M2-M3-M4), et du sustentaculum tali du calcaneus. En chaîne ouverte, il est inverseur pur du pied.

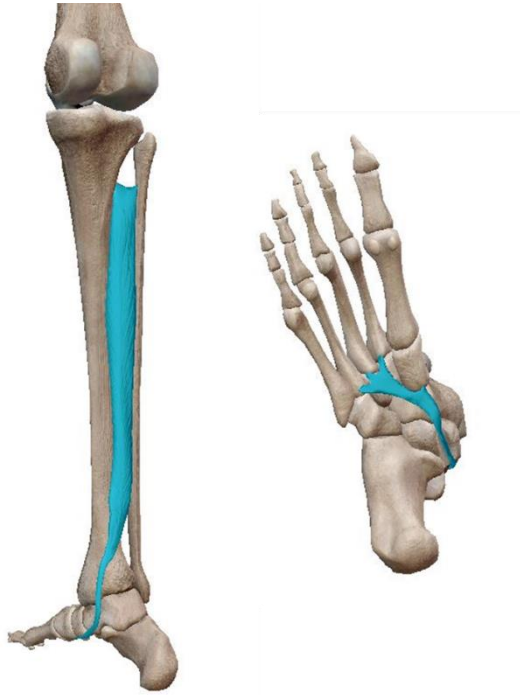


Figure 14. Muscle tibial postérieur (TP). Application Visible Body

- Muscle long fléchisseur des orteils (LFO)

Le muscle long fléchisseur des orteils (LFO) est dit extrinsèque du pied (Figure 15). Son insertion proximale se fait sur le tiers moyen de la face postérieure du tibia. Son insertion distale se fait sur la face plantaire de la base des phalanges distales des orteils latéraux II à V. En chaîne ouverte, il est fléchisseur plantaire des orteils latéraux, extenseur de cheville. Il participe accessoirement à l'inversion du pied.



Figure 15. Muscle long fléchisseur des orteils (LFO). Application Visible Body

- Muscle long fléchisseur de l'hallux (LFH)

Le muscle long fléchisseur de l'hallux (LFH) est dit extrinsèque du pied (Figure 16). Son insertion proximale se fait sur les deux tiers inférieurs de la face postérieure de la fibula, la membrane interosseuse crurale et le septum intermusculaire crural postérieur. Son insertion distale se fait sur la face plantaire de la base de la phalange distale (P2) de l'hallux. En chaîne ouverte, il est fléchisseur plantaire de l'hallux, extenseur de cheville. Il participe accessoirement à l'inversion du pied.

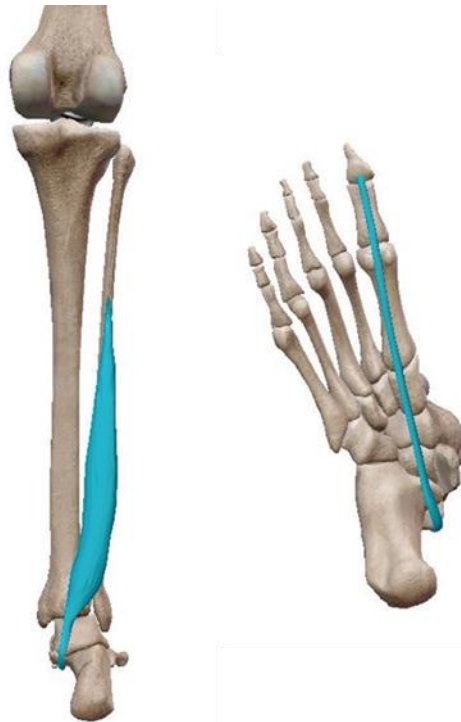


Figure 16. Muscle long fléchisseur de l'hallux (LFH). Application Visible Body

### 3.1.4 Loge postérieure superficielle de jambe

La loge postérieure superficielle de jambe se compose de muscles extrinsèques du pied, le soléaire et les deux gastrocnémiens formant le triceps sural (Figure 17).

- Muscle soléaire

Le muscle soléaire a son insertion proximale sur la face postérieure du col de la fibula, et sur la face postérieure du tibia au niveau d'une crête oblique postérieure appelée ligne du soléaire. Ces insertions se prolongent par une lame tendineuse rejoignant en distal les muscles gastrocnémiens.

- Muscles gastrocnémiens

On distingue deux chefs musculaires médial et latéral au sein des muscles gastrocnémiens. Le chef médial s'insère en proximal sur l'épicondyle médial du fémur, le chef latéral sur l'épicondyle latéral du fémur, tous deux s'insérant également sur les coques condyliennes. Ces insertions se prolongent par une lame tendineuse, rejoignant celle du soléaire.

Les deux lames tendineuses du soléaire et des gastrocnémiens se rejoignent et forment le tendon calcanéen dont l'insertion distale se fait sur la tubérosité postérieure du calcanéus.

En chaîne ouverte, le triceps sural est extenseur de cheville, et également fléchisseur de genou.

- Muscle plantaire (grêle)

Son insertion proximale se fait sur la surface poplitée près de l'extrémité distale de la ligne supracondylaire latérale au-dessus du chef latéral du gastrocnémien. Son insertion distale se fait sur le bord médial du tendon calcanéen et la partie postérieure du calcanéus. En chaîne ouverte, il contribue à l'extension de cheville et à la flexion du genou.

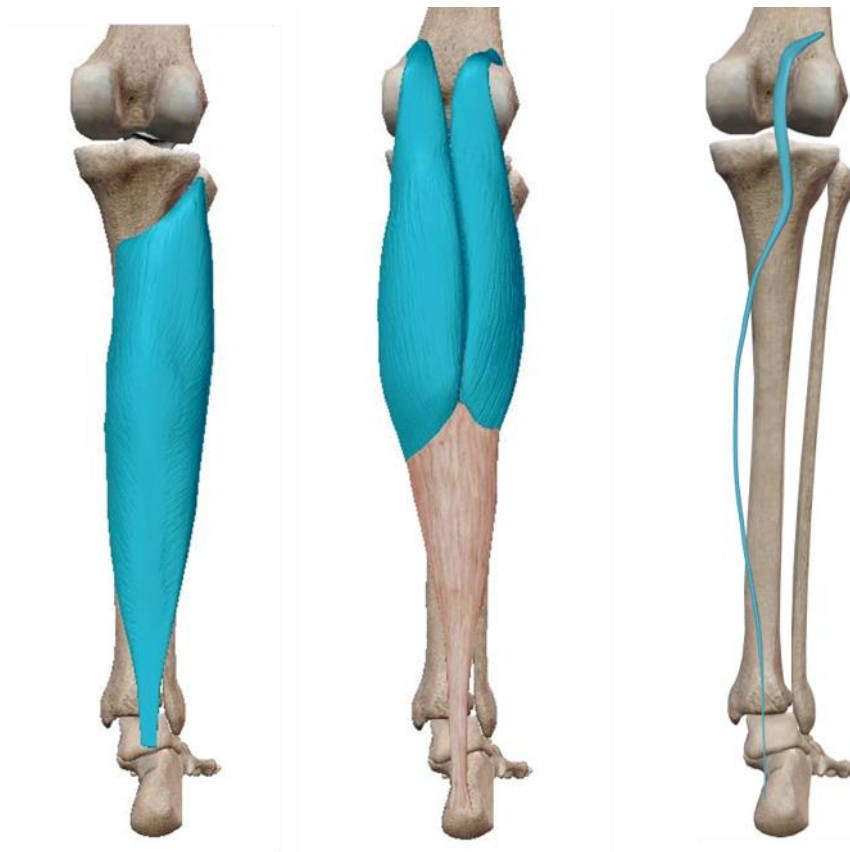


Figure 17. Muscles de la loge postérieure superficielle de jambe. Application Visible Body

### 3.2 Les muscles du pied

Les muscles décrits ci-dessous font référence aux muscles intrinsèques du pied.

### 3.2.1 Loge dorsale du pied

- Muscle court extenseur des orteils (CEO)

Le muscle court extenseur des orteils (CEO) a son insertion proximale sur la partie antéro-latérale de la face dorsale du calcanéus (Figure 18). Ses insertions distales se font sur le bord latéral du tendon du muscle long extenseur des orteils (LEO) II à IV au niveau des articulations métatarso-phalangiennes (MTP), et elles possèdent des expansions phalangiennes. En chaîne ouverte, il est extenseur des orteils II à IV en synergie avec le muscle long extenseur des orteils (LEO).



Figure 18. Muscle court extenseur des orteils (CEO). Application Visible Body

- Muscle court extenseur de l'hallux (CEH)

Le muscle court extenseur de l'hallux (CEH) a son insertion proximale par un tendon commun au muscle court extenseur des orteils (CEO) (Figure 19). Son insertion distale se fait sur la face dorsale de la base de la phalange proximale (P1) de l'hallux. En chaîne ouverte, il est extenseur de l'hallux en synergie avec le muscle long extenseur de l'hallux (LEH).





Figure 19. Muscle court extenseur de l'hallux (CEH). Application Visible Body

### 3.2.2 Loge plantaire intermédiaire

- Muscle court fléchisseur des orteils (CFO)

Le muscle court fléchisseur des orteils (CFO) forme le plan superficiel de la loge plantaire intermédiaire (Figure 20).

Il s'insère en proximal sur :

- les processus médial et latéral de la tubérosité du calcaneus, en avant de l'insertion de l'aponévrose plantaire, et juste en arrière des insertions des muscles abducteur de l'hallux (ABDH) et abducteur du quintus (ABDQ) ;
- l'aponévrose plantaire et les septums intermusculaires médial et latéral.

Il se dirige horizontalement vers l'avant et se divise en quatre tendons destinés aux orteils II à V au niveau des os cunéiformes.

Chaque tendon se divise en regard de la phalange proximale (P1) en deux languettes qui s'écartent, laissant passer le muscle long fléchisseur des orteils (LFO), et qui se réunissent pour s'insérer distalement sur la face plantaire des diaphyses des phalanges moyennes.

Ce muscle participe à la flexion des articulations interphalangiennes proximales (IPP) et métatarso-phalangiennes (MTP) des quatre orteils latéraux.



Figure 20. Muscle court fléchisseur des orteils (CFO). Application Visible Body

- Muscle carré plantaire (CP)

Le muscle carré plantaire (CP) est annexé au muscle long fléchisseur des orteils (LFO) dans le plan profond de la loge plantaire intermédiaire (Figure 21).

Il s'insère en proximal avec deux chefs médial et latéral. Ces chefs commencent respectivement sur la partie excavée de la face médiale du calcaneus ; au niveau de la face plantaire du calcaneus le long du bord latéral, entre le processus latéral de la tubérosité calcanéenne et le tubercule calcanéen plantaire. Ses insertions débordent sur le ligament plantaire long et les septums intermusculaires médial et latéral.

Après fusion de ses chefs, il se dirige vers l'avant et s'insère distalement sur le bord latéral du tendon du muscle long fléchisseur des orteils (LFO) destiné au quintus. Des expansions se font sur les tendons destinés aux autres orteils latéraux.

Accessoire du muscle long fléchisseur des orteils (LFO), son rôle principal est la correction axiale de son action oblique. Il participe indirectement à la flexion des orteils latéraux.



Figure 21. Muscle carré plantaire (CP). Application Visible Body

- Muscles lombricaux

Les muscles lombricaux sont annexés au muscle long fléchisseur des orteils (LFO) et se trouvent dans le plan profond de la loge plantaire intermédiaire.

Au nombre de quatre, ils sont comptés médialement à latéralement par rapport à l'axe long du corps et se trouvent dans l'espace intermétatarsien correspondant (Figure 22).

Le 1<sup>er</sup> lombrical s'insère en proximal sur le bord médial du tendon du muscle long fléchisseur des orteils (LFO) destiné au 2<sup>e</sup> orteil, tandis que les 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> lombricaux s'insèrent sur les bords médial et latéral des tendons du muscle long fléchisseur des orteils (LFO).

Leur tendon distal longe le bord médial de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) correspondante, et s'insérera par deux terminaisons : une osseuse sur la face médiale de la base de la phalange proximale (P1) des quatre derniers orteils, et une expansion tendineuse sur le bord médial du tendon du muscle long extenseur des orteils (LEO) (s'unissant au tendon du muscle interosseux correspondant).

Fléchisseurs des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) et extenseurs des articulations interphalangiennes proximales (IPP) et interphalangiennes distales (IPD), leur rôle majeur est la stabilisation de ces articulations.



Figure 22. Muscles lombricaux. Application Visible Body

### 3.2.3 Loge plantaire interosseuse

Comprise entre la loge plantaire et la loge dorsale, elle se voit délimitée par les fascias interosseux plantaire et dorsal.

- Muscles interosseux dorsaux (IOD)

Au nombre de quatre, les muscles interosseux dorsaux (IOD) sont présents dans les quatre espaces intermétatarsiens et sont comptés médialement à latéralement selon l'axe long du corps (Figure 23).

Ils s'insèrent en proximal sur les faces médiale et latérale des métatarsiens délimitant l'espace interosseux.

Leur tendon terminal longe le bord de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) adjacente le plus proche de l'axe anatomique du pied.

Leur insertion distale se fait par un tendon sur la base de la phalange proximale (P1), sur le côté le plus proche de l'axe anatomique du pied (mais aussi sur la plaque plantaire, le ligament transverse profond, la capsule articulaire et le fascia plantaire) ; par des expansions sur le muscle long extenseur des orteils (LEO) et la dossière des extenseurs.

Leur rôle primordial est l'abduction des orteils II à IV. Ils sont fléchisseurs des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) et extenseurs indirects des articulations interphalangiennes proximales (IPP) et interphalangiennes distales (IPD).

- Muscles interosseux plantaires (IOP)

Au nombre de trois, les muscles interosseux plantaires (IOP) sont présents dans les trois derniers espaces intermétatarsiens.

Leurs insertions proximales se font sur les arêtes plantaires des troisième – quatrième métatarsiens (M3-M4) et la face plantaire du cinquième métatarsien (M5).

Leur tendon terminal longe la face médiale de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) correspondante, et s'insère distalement sur le bord médial de la phalange proximale (P1) qui fait suite aux métatarsiens d'origine. Ils rejoignent l'insertion des muscles interosseux dorsaux (IOD) et la dossière des extenseurs.

Leur rôle primordial est l'adduction des orteils III à V. Ils sont fléchisseurs des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) et extenseurs indirects des articulations interphalangiennes proximales (IPP) et interphalangiennes distales (IPD).

Les muscles lombricaux, interosseux dorsaux (IOD) et interosseux plantaires (IOP) agissent en synergie avec les muscles long extenseur des orteils (LEO) et long fléchisseur des orteils (LFO) lors de la régulation des positions des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) et interphalangiennes.



Figure 23. Muscles de la loge plantaire interosseuse. Application Visible Body

Le tableau 1 résume les activités musculaires au niveau des différentes articulations dans le plan sagittal (Cazeau, 2017; Stiglitz, 2017).

Tableau 1. Résumé des activités musculaires extrinsèques et intrinsèques relatives aux orteils latéraux.

Muscle	MTP	IPP	IPD
Long fléchisseur des orteils	(F)	F++	F+++
Court fléchisseur des orteils	(F)	F+++	0
Long extenseur des orteils	E+++	0	0
Court extenseur des orteils	E+++	0	0
Interosseux dorsaux	F+++	E++	E++
Interosseux plantaires	F+++	E++	E++
Lombricaux	F++	E	E

F : flexion ; E : extension ; 0 : absence d'action ; ( ) : action indirecte induite ; ++ : activité musculaire importante ; +++ : activité musculaire très importante.

### 3.2.4 Loge plantaire médiale

- Muscle abducteur de l'hallux (ABDH)

Le muscle abducteur de l'hallux (ABDH) a son insertion proximale sur le processus médial de la tubérosité plantaire du calcaneus et a des expansions sur l'aponévrose plantaire et le septum intermusculaire plantaire médial (Figure 24). Son insertion distale se fait sur les bords médial et plantaire de la base de la phalange proximale (P1) de l'hallux, et par des expansions sur l'os sésamoïde médial, le tendon du muscle court extenseur de l'hallux (CEH) et le tendon du muscle long extenseur de l'hallux (LEH). En chaîne ouverte, il est abducteur et fléchisseur plantaire de la première articulation métatarso-phalangienne (MTP).



Figure 24. Muscle abducteur de l'hallux (ABDH). Application Visible Body

- Muscle adducteur de l'hallux (ADDH)

Le muscle adducteur de l'hallux (ADDH) présente deux chefs musculaires oblique et transverse (Figure 25). Le chef oblique présente pour insertion proximale la face plantaire de l'os cunéiforme latéral (C3), de la tubérosité de l'os cuboïde, du ligament plantaire long et de la base des troisième et quatrième métatarsiens (M3-M4). Le chef transverse prend naissance au niveau de la capsule articulaire des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) III à V et du ligament métatarsien transverse profond. Ils se terminent par un tendon commun sur l'os sésamoïde latéral et le bord latéral de la base de la phalange proximale (P1) de l'hallux. En chaîne ouverte, il est adducteur de l'hallux.



Figure 25. Muscle adducteur de l'hallux (ADDH). Application Visible Body

- Muscle court fléchisseur de l'hallux (CFH)

Le muscle court fléchisseur de l'hallux (CFH) présente deux chefs musculaires : soit le médial et le latéral (Figure 26). Le chef médial s'insère en proximal sur la face plantaire des os cunéiformes intermédiaire et latéral (C2-C3) ; le chef latéral sur la face plantaire de l'os cuboïde, ces insertions débordant sur le tendon du muscle tibial postérieur (TP) et le ligament plantaire long. Après s'être vu relié par un tendon commun, les insertions distales se font par l'intermédiaire de deux tendons, l'un médial s'unissant au tendon du muscle abducteur de l'hallux (ABDH), l'autre latéral s'unissant au tendon du muscle adducteur de l'hallux (ADDH). En chaîne ouverte, il est fléchisseur plantaire et stabilisateur de la première articulation métatarso-phalangienne (MTP).





Figure 26. Muscle court fléchisseur de l'hallux (CFH). Application Visible Body

### 3.2.5 Loge plantaire latérale

- Muscle abducteur du quintus (ABDQ)

Le muscle abducteur du quintus (ABDQ) a son insertion proximale sur le processus latéral de la tubérosité plantaire du calcanéus et a des expansions sur l'aponévrose plantaire et le septum intermusculaire plantaire latéral (Figure 27). Son insertion distale se fait sur la face plantaire et le bord latéral de la base de la phalange proximale (P1) du quintus. En chaîne ouverte, il est abducteur du quintus et stabilisateur de la 5<sup>e</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP).



Figure 27. Muscle abducteur du quintus (ABDQ). Application Visible Body

- Muscle court fléchisseur du quintus (CFQ)

Le muscle court fléchisseur du quintus (CFQ) a son insertion proximale en plantaire sur la partie latérale de la tubérosité de l'os cuboïde et a des expansions sur la base du cinquième métatarsien (M5) (Figure 28). Son insertion distale se fait en plantaire sur la base de la phalange proximale (P1) du quintus et sur la capsule de la 5<sup>e</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP). En chaîne ouverte, il est fléchisseur et stabilisateur de la 5<sup>e</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP).



Figure 28. Muscle court fléchisseur du quintus (CFQ). Application Visible Body

- Muscle opposant du quintus (OPPQ)

Le muscle opposant du quintus (OPPQ) a son insertion proximale en plantaire sur la partie latérale de la tubérosité de l'os cuboïde et a des expansions sur le ligament calcanéo-cuboïdien plantaire et la gaine du muscle long fibulaire (LF) (Figure 29). Son insertion distale se fait en plantaire sur la face latérale de la diaphyse du cinquième métatarsien (M5). En chaîne ouverte, il est fléchisseur, supinateur et adducteur de la 5<sup>e</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP).



Figure 29. Muscle opposant du quintus (OPPQ). Application Visible Body

## 4 Variations anatomiques musculo-squelettiques

### 4.1 Variations anatomiques osseuses

De multiples variations morphologiques osseuses peuvent exister au niveau de la cheville et du pied. On distingue les structures osseuses dites « sésamoïdes » incluses partiellement ou totalement dans un tendon (rôle de réduction de la friction et de protection de la structure tendineuse), et les structures osseuses dites « os accessoires », considérées comme des os surnuméraires dérivant possiblement de centres d'ossification non fusionnés (Kelikian et al., 2011).

Ces variations peuvent représenter une potentielle source de pathologies, ou bien au contraire demeurer totalement asymptomatiques et ne relever que d'une découverte fortuite par imagerie. Bien que les os sésamoïdes de l'hallux, compris dans les tendons du muscle court fléchisseur d'hallux, soient constants au niveau de la face plantaire de la tête du premier métatarsien, ils peuvent présenter une variation bipartite (entre 2,7 et 33,5% des cas), beaucoup plus fréquente au sein de l'os sésamoïde médial (Aparisi Gómez et al., 2019b; Park et al., 2017). Les os sésamoïdes des orteils latéraux sont à l'opposé inconstants et très rares, avec une fréquence accrue au niveau du cinquième rayon (4,3%) (Coskun et al., 2009).

L'os sésamoïde de l'articulation interphalangienne d'hallux se trouve dans l'articulation interphalangienne d'hallux, sous la tête de la phalange proximale, au-dessus du tendon de muscle long fléchisseur d'hallux (Wong-Chung et al., 2018). Il peut d'ailleurs être considéré comme un os accessoire, car sa situation intratendineuse est controversée (Nwawka et al., 2013; Roukis & Hurlless, 1996). Très souvent bilatéral, sa consistance (nodules de fibrocartilage, ossification entière avec trabécules) et son incidence sont variables (4,3%-72,5%), sa forme ossifiée demeurant moins courante (Coskun et al., 2009; Davies & Dalal, 2005; Roukis & Hurlless, 1996; Yanklowitz & Jaworek, 1975).

Les os accessoires les plus fréquemment décrits sont l'os *trigonum*, l'os *peroneum*, l'os naviculaire accessoire (os *naviculare*), l'os *intermetatarsium*, l'os *vesalianum*, l'os *supranaviculare*, l'os *infranaviculare*, l'os *supratalare*, l'os *talotibiale*, l'os *subtibiale*, l'os *subfibulare*, l'os *calcaneus secundarium*, l'os *sustentaculi* et l'os *subcalcis* (Candan et al., 2022; Lawson, 1994; Nwawka et al., 2013).

L'os *trigonum*, situé à l'arrière du talus, a une prévalence variable estimée entre 1,0 et 25,0%, pouvant atteindre 30,3% (McAlister & Urooj, 2021; Mellado et al., 2003; Zwiers et al., 2018). Cet os accessoire est relié au tubercule latéral du processus postérieur du talus par une synchondrose, et il se localise à proximité du tendon du muscle long fléchisseur d'hallux (Karasick & Schweitzer, 1996).

L'os *peroneum* est un os accessoire situé juste en amont du sillon de l'os cuboïde, près de l'articulation calcanéocuboïdienne, au sein du tendon du muscle long fibulaire. Il existe chez l'ensemble des individus sous une forme au moins cartilagineuse (Burton & Altman, 1986). Sa forme ossifiée est bien souvent bilatérale, avec une prévalence variant de 5,0% à 26,0% (Sammarco et al., 2010; M. Sobel et al., 1994), mais pouvant atteindre 30,0% à 45,0% selon des études cadavériques (Gomes et al., 2020; Muehleman et al., 2009). L'os *peroneum* peut également être bipartite ou multipartite et dans 60,0% des cas bilatéral (Bessette & Hodge, 1998; M. Sobel et al., 1994).

L'os naviculaire accessoire se décline sous trois types de morphologies. L'os naviculaire accessoire de type I se situe au sein de la partie distale du tendon du muscle tibial postérieur, non attaché à l'os naviculaire. L'os naviculaire accessoire de type II, dénommé os *naviculare*, correspond à un centre d'ossification accessoire non fusionné, séparé de la tubérosité de l'os naviculaire par une synchondrose de un à deux millimètres (Aparisi Gómez et al., 2019b; Nwawka et al., 2013). Il représente la forme la plus courante (50,0%) (Bencardino & Rosenberg, 2001). L'os naviculaire accessoire de type III correspond à une tubérosité

proéminente, pouvant être une variante d'un os naviculaire accessoire de type II ayant fusionné avec la tubérosité de l'os naviculaire (Romanowski & Barrington, 1992). Ces trois types d'os naviculaires accessoires ont une prévalence collective variant de 4,0 à 21,0%, et sont bilatéraux dans la moitié des cas (Lawson, 1994; Miller et al., 1995).

L'os *intermetatarseum* se localise le plus fréquemment entre les bases des premier et deuxième métatarsiens et l'os cunéiforme médial (Miller, 2002). Il peut être libre, articulé ou bien fusionné. Sa prévalence selon des études radiographiques oscille entre 0,1% et 6,8% ; elle est néanmoins supérieure selon des études de dissections anatomiques (8,0% à 12,5%) et cet os est présent bilatéralement dans un tiers des cas (Candan et al., 2022; Case et al., 1998; Kalbouneh et al., 2021).

L'os *vesalianum* est un os accessoire rare qui se développe dans le tendon du muscle court fibulaire, à proximité de la base du cinquième métatarsien. Sa prévalence est généralement décrite entre 0,1% et 0,9% (Beil et al., 2017; Coskun et al., 2009), mais pourrait être plus haute selon la population (Cilli & Akçaoğlu, 2005).

Les os *supranaviculare*, *supratalare*, *talotibiale*, tous situés dans la région dorsale du talus (prévalences respectives de 0,4%, 0,5%, 0,4%), l'os *infranaviculare* situé sous l'os naviculaire et proche des os cunéiformes médial et intermédiaire (0,3%), l'os *subtibiale* situé à la partie postérieure de la malléole médiale (0,2%) et l'os *subfibulare* situé sous la malléole latérale (0,4%), sont rares (Candan et al., 2022; Kalbouneh et al., 2021).

L'os *calcaneus secundarium*, situé entre la face antéro-médiale du calcaneus, l'os cuboïde, l'os naviculaire et la tête du talus, a une prévalence entre 0,3% et 0,4% (Candan et al., 2022; Ersen et al., 2013; Kalbouneh et al., 2021).

L'os *sustentaculi* est une variante correspondant à un os accessoire relié à la face postérieure du *sustentaculum tali* par une synchondrose fibrocartilagineuse, dont la prévalence est estimée entre 0,3% et 0,4% (Aparisi Gómez et al., 2019a)

Enfin, l'os *subcalcis* situé au niveau de la face plantaire du calcaneus en arrière de l'insertion de l'aponévrose plantaire demeure très rare (0,1%) (Candan et al., 2022).

## 4.2 Variations anatomiques musculaires

Quelques variations morphologiques sont relatives aux muscles de la cheville et du pied.

Le muscle troisième fibulaire (ou *peroneus tertius*) est une variation anatomique, car décrit comme inconstant, mais sa prévalence est estimée cliniquement à 80,0% et peut atteindre jusqu'à 95,0% selon des études cadavériques (Vieira et al., 2018; Witvrouw et al., 2006;

Yammine & Erić, 2017). Ce muscle, décrit précédemment, se situe dans la loge musculaire antérieure de jambe.

Le terme de muscle *peroneus quartus* est généralement utilisé pour décrire l'ensemble des muscles fibulaires accessoires de la face postéro-latérale de la jambe (*peroneus accessorius*, *perocalcaneus externum*, *peroneus digiti minimis*) (M. Sobel et al., 1990; Sookur et al., 2008). Sa prévalence oscille entre 10,0% et 22,0% selon des études reposant sur l'imagerie (Sookur et al., 2008; Yammine, 2015). Ce muscle provient fréquemment du muscle court fibulaire (ou bien du muscle long fibulaire ou directement de la fibula), et s'insère distalement avec une grande variabilité, à l'origine de sa classification (Donley & Leyes, 2001; Sookur et al., 2008). L'insertion distale la plus fréquente se situe sur le calcanéus, donnant lieu à l'appellation *perocalcaneus externum* (Donley & Leyes, 2001). Cette terminaison peut se faire également par deux tendons sur la base et la tête du cinquième métatarsien et sur la base de la phalange proximale, on parle alors de *peroneus digiti minimis* (M. Sobel et al., 1990). L'insertion distale peut aussi être sur le muscle long fibulaire, donnant lieu à l'appellation *peroneus accessorius* (Buschmann, 1991).

Le muscle long fléchisseur des orteils accessoire, dont la prévalence est estimée entre 6,0% et 8,0%, présente fréquemment pour insertion proximale le bord médial du tibia ou la face latérale de la fibula, sous l'origine du muscle long fléchisseur d'hallux ; il s'insère en distal sur le muscle carré plantaire ou sur le tendon du muscle long fléchisseur des orteils (Y. Y. Cheung et al., 1999; Eberle et al., 2002; Peterson et al., 1995; Sookur et al., 2008).

Le muscle *perocalcaneus internus*, dont la prévalence est de 1,0%, présente pour insertion proximale la face médiale de la fibula sous l'origine du muscle long fléchisseur d'hallux, et s'insère en distal sur un tubercule de la face médiale du calcanéus en dessous du *sustentaculum tali* (Mellado et al., 1997; Sookur et al., 2008).

Le muscle *tibiocalcaneus internus* est rare. Il prend son insertion proximale sur le bord médial du tibia et s'insère en distal sur la partie médiale du calcanéus un à deux centimètres en avant du tendon d'Achille (Y. Cheung, 2017; Kelikian et al., 2011). Il présente une similitude avec le muscle soléaire accessoire, mais se situe plus profond par rapport au rétinaculum des muscles fléchisseurs.

Le muscle soléaire accessoire présente son insertion proximale au niveau de la face antérieure du muscle soléaire, de la fibula, ou de la ligne du soléaire du tibia (Kendi et al., 2004). Ses insertions distales sont très variables, et se font sur le tendon d'Achille ou sur le calcanéus (face

supérieure ou médiale) (Aparisi Gómez et al., 2019a). Sa prévalence est de 0,7 à 5,5% selon des études cadavériques (Hatzantonis et al., 2011).

Le muscle plantaire grêle (muscle *plantaris*) fait partie du triceps sural. Il est considéré comme un muscle accessoire vestigial. Il est néanmoins fréquent, avec une prévalence supérieure à 90,0% (Gonera et al., 2021; Simpson et al., 1991). Il s'insère en proximal sur la ligne supracondylienne latérale du fémur, au-dessus et en dedans du chef latéral du muscle gastrocnémien latéral, et sur le ligament poplité oblique (Spina, 2007). Il se termine sur la tubérosité du calcaneus, en dedans du tendon d'Achille (Gonera et al., 2021).

Un muscle accessoire plantaire ventral du muscle adducteur d'hallux a été décrit, naissant du quatrième métatarsien et s'insérant avec les chefs obliques et transverses normalement configurés du muscle adducteur d'hallux (Mehta et al., 2011).

En outre une variante du muscle carré plantaire a été décrite, avec une grande variabilité au niveau de l'insertion proximale du chef musculaire médial pouvant se prolonger dans le tunnel tarsien (Athavale et al., 2012).

Un muscle fléchisseur accessoire du cinquième orteil naissant du tendon du muscle tibial postérieur et s'insérant sur la phalange moyenne a été décrit (Asomugha et al., 2005).

## **5 Conclusion**

L'anatomie, uniquement morphologique à son origine, s'oriente actuellement vers un aspect fonctionnel et clinique. L'anatomie fonctionnelle étudie les relations qui unissent la morphologie à la fonction des organes. Cette approche permet la compréhension des variations anatomiques.



# Chapitre 2 :

## Les déformations du pied

---

### 1 Introduction

Les déformations du pied relèvent d'une anatomie structurelle et fonctionnelle potentiellement différente de la norme couramment décrite. Les différentes modalités morphologiques, ou variations anatomiques sont à connaître pour appréhender les possibles différences de fonction des organes, et ainsi les éventuelles prises en charge de l'état considéré comme pathologique.

### 2 Pes cavus

Le *pes cavus* fait habituellement référence à un pied avec une arche longitudinale médiale haute qui ne s'aplatit pas en charge, et est couramment dénommé pied creux.

#### 2.1 Épidémiologie

La prévalence des *pes cavus* est étroitement liée à la géographie. Les méthodes de classifications des pieds et la population visée étant très variées selon les études, elle paraît difficile à établir.

Au sein d'une population pédiatrique, la prévalence du *pes cavus* a été estimée à 23,9% en Angleterre (Welton, 1992), à 25,9% en Inde (Rao & Joseph, 1992), à 25,5% au Népal (Kharbuja & Dhungel, 2017), et à 16,3% en Espagne (Gonzalez de Aledo Linos, 1996) selon des paramètres d'empreintes plantaires podographiques et podoscopiques.

Dans la population adulte, la prévalence du *pes cavus* a été estimée à 10,5% en Inde selon des paramètres d'empreintes statiques (Sachithanandam & Joseph, 1995), à 10,0% en Danemark et à 13,3% en Angleterre selon une autodéclaration des individus (Garrow et al., 2004; Mølgaard et al., 2010). Selon des critères baropodométriques et d'observation visuelle, la prévalence des pieds en supination serait de 15,0% aux États-Unis (Walker & Fan, 1998).

Enfin, au sein d'une cohorte italienne de 978 individus présentant des déformations des pieds, 68,3% présenteraient des *pes cavus* contre 31,7% de *pes planus* tout âge confondu (Troiano et al., 2017).

La présence de *pes cavus* bilatéraux correspond à un risque d'être atteint de la pathologie de Charcot-Marie-Tooth dans 78% des cas (Nagai et al., 2006).

## 2.2 Étiologie

La déformation en *pes cavus* unilatérale semble rare, et souvent typique d'un état post-traumatique : fracture ou subluxation des os du tarse mal traité, fracture du pilon tibial et/ou du talus, cicatrice d'une brûlure plantaire (Krähenbühl & Weinberg, 2019; Maynou et al., 2017). Des traumatismes graves du membre inférieur avec immobilisations prolongées ou un syndrome des loges pourraient également entraîner la déformation (Curvale & Rochwerger, 2002).

Lorsque la déformation est bilatérale, on estime que « le pied creux est d'origine neurologique jusqu'à preuve du contraire » (Curvale & Rochwerger, 2002). Le diagnostic de l'étiologie neurologique nécessite un examen neurologique systématique. Les principales causes d'origine neurologiques sont les neuropathies centrales (hémiplégie, lésions médullaires spasmodiques, séquelles d'infirmité motrice cérébrale, maladie de Parkinson), les neuropathies périphériques (lésion tronculaire du nerf fibulaire commun ou du nerf tibial postérieur, polynévrites, lésions de la moelle épinière (L5-S1)), les myopathies (dystrophies musculaires progressives dominées par la myopathie de Duchenne), la poliomyélite, les neuropathies sensorielles et motrices héréditaires dont la forme la plus courante est représentée par la maladie de Charcot-Marie-Tooth (Curvale & Rochwerger, 2002; Krähenbühl & Weinberg, 2019; Maynou et al., 2017; Nogueira et al., 2015).

Des déformations congénitales (pieds bots résiduels) ainsi que la polyarthrite rhumatoïde sont d'autres possibilités d'étiologies (Krähenbühl & Weinberg, 2019; Nogueira et al., 2015).

Le pied creux essentiel (ou idiopathique) est une étiologie acceptable lorsque l'ensemble des diagnostics différentiels étiologiques n'a pas démontré de résultats positifs. L'hypothèse de son étiologie serait alors liée à une croissance osseuse plus rapide que celle des parties molles plantaires qui deviennent trop courtes, ceci augmentant la courbure vers le haut de la voûte osseuse (Schnepp, 1979). Celui-ci pourrait néanmoins n'être que la conséquence d'un trouble neurologique latent.

## 2.3 Physiopathologie

Il existe plusieurs types de *pes cavus*, en fonction du site des déformations. Il est couramment décrit un *pes cavus* antérieur, un *pes cavus* postérieur, et un *pes cavus* mixte regroupant les deux déformations.

Le *pes cavus* antérieur correspond à une flexion plantaire de l'avant-pied. Le *pes cavus* postérieur ou *calcaneocavus* correspond à une augmentation de la pente calcanéenne. Un

déséquilibre musculaire intrinsèque et extrinsèque semble jouer un rôle primordial dans ces déformations. Ainsi, la physiopathologie des déformations résulte du site de la déformation. La déformation du *pes cavus* causée par l'avant-pied serait en lien avec la contraction du muscle long fibulaire (LF) sans opposition de la part du muscle tibial antérieur (TA), orientant ainsi le premier rayon en flexion plantaire. Le *pes cavus* incriminant l'arrière-pied serait plus simplement le résultat d'un mauvais alignement en varus de l'arrière-pied. Le *pes calcaneocavus* correspond à une flexion de l'arrière-pied et une flexion plantaire compensatoire de l'avant-pied, le calcanéus se caractérisant par un aspect dit « pistol-grip ». Il est lié à une faiblesse des muscles de la loge postérieure crurale, et ce type de pied est présent couramment dans le contexte de la poliomyélite (Fixsen, 1996; Seaman & Ball, 2022). Le *pes cavovarus* correspond à un calcanéus en varus, un avant-pied en équin avec pronation du premier rayon (Fixsen, 1996). Au final, la description des mécanismes déformants dans le contexte de la maladie de Charcot-Marie-Tooth englobe la physiopathologie du *pes cavovarus*.

Apparaissant couramment durant l'adolescence, les déformations caractéristiques du *pes cavus* dans la pathologie CMT sont acceptées comme étant la conséquence d'un déséquilibre moteur entre muscles agonistes et antagonistes (Karakis et al., 2013).

Le déséquilibre des muscles extrinsèques, caractérisé par la faiblesse du muscle tibial antérieur (TA) et la puissance du muscle long fibulaire (LF), donne lieu à une flexion plantaire du premier métatarsien (M1) et à une pronation de l'avant-pied, et donc un cavus de l'avant-pied avec augmentation de l'arche longitudinale médiale (Holmes & Hansen, 1993; Tynan et al., 1992). La plupart des personnes ayant comme déformation un pied creux varus semblent présenter à l'imagerie par résonance magnétique un compartiment fibulaire élargi, par rapport aux personnes ne présentant pas ce type de pieds (Tynan et al., 1992).

Une autre étiologie majeure du cavus de l'avant-pied chez CMT peut être la faiblesse et atrophie des muscles intrinsèques du pied. Bien qu'une étude ait montré des anomalies constantes de ces muscles chez les personnes atteintes de la maladie CMT, leur rôle dans la pathogénie du développement du *pes cavus* ne semble pourtant pas clairement défini (Burns, 2006; Gallardo et al., 2006). Cette musculature intrinsèque innervée par le nerf tibial semble être principalement dysfonctionnelle, facilitant les forces déformantes issues des muscles extrinsèques (Beals & Nickisch, 2008).

Le varus de l'arrière-pied neurogène, se produisant rarement de façon isolée, peut alors être considéré comme une déformation passive secondaire à l'entraînement de l'arrière-pied par l'avant-pied (Krause & Iselin, 2012). La déformation équine rigide du premier métatarsien (M1) force l'arrière-pied à s'incliner en varus pendant la mise en charge. Cette déformation en varus se développe au sein de l'articulation subtalaire, et résulte notamment du déséquilibre entre le puissant muscle tibial postérieur (TP) favorisant et favorisé mécaniquement par ce varus d'arrière-pied et le faible antagoniste qu'est le muscle court fibulaire (CF) (Beals & Nickisch, 2008; Krause & Iselin, 2012; Schwend & Drennan, 2003). Le muscle tibial antérieur (TA) peut lui aussi être une force déformante en raison de sa résistance statique à l'éversion dans le contexte d'arrière-pied varus, ceci malgré sa faiblesse relative. En outre, le triceps sural peut aggraver cette déformation en devenant inverseur secondaire (Krause & Iselin, 2012).

Initialement souple et réductible, l'alignement en varus de l'arrière-pied a néanmoins tendance à se rigidifier puis à se fixer avec l'évolution de la maladie, entraînant alors un *pes cavovarus* structurel. Associé à une faiblesse du muscle court fibulaire (CF), le varus contribue à exercer des contraintes au niveau des structures musculo-ligamentaires latérales de cheville, entraînant à terme une laxité bien souvent élective des faisceaux fibulo-talaire antérieur et calcanéofibulaire (Guyton, 2006). La stabilité frontale de cheville se voit diminuée, augmentant par conséquent le risque d'entorses et de chutes pendant la marche (Nonnekes et al., 2021).

De surcroît, une fois la déformation en *cavovarus* fixée, l'association de l'équin du premier métatarsien (M1) et de l'avant-pied en pronation entraîne cet avant-pied en adductus et contribue à une position relative du talus en dorsiflexion dans la pince bimalléolaire (Krause & Iselin, 2012). L'impingement (ou conflit) antéro-médial de la cheville induit par la suite une restriction de la dorsiflexion, également entretenue par l'éventuelle rétraction du triceps sural qui contribue à l'équin de cheville. Le varus de l'arrière-pied entraîne une diminution de l'angle talo-calcanéen dans le plan transversal, déplaçant le naviculaire vers une position plus dorsale que médiale par rapport au cuboïde. L'articulation de Chopart ainsi remaniée tend à bloquer l'arrière-pied en inversion et même l'avant-pied en varus pendant la marche (Aminian & Sangeorzan, 2008).

Du fait de la flexion plantaire augmentée du premier métatarsien (M1), de la hauteur d'arche longitudinale médiale augmentée et des déformations en griffe, une rétraction de l'aponévrose plantaire se met en place, augmentant ainsi l'effet *Windlass* efficace lors de la dorsiflexion passive des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) (Schwend & Drennan, 2003). Ce

mécanisme exagéré conduit à un raccourcissement relatif de l'aponévrose plantaire contribuant encore plus au varus d'arrière-pied. En résulte l'effet trépied en trois points d'appui que sont le talon, la tête du cinquième métatarsien (M5) et la tête du premier métatarsien (M1), en raison de l'équin rigide en pronation de l'avant-pied forçant l'arrière-pied à se positionner en varus (Holmes & Hansen, 1993; Schwend & Drennan, 2003; Tynan et al., 1992).

Habituellement en varus, l'arrière-pied peut toutefois être en valgus, en flexion dorsale (*calcaneocavus*) ou en flexion plantaire (équin de l'arrière-pied) (Karakis et al., 2013).

Au final, l'association entre la laxité talo-crurale, la faiblesse et le déséquilibre musculaire, ainsi que la perte relative de flexion de talo-crurale permet l'évolution des déformations.

### 3 Pes planus

Le *pes planus* correspond à un pied dont l'arche longitudinale médiale est basse. Cette déformation tridimensionnelle est complexe et comprend fréquemment des déformations de l'arrière-pied en valgus, de l'avant-pied en abduction, et du médio-pied en varus (Myerson et al., 2020). Cette morphologie est diversement nommée *pes planovalgus*, pied plat (flatfoot), *calcaneó-valgus* et *talipes valgus* (E. J. Harris, 2010; Van Boerum & Sangeorzan, 2003).

Il est décrit un *pes planus* physiologique qui demeure souple, indolore et sans conséquence fonctionnelle (Carr et al., 2016). A contrario, le *pes planus* peut être aphysiologique et progresser avec l'âge au lieu de se stabiliser. Il peut alors rester asymptomatique, ou bien s'enraidir et devenir douloureux (E. J. Harris, 2010).

Il convient ainsi de distinguer le *pes planus* se développant durant l'enfance qui est souvent physiologique, du *pes planus* qui s'acquiert à l'âge adulte (*Adult Acquired Flatfoot Deformity*) qui se définit comme une déformation symptomatique et progressive du pied. Il ne semble pas exister de consensus quant à la définition du *pes planus*, de par la complexité des multiples déformations le composant (Abousayed et al., 2016; E. J. Harris, 2010; Myerson et al., 2020).

Historiquement, la première classification en trois stades est basée sur l'état du tendon du muscle tibial postérieur (TP) qui présente un dysfonctionnement ou une rupture, la position de l'arrière-pied, et la souplesse de la déformation (K. A. Johnson & Strom, 1989). Les classifications ont par la suite évolué, et ont de plus en plus reconnu l'implication des déformations du médio-pied dans le développement du *pes planus* chez l'adulte, tout en

soulignant l'effet d'une dysfonction du muscle tibial postérieur (TP) sur les régions de l'arrière-pied et de la cheville.

Récemment, un consensus de groupe d'experts a proposé une nouvelle classification du *pes planus* chez l'adulte (Myerson et al., 2020). Celle-ci repose sur la souplesse (souple ou rigide), le type et la localisation des différentes déformations isolées ou combinées. Cette classification prend ainsi en compte la déformation en valgus de l'arrière-pied, la déformation en abduction du médio-pied et de l'avant-pied, la déformation en varus de l'avant-pied, l'instabilité de la colonne médiale, la subluxation/dislocation péritalienne et l'instabilité de cheville (Myerson et al., 2020). Ce consensus appelle à une nouvelle terminologie pour le *pes planus* acquis de l'adulte : *Progressive Collapsing Foot Deformity*.

### 3.1 Epidémiologie

La prévalence du *pes planus* est également difficile à établir, notamment par l'absence de consensus quant à sa définition, et les différentes méthodes de classifications utilisées dans les études épidémiologiques. D'une part, elle est étroitement liée à l'âge, car la majeure partie des *pes planus* voit une modification de sa morphologie lors de la 1<sup>re</sup> décennie du développement de l'enfant (Carr et al., 2016). Elle est d'autre part influencée par le sexe et l'âge puisqu'il se manifeste plus fréquemment chez les hommes durant le premier pic de croissance et lors d'un indice de masse corporelle (IMC) élevé (Pfeiffer et al., 2006; Pourghasem et al., 2016).

En Angleterre, une étude d'analyses d'empreintes a mis en évidence une prévalence de 97,0% de *pes planus* chez les enfants de moins de 18 mois, et de 4,0% chez les enfants âgés de moins de 10 ans (Morley, 1957). Ces résultats sont en accord avec ceux de Welton, qui trouve une prévalence décroissante avec l'âge (42,5% de *pes planus* chez les enfants âgés de 1 à 4 ans, 6,3% chez les enfants âgés de 5 à 8 ans, 4,8% chez les enfants âgés de 9 à 12 ans, 3,0% chez l'adulte) (Welton, 1992). Une revue systématique confirme que les groupes d'âge de trois à cinq ans et de 11 à 17 ans sont plus associés au *pes planus* (Salinas-Torres et al., 2023). Ceci semble correspondre à la prévalence observée dans d'autres secteurs géographiques, avec 44,0% de *pes planus* chez des enfants âgés de 3 à 6 ans en Autriche, 6,7% chez les enfants âgés de 4 à 13 ans en Inde et 5,1% chez les enfants âgés de 5 à 10 ans au Népal, toujours selon des critères d'empreintes (Kharbuja & Dhungel, 2017; Pfeiffer et al., 2006; Rao & Joseph, 1992). Par ailleurs, la déformation en *pes planus* des adolescents concernerait aux États-Unis 16,2% des hommes et 11,7% des femmes d'âge moyen de 17 ans selon des critères anthropométriques,

et 3,8% des jeunes adultes masculins d'âge moyen de 19 ans en Corée du Sud selon diagnostic radiologique (Ryu et al., 2022; S. Tenenbaum et al., 2013).

Dans la population générale, le *pes planus* autodéclaré concernerait respectivement 8,0% et 6,2% des populations danoise et anglaise adultes âgées de moins de 80 ans (Garrow et al., 2004; Mølgaard et al., 2010).

Au sein d'une population d'âge moyen supérieur à 60 ans, la prévalence du *pes planus* selon des critères diagnostic d'empreintes serait de 26,5% chez les hommes et de 25,7% chez les femmes au Japon, de 26,6% de la population en Espagne, et selon des critères d'anatomie palpatoire de 19,0% aux États-Unis (Dunn, 2004; Otsuka et al., 2003; Pita-fernandez, 2017).

### 3.2 Étiologies

Les causes du *pes planus* sont à distinguer entre le *pes planus* de l'enfant et le *pes planus* acquis à l'âge adulte.

Les nourrissons naissent habituellement avec une morphologie des pieds s'apparentant à celle d'un *pes planus*. Ceci peut s'expliquer par la présence d'un coussinet de graisse qui obstrue la voûte plantaire et la laxité ligamentaire physiologique (Dare & Dodwell, 2014; Morley, 1957). L'arche longitudinale médiale aura tendance à se développer durant la première décennie. Comme vu précédemment, il existe une corrélation positive entre l'augmentation de l'indice de masse corporelle (IMC) et la déformation en *pes planus*. La présence d'antécédents familiaux peut être également associée au *pes planus* (Abdel-Fattah et al., 2006).

Les principales causes d'une déformation en *pes planus* chez l'enfant sont une coalition (synostose) tarsienne fréquemment talo-calcaneennes ou calcanéonaviculaires, un os naviculaire accessoire, un trouble de la torsion tibiale, une séquelle de déformation congénitale (talus vertical congénital ou pied bot convexe congénital), une laxité ligamentaire ou des tissus mous généralisée, une maladie neurologique (poliomyélite), une maladie musculaire (myopathie), ou encore une maladie du collagène (Ehlers-Danlos, Marfan) (Finsterer & Strobl, 2011; E. J. Harris, 2010; McCormack et al., 2001; Napolitano et al., 2000; Troiano et al., 2017). Cet ensemble de facteurs peut favoriser une évolution vers un *pes planus* rigide.

Le *pes planus* de l'adulte peut être considéré comme une déformation résiduelle du *pes planus* pédiatrique, ou bien une réelle déformation acquise à l'âge adulte. Les principales causes du

*pes planus* acquis de l'adulte sont une dysfonction du tendon du muscle tibial postérieur (TP), une laxité du médio-pied, une subluxation du talus, une rétraction du complexe suro-achilléo-plantaire, une abduction de l'avant-pied, une séquelle post-traumatique (lésions des articulations de Lisfranc, talo-naviculaire...), neuroarthropathie diabétique ou pieds de Charcot, une maladie à l'origine d'un déséquilibre neuromusculaire (poliomyélite, infirmité motrice cérébrale) (McCormack et al., 2001; Van Boerum & Sangeorzan, 2003).

### 3.3 Physiopathologie

En entrée de jeu, rappelons que l'arche longitudinale médiale se développe entre l'âge de sept à dix ans (Tong & Kong, 2016).

Les trois grandes composantes de la déformation du *pes planus* sont le valgus d'arrière-pied, l'abduction de l'avant-pied et l'aplatissement de l'arche longitudinale médiale (Gutteck et al., 2020). Les deux grandes théories musculaire et articulaire reposent sur la dysfonction progressive du tendon du muscle tibial postérieur (TP), et sur la faiblesse acquise des structures ligamentaires causée par la marche. Au final, l'étiologie primaire demeure débattue et ces mécanismes semblent étroitement liés.

La déformation acquise du *pes planus* correspond à une perte progressive de fonction des structures de soutien dynamique et statique de la voûte plantaire (Richie, 2007). L'association d'une faiblesse des structures ligamentaires et/ou osseuses, et d'un déséquilibre des forces musculaires peut conduire à une déformation en *pes planus* (Basmajian & Stecko, 1963; D. B. Thordarson et al., 1995). La plupart des *pes planus* restent souples et asymptomatiques, mais leur enraidissement articulaire peut devenir pathologique.

Au cours de la déformation, le talus se positionne en flexion plantaire et en adduction, la tête du talus devient plus médiale, augmentant les contraintes au niveau du ligament calcanéo-naviculaire plantaire (*Spring ligament*). La laxité des structures plantaires de l'arrière-pied et du médio-pied, en particulier de ce ligament calcanéo-naviculaire, est un facteur majeur de la déformation (Niki et al., 2001). Suite à cette position du talus, le calcaneus tend à s'horizontaliser, à dériver latéralement et postérieurement, favorisant le manque de soutien de la tête du talus par l'apophyse antérieure du calcaneus. L'éversion progressive du calcaneus peut alors être à l'origine d'un conflit osseux avec la pointe de l'épiphyse distale de la fibula (Gutteck et al., 2020). L'articulation subtalaire subit une pronation. Pour s'adapter à ce changement de posture, l'os cuboïde suit le calcaneus, provoquant une abduction de l'avant-



ped (Pita-fernandez, 2017). L'apex de la déformation de l'arche longitudinale médiale se réalise dans les articulations talo-naviculaire, naviculo-cunéiformes et tarso-métatarsiennes (Van Boerum & Sangeorzan, 2003). Varus et abduction se produisent souvent au niveau des articulations transverses du tarse. L'os naviculaire se subluxe latéralement et se déplace dorsalement par rapport à la tête du talus favorisant ainsi sa découverte, ceci correspondant à la notion de subluxation péritalienne (Myerson et al., 2020).

En association à la modification de positionnement du talus et du calcaneus, le triceps sural peut être moins étiré à la marche et une adaptation possible est sa rétraction (Van Boerum & Sangeorzan, 2003). Son action de supination au niveau de l'articulation subtalaire devient de la pronation, augmentant ainsi le valgus calcaneen (Gutteck et al., 2020). La rétraction du complexe suro-achilléo-plantaire et l'excès de tension qui en découle sont une cause majeure d'aplatissement de l'arche longitudinale médiale et d'abduction de l'avant-pied. Elle contribue à l'horizontalisation du calcaneus et à la déclinaison du talus (Richie, 2007; D. B. Thordarson et al., 1995). De façon générale, la contraction concentrique du triceps sural lors du cycle de marche permet une propulsion et un 3<sup>e</sup> pivot autour de l'avant-pied (Perry & Burnfield, 2010). En présence d'articulations médio-tarsiennes non verrouillées pendant la fin de phase d'appui, l'activité du triceps sural peut engendrer une flexion plantaire de l'arrière-pied sur l'avant-pied. Ceci augmente encore plus les contraintes du tendon du muscle tibial postérieur (TP), du ligament calcaneéo-naviculaire plantaire, du ligament plantaire long, du ligament plantaire court (calcaneéo-cuboïdien plantaire), de l'aponévrose plantaire, et favorise ainsi l'affaissement et l'abduction du médio-pied (Richie, 2007; Van Boerum & Sangeorzan, 2003).

Le déplacement dorsolatéral de l'os naviculaire peut entraîner des contraintes répétitives et un affaiblissement du tendon du muscle tibial postérieur (TP), muscle le plus puissant s'opposant à l'effondrement de l'arche longitudinale médiale et à l'abduction du médio-pied et de l'avant-pied. La faiblesse du muscle tibial postérieur (TP) pendant la phase de *Heel off* permet à l'arrière-pied de rester en éversion pendant la contraction du triceps sural, qui devient donc un puissant pronateur au lieu d'assurer son rôle supinateur de l'ensemble du pied (Richie, 2007). Les muscles long fléchisseur des orteils (LFO) et long fléchisseur de l'hallux (LFH) sont accessoires du muscle tibial postérieur (TP) dans le rôle de maintien de voûte. Cependant, la faiblesse du tendon du muscle tibial postérieur (TP) ne peut être compensée que partiellement dans sa composante d'inversion par le muscle tibial antérieur (TA) et très

partiellement dans sa composante d'adduction par le muscle long fléchisseur des orteils (LFO) (Gutteck et al., 2020; Hui et al., 2007). Cette faiblesse peut être associée à une activité compensatoire des muscles fibulaires, venant pallier le déficit de flexion plantaire de cheville et permettant une flexion plantaire du premier rayon (Ringleb et al., 2007; D. B. Thordarson et al., 1995). Le muscle long fibulaire (LF) permet donc d'augmenter l'arche longitudinale médiale dans le plan sagittal, mais contribue à la déformation en *pes planus* par sa composante d'abduction de l'avant-pied.

Les muscles intrinsèques du pied semblent contribuer davantage à la stabilité du pied durant la marche et à la protection des structures ligamentaires qu'à la réelle morphologie du pied (Carr et al., 2016).

Au final, l'aponévrose plantaire via le mécanisme du *Windlass* décrit par Hicks représenterait le soutien le plus important dans le plan sagittal de l'arche longitudinale médiale (Hicks, 1954). Le tendon du muscle tibial postérieur (TP) permettrait avant tout d'assurer la stabilité du médio-pied avant le décollement du talon, afin que le mécanisme du *Windlass* puisse permettre une flexion plantaire de l'avant-pied sur l'arrière-pied, le triceps fournissant alors la tension nécessaire à la propulsion (Rattanaprasert et al., 1999).

## **4 Déformations des orteils latéraux**

Les déformations des orteils atteignent de manière sélective ou combinée les articulations métatarso-phalangiennes (MTP), interphalangiennes proximales (IPP) et interphalangiennes distales (IPD).

Bien que pouvant être tridimensionnelle, la composante majeure de la déformation se situe dans le plan sagittal.

### **4.1 Concept fonctionnel : le modèle de Hicks, « Windlass Mechanism »**

Hicks (1954) a émis une hypothèse anatomique relative au creusement de la voûte plantaire, dans laquelle l'aponévrose plantaire jouerait un rôle majeur (Figure 30).

Une traduction de ce mécanisme a été proposée comme suit (Perrier, 2016) :

« L'élévation de l'arche à l'extension des orteils peut se décrire ainsi. Quand l'orteil s'étend, la phalange glisse sur le dessus de la tête métatarsienne, tirant dans ce mouvement la plaque plantaire qui est liée à la tête métatarsienne et créant un mouvement de traction sur l'insertion de l'aponévrose. Ce mécanisme peut se comparer à un câble tiré sur un quart de tour d'une

poulie. La roue étant la tête métatarsienne, la manivelle étant la phalange et le câble étant l'aponévrose ».

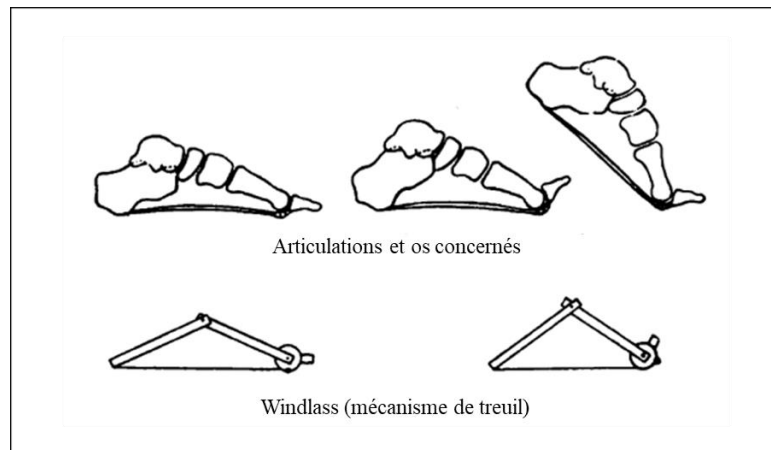


Figure 30. The Windlass mechanism. Hicks, 1954

Ce mécanisme expliqué permet la compréhension du raccourcissement relatif de l'aponévrose entraînant les structures osseuses à augmenter la hauteur de la voûte longitudinale par verticalisation du calcaneus, lors de la mise en extension des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) et des orteils.

L'effet *Windlass* demeure plus important au niveau de l'hallux grâce à un rayon de tête métatarsienne plus important, et décroît progressivement du 2<sup>e</sup> au 5<sup>e</sup> orteil.

Selon la description du cycle de marche et de la notion des pivots, cet effet est observable lors de la phase de propulsion ou 3<sup>e</sup> pivot du cycle de marche, et fonctionne également à l'envers, c'est-à-dire lorsque le pied repose à plat sur le sol (Figure 31 et 32).

Ceci a été mis en évidence par le *footstool edge weight-bearing test*, qui permet de vérifier l'intégrité du mécanisme du *Windlass* (Stainsby, 1997) (Figure 33).

La surface portante du pied s'arrêtant au niveau des têtes métatarsiennes, les phalanges proximales réalisent une flexion plantaire, tout en résistant à leur mise en extension. Les articulations interphalangiennes proximales (IPP) et interphalangiennes distales (IPD) restent quant à elles mobiles, ce qui permet d'incriminer l'aponévrose plantaire dans ce mouvement d'extension phalangien.

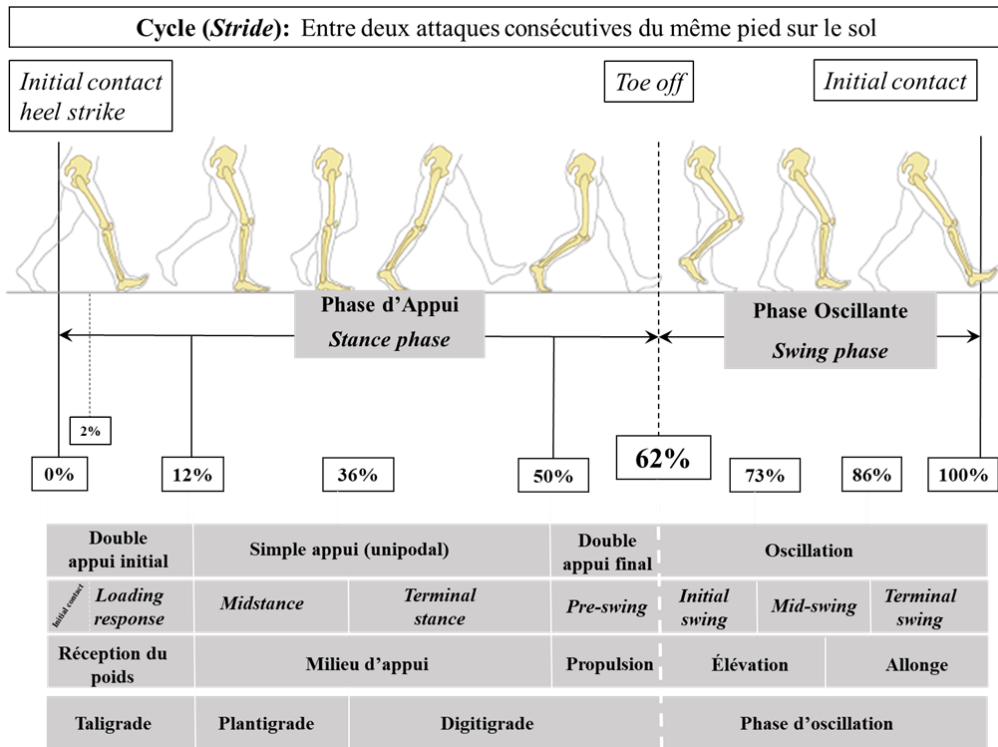


Figure 31. Cycle de marche, d'après DIU Analyse de la marche (Marseille), et Perry & Burnfield (2010)

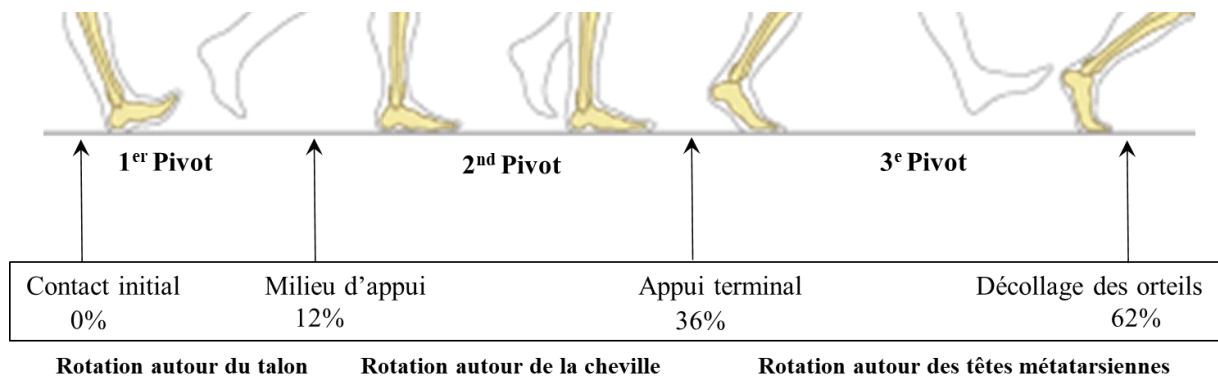


Figure 32. Pivots lors du cycle de la marche, d'après DIU Analyse de la marche (Marseille), et Perry & Burnfield (2010)

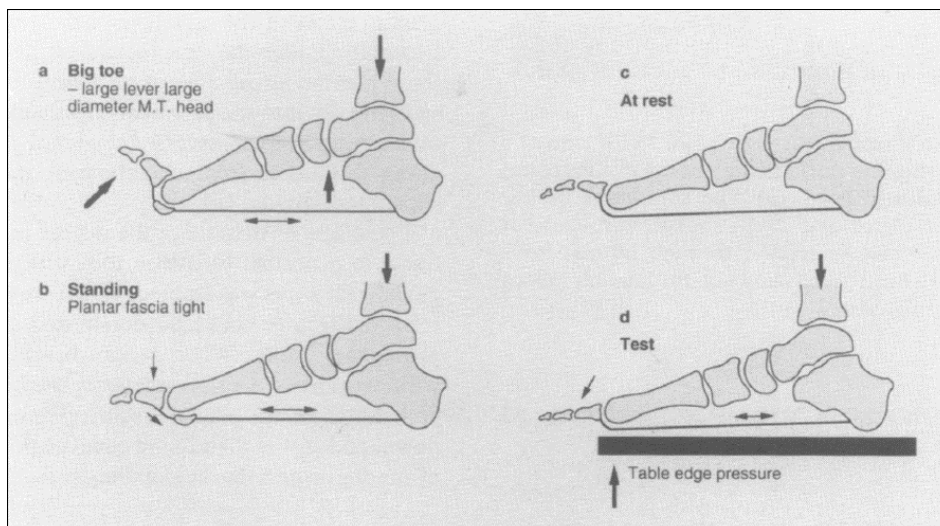


Figure 33. Footstool edge weight-bearing test. Stainsby, 1997

## 4.2 Physiopathologie des déséquilibres fonctionnels des déformations des orteils latéraux

### 4.2.1 Physiopathologie des déformations comprenant une hyperextension phalangienne proximale

#### 4.2.1.1 Théorie musculaire

La dysharmonie musculaire entre muscles extrinsèques et intrinsèques du pied peut-être à l'origine du mécanisme de déformation des orteils latéraux. En effet la puissance des muscles extrinsèques associée à une faiblesse intrinsèque provoque un déséquilibre majeur.

Comme abordé précédemment, les muscles extenseurs ont une action dominante sur la phalange proximale (P1), les muscles fléchisseurs sur les phalanges moyennes (P2) et distales (P3), laissant ainsi un rôle équilibrateur aux muscles intrinsèques que sont les interosseux et les lombricaux.

Par conséquent, une traction non opposée du muscle long extenseur des orteils (LEO) amène à une extension de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP). De par son absence d'insertion sur la phalange proximale (P1), la puissance d'action du complexe musculaire extenseur se développe sur celle-ci via le mécanisme de bretelle aponévrotique d'extension (Shirzad, 2011). La phalange proximale (P1) et l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) se retrouvent en suspension.

Une fois l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) en hyperextension, l'activité du muscle long extenseur des orteils (LEO) au niveau interphalangien devient très limitée. L'effet lasso

engendré par le capuchon extenseur, qui ancre le muscle long extenseur des orteils (LEO) à la partie plantaire du métatarsien et de la phalange, empêche l'activité d'extension du muscle long extenseur des orteils (LEO) au niveau de l'articulation interphalangienne proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD) (Ferrari-Portafaix et al., 2020; Shirzad et al., 2011). Il perd son effet de ténodèse.

Le muscle long extenseur des orteils (LEO) ne peut être considéré extenseur des articulations interphalangienne proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD) uniquement lorsque l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) est en position neutre ou fléchie. Ce rôle au niveau interphalangien est délégué aux muscles intrinsèques.

Lors de l'hyperextension métatarso-phalangienne (MTP), la direction de la force de traction des intrinsèques est modifiée et tend à se rapprocher de la verticale. Ces muscles développent une puissance amoindrie et ne peuvent plus lutter aussi efficacement contre la force de traction du muscle long extenseur des orteils (LEO).

Les muscles long fléchisseur des orteils (LFO) et court fléchisseur des orteils (CFO) se retrouvent mis en tension par l'hyperextension métatarso-phalangienne (MTP). N'ayant pas d'insertion sur la phalange proximale (P1) et donc une faible influence sur la flexion de la phalange proximale (P1), ils viennent fléchir les articulations interphalangienne proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD).

#### **4.2.1.2 Théorie articulaire**

Les déformations des orteils latéraux peuvent trouver leur origine dans la défaillance des systèmes d'ancrages articulaires de l'avant-pied.

Comme abordé dans les précédents chapitres, le fibrocartilage glénoïdien présente une situation anatomique sous métatarsienne. Conjointement lié au ligament métatarsien transverse profond avec lequel il forme une barre de liaison transversale de tissu ligamentaire solide, il fournit une force de résistance à l'hyperextension de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) (Mizel & Yodlowski, 1995; Stainsby, 1997).

Lors de ce mouvement d'extension, le fibrocartilage est tracté distalement, son paquet adipeux plantaire est comprimé et va suivre le déplacement de la phalange. Ces forces d'hyperextension chroniques participent au déplacement plantaire de la tête métatarsienne par hyperappui phalangien et à la migration antérieure du coussinet graisseux qui peut alors amplifier le mécanisme. La tête métatarsienne se retrouve avec une faible couverture tissulaire et une perte de protection mécanique. L'atteinte des ligaments collatéraux métatarso-phalangiens est

souvent considérée comme un dommage collatéral plutôt qu'un évènement déclencheur déformant (Lintz et al., 2019).

Si la déformation devient très importante, la plaque plantaire peut migrer dorsalement, provoquant alors un effet piston appuyant sur la tête métatarsienne.

Finalement, toute dégradation du fibrocartilage glénoïdien diminue ses forces statiques de lutte contre l'élévation de la phalange proximale (P1), engendrant plus facilement des déformations des orteils latéraux.

En résumé, nous comprenons que la position de la phalange proximale (P1) est au centre d'un combat pouvant sembler inégal entre antagonistes musculaires, représentés d'une part par le puissant système extenseur, d'autre part par les faibles intrinsèques du pied. La défaillance du rôle stabilisateur du fibrocartilage glénoïdien ne fera que faciliter l'hyperextension phalangienne proximale.

#### **4.2.1.3 Poids du mécanisme du Windlass dans la genèse des déformations**

Le système aponévrotique plantaire contribue à la lutte contre le système extenseur métatarso-phalangien. Comme précédemment mentionné, le mécanisme du *Windlass* tend à une rigidification du pied lors de la phase digitigrade, mais aussi à l'abaissement des orteils par l'aponévrose lors de la phase de mi-appui.

Si l'effet *Windlass* ne s'effectue pas au niveau d'un rayon, l'extension de la phalange proximale (P1) est ainsi favorisée. Les bandelettes aponévrotiques distales deviennent de plus en plus dorsales, contribuant à l'abaissement de la tête métatarsienne dans le paquet adipeux (Stainsby, 1997). Le « footstool edge weight-bearing test » est dans ce cas positif.

#### **4.2.2 Physiopathologie des déformations comprenant une flexion des articulations interphalangienne proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD)**

Les positions de la phalange intermédiaire (P2) et de la phalange distale (P3) se trouvent une nouvelle fois au sein d'un conflit d'antagonistes musculaires. L'extension est garantie par les muscles interosseux et lombricaux. La flexion est liée à l'activité extrinsèque des muscles long fléchisseur des orteils (LFO) et court fléchisseur des orteils (CFO).

Lorsque la phalange proximale (P1) est en position neutre, ces deux muscles fléchisseurs ont une action de flexion métatarso-phalangienne (MTP). En revanche, lorsque l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) est en extension, ils ont une action prédominante de flexion des

articulations interphalangiennes proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD), favorisant l'apparition de déformations.

Les extrinsèques dominent une nouvelle fois bien souvent les intrinsèques.

## **5 Déformation du premier rayon en hallux valgus**

### **5.1 Définition**

L'hallux valgus est une déformation orthopédique du pied caractérisée par une déviation latérale de l'hallux avec subluxation progressive de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP). Cette affection s'accompagne également d'un déplacement médial du premier métatarsien (M1) avec augmentation du metatarsus varus, et d'une rotation interne de la première phalange de l'hallux (P1).

### **5.2 Prévalence**

L'hallux valgus est la pathologie du pied la plus fréquemment rencontrée, devant les autres déformations des orteils dans les plans horizontal et sagittal, les névromes de Morton, les fasciites plantaires (Golightly et al., 2014).

Sa prévalence mondiale a été clairement décrite lors d'une méta-analyse datant de 2010 (S. Nix et al., 2010). Celle-ci est systématiquement liée au sexe et à l'âge de la population. Cette déformation orthopédique affecte 30,0% des femmes et 13,0% des hommes tous âges confondus ; 7,8% de la population âgée de moins de 18 ans ; 23,0% de la population âgée de 18 à 65 ans ; 35,7% des personnes de plus de 65 ans. L'hallux valgus est donc plus fréquemment rencontré chez les femmes et les personnes âgées.

### **5.3 Étiologies et physiopathologie**

L'hallux valgus peut être d'origine congénitale, juvénile, ou bien s'acquérir après l'adolescence. Ces étiologies sont complexes et multifactorielles.

La forme congénitale est principalement causée par des syndromes polymalformatifs découlant d'une anomalie de l'embryogenèse (Lakkireddy, 2015; Vanek et al., 1986).

L'hallux valgus juvénile est souvent associé à des particularités anatomiques constitutionnelles comme l'hallomégalie, l'excès de longueur du premier métatarsien (M1), le metatarsus varus primitif (Mainard, 2014).



L'hallux valgus acquis à un âge plus avancé est dû à la faillite progressive des moyens de stabilisation du premier rayon, ceci évoluant dans un contexte de multiples facteurs de risques comme l'hérédité, le sexe, la morphologie du pied, le chaussage serré et des facteurs biomécaniques comme l'instabilité cunéo-métatarsienne primitive (Faber et al., 2001; Hannan et al., 2013; Menz et al., 2016; S. E. Nix et al., 2012; Raikin et al., 2014).

Plus précisément, l'équilibre du premier rayon dépend de stabilisateurs passifs capsulo-ligamentaires (capsule et ligament collatéral médial de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP), ligament sésamoïdien collatéral médial) et de stabilisateurs dynamiques musculaires. Toute anomalie qui perturbe l'intégrité du premier rayon peut entraîner un hallux valgus (Perera et al., 2011).

Ce système de stabilisation dont le seul muscle médial est représenté par l'abducteur de l'hallux (ABDH), peut s'affaiblir et devenir insuffisant pour lutter contre les multiples potentielles étiologies. On distingue les facteurs extrinsèques (chaussures étroites/à talons favorisant la surcharge du premier rayon) (Corrigan et al., 1993; Coughlin & Thompson, 1995), et les facteurs intrinsèques. Ces derniers comprennent les facteurs héréditaires, notamment en lien avec l'hypermobilité du premier rayon ou la formule métatarsienne (longueur relative des métatarsiens) (Hannan et al., 2013; Spooner, 1997) ; la laxité ligamentaire (Mansur & de Souza Nery, 2020; McNerney & Johnston, 1979) ; les variabilités anatomiques du premier rayon, comme l'excès de longueur du premier rayon (par hallomégalie ou bien premier métatarsien (M1) trop long), une 1<sup>re</sup> tête métatarsienne ronde rendant l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) plus instable, un metatarsus varus primitif (Coughlin, 1996; Hardy & Clapham, 1952; Laffenêtre et al., 2009; Mainard, 2014; Mancuso et al., 2003; S. E. Nix et al., 2012; Okuda et al., 2007). Le rôle de l'hypermobilité de la 1<sup>re</sup> articulation cunéo-métatarsienne dans un contexte d'instabilité purement sagittal demeure débattu, mais l'instabilité pluriplanare semble admise comme facteur favorisant (Doty & Coughlin, 2013; H. Y. Lee et al., 2022). En outre, une rétraction de l'aponévrose limitant la flexion dorsale de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP) par effet *Windlass*, ainsi qu'une rétraction des muscles gastrocnémiens, peuvent favoriser la déformation en hallux valgus (Barouk, 2014; Barouk et al., 2006; Perera et al., 2011). La déformation en *pes planus* avec élévation du premier métatarsien (M1) pouvant s'accompagner d'une difficulté de stabilisation du premier rayon par le muscle long fibulaire (LF), représente une étiologie supplémentaire (Hetherington, 1994).

La pathogenèse de la déformation semble débiter par une faiblesse des structures médiales que sont le ligament sésamoïdien collatéral médial et le ligament collatéral médial de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP) (Perera et al., 2011; Wilson, 1980). La 1<sup>re</sup> tête métatarsienne peut glisser sur l'appareil sésamoïdien et se déporter en dedans, augmentant ainsi le metatarsus varus. Ce mécanisme est favorisé par une 1<sup>re</sup> articulation cunéo-métatarsienne très oblique, ou instable. L'insuffisance géométrique causée par le metatarsus varus contribue à la désorganisation statique de l'avant-pied et à des conséquences mécaniques pouvant provoquer des déformations des rayons latéraux (Laffenêtre & Chauveaux, 2005). La base de la phalange proximale (P1) étant en lien avec les os sésamoïdes, le ligament transverse profond (via la plaque plantaire) et le tendon du muscle abducteur de l'hallux (ABDH), le valgus phalangien tend à se mettre en place. La 1<sup>re</sup> tête métatarsienne peut reposer sur l'os sésamoïde médial, l'os sésamoïde latéral ayant dérivé vers le premier espace intermétatarsien. Par la suite, les tendons des muscles long extenseur de l'hallux (LEH) et long fléchisseur de l'hallux (LFH) s'arquent latéralement. On dit qu'ils « prennent la corde », les forces de traction augmentant ainsi le valgus et pouvant favoriser l'extension de la phalange proximale (P1) (Haines & McDougall, 1954; Perera et al., 2011). La subluxation des os sésamoïdes contribue à diminuer le bras de levier du muscle long fléchisseur de l'hallux (LFH) passant d'une direction plantaire à une direction latérale. Le tendon s'éloigne de la tête du premier métatarsien (M1), et transforme les muscles long fléchisseur de l'hallux (LFH) et court fléchisseur de l'hallux (CFH) en adducteurs, pouvant contribuer à une perte sévère de la flexion plantaire (Bejjani et al., 1999; Lamur et al., 1996). Au fur et à mesure de la dysfonction de l'appareil sésamoïdien par glissement de la sangle dans l'espace intermétatarsien, résultat des déséquilibres musculaires, la tête métatarsienne subit une pronation. Le muscle abducteur de l'hallux (ABDH) demeure le plus résistant au valgus phalangien, mais devient dysfonctionnel en raison du déplacement de son enthèse distale en médio-plantaire, favorisant ce mouvement de pronation. La capsule articulaire métatarso-phalangienne dorsale tourne alors en médial et contraint elle aussi la phalange en pronation (McBride, 2002). S'ensuivent des limitations d'amplitude en flexion et en extension de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP), possiblement due à la rétraction de la capsule et des structures ligamentaires latérales, mais aussi aux modifications dégénératives articulaires (Laffenêtre et al., 2009).

#### 5.4 Examen clinique et pratique courante

La consultation médicale d'un hallux valgus relève d'une routine associant anamnèse et bilan clinique.

L'interrogatoire doit être centré sur les antécédents médicochirurgicaux, les facteurs de risque, la personnalité du patient, ainsi que l'évaluation des déformations du pied par des outils de scores fonctionnels, d'échelles de la douleur, et l'analyse du motif de consultation (Piclet-Legré et al., 2017; Shakked et al., 2018).

La déformation de l'hallux valgus est couramment analysée de manière descriptive. L'examen clinique de cette déformation débute par une analyse exhaustive morpho-statique et morpho-dynamique, bilatérale des membres inférieurs, associée à des bilans musculaires, articulaires, vasculaires, neurologiques, etc. (Maestro et al., 2018; Piclet-Legré et al., 2017; Ray et al., 2019). La gradation de l'hallux valgus peut être évaluée cliniquement avec l'échelle de Manchester, qui est une méthode d'évaluation de la déformation à partir d'un ensemble de photographies standardisées (Garrow et al., 2001). L'hallux valgus est alors classé selon quatre grades : 1 (A) aucune déformation – 2 (B) déformation légère – 3 (C) déformation moyenne – 4 (D) déformation sévère.

Afin de prendre une décision thérapeutique, l'évaluation clinique doit être complétée par l'imagerie médicale. La métrologie utilisant des radiographies standard du pied et de la cheville, réalisées en charge, doit être comparative. Un grand nombre de mesures angulaires du pied est nécessaire pour comprendre la physiopathologie de la déformation (Brage et al., 1994; Coughlin, 1995; Sorto et al., 1992).

L'angle de l'hallux valgus, l'angle intermétatarsien (angle du métatarsus varus), l'angle interphalangien d'hallux et l'angle de rotation sésamoïdien sont de bons prédicteurs de la déformation et sont reproductibles (K. M. Lee et al., 2012).

L'angle de l'hallux valgus (HVA) est formé par l'axe longitudinal de la phalange proximale (P1) de l'hallux et l'axe longitudinal du premier métatarsien (M1). Sa norme est comprise entre 5 et 15° (Hardy & Clapham, 1951; Karasick & Wapner, 1990). Il décrit l'importance de la déviation en valgus dans le plan transversal. L'angle intermétatarsien (IMA) est défini par l'axe longitudinal du premier métatarsien (M1) et celui du deuxième métatarsien (M2). Sa norme est comprise entre 8 et 12° (Gentili, 1996), mais une angulation supérieure à 9-10° semblerait correspondre à un signe de déviation du premier métatarsien (M1) en varus dans le plan

transversal (Drapé & Guerini, 2010; Gentili et al., 1996; Hardy & Clapham, 1951). L'angle articulaire distal du premier métatarsien (M1) (Distal Metatarsal Articular Angle ou DMAA) est l'angle entre la perpendiculaire à la surface articulaire effective de la 1<sup>re</sup> tête métatarsienne et l'axe longitudinal du premier métatarsien (M1) (Gentili et al., 1996). Sa norme est inférieure à 10° (Drapé & Guerini, 2010; Mainard, 2014). L'angle interphalangien d'hallux est formé entre les axes longitudinaux des phalanges proximale et distale de l'hallux dans le plan transversal. Sa norme est inférieure à 10° et son augmentation prend part à la déformation globale en valgus de l'hallux (Gentili et al., 1996; Strydom et al., 2017).

Les mesures de l'HVA et de l'IMA permettent une classification de la sévérité de l'hallux valgus selon trois stades (léger - modéré - sévère) (Coughlin et al., 2002; Coughlin & Jones, 2007). De plus, les caractéristiques anatomiques des os sésamoïdes de l'hallux peuvent être évaluées par des radiographies dorso-plantaires et axiales. Elles permettent une classification morphologique et des mesures telles que l'angle de rotation sésamoïdien (SRA), qui est important pour le choix de la technique chirurgicale (Agrawal et al., 2011; Hardy & Clapham, 1951; Kuwano et al., 2002; R. W. Smith et al., 1984; Talbot & Saltzman, 1998; L. Zhang et al., 2020). Il est courant d'également évaluer la longueur des métatarsiens, à la recherche d'un excès de longueur. La tangente à la tête du deuxième métatarsien (M2) perpendiculaire à l'axe du deuxième métatarsien (M2) permet de distinguer un index nul (tangente au premier métatarsien), un index positif (sécante de la tête du premier métatarsien (M1)), et un index négatif (au-dessus de la tête du premier métatarsien (M1)) (Drapé & Guerini, 2010).

Récemment, une nouvelle classification de l'hallux valgus, basée sur l'anatomie tridimensionnelle du premier rayon, avec un algorithme de décision pour la prise en charge a été proposée (Hatch et al., 2018). Les mesures radiologiques sont aujourd'hui souvent complétées par des techniques de tomodensitométrie tridimensionnelle (de Cesar Netto & Richter, 2020; Mansur et al., 2021; Yildirim et al., 2005).

La baropodométrie est également utilisée dans le cadre de l'évaluation de l'hallux valgus en routine clinique (Martínez-Nova et al., 2010; Verdu Roman et al., 2021; Wen et al., 2012). Elle permet notamment d'estimer les pressions plantaires dynamiques avant et après l'opération (Verdu-Roman et al., 2019, 2020). Cependant, toutes ces descriptions n'apportent aucune information quant à l'objectif fonctionnel et les préférences du patient après sa chirurgie.

## 5.5 Traitements de référence

Le traitement d'un hallux valgus peut dans un premier temps être médical. Tout stade évolutif d'hallux valgus pourra bénéficier de conseils de chaussage (Laffenêtre et al., 2009). Les autres traitements médicaux dépendront du stade évolutif de la déformation. Ils pourront être la rééducation par kinésithérapie (Mortka & Lisiński, 2015), des contentions ou orthèses plantaires et plus rarement des infiltrations de dérivés cortisoniques et de la mésothérapie (Ferrari-Portafaix & Perrier, 2020; Sammarco & Nichols, 2005). Ils ont pour objectif de diminuer la symptomatologie douloureuse et de tenter de freiner l'évolution de la déformation et son retentissement sur les orteils latéraux. Ce n'est que lorsque la douleur, les difficultés pour se chauffer ou pour conserver une activité physique, deviennent suffisamment gênantes qu'une correction chirurgicale pourra être proposée.

Les premières techniques chirurgicales ont été publiées à la fin du XIXe siècle. On en dénombre plus de 300 aujourd'hui. Dans les techniques dites conservatrices, l'intervention conserve le cartilage de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) en agissant soit juste sur les parties molles, soit par ostéotomie du premier métatarsien (M1) et/ou de la phalange. Dans les techniques dites non conservatrices, il y a soit un sacrifice d'une des deux surfaces articulaires (métatarsien ou phalange (Keller)), mais ces techniques ont été abandonnées, soit une arthrodèse de la première articulation métatarso-phalangienne (MTP) (Laffenêtre et al., 2010; Piclet-Legré et al., 2017).

Malgré l'avènement de la chirurgie percutanée il y a une trentaine d'année, la chirurgie conventionnelle reste la chirurgie de référence en termes de grade de recommandation. L'ostéotomie en chevron, initialement dénommée ostéotomie en V, a été popularisée aux États-Unis dès 1979 (Austin & Leventen, 1981; K. A. Johnson et al., 1979) et promue en France en 1992 (Diebold, 1994). La technique « Scarf », reposant entre autres sur les travaux de Weil à l'origine de l'allongement du trait d'ostéotomie en Z, a été promue en France par Barouk (Barouk, 1992; Weil, 2000). La chirurgie dite « mini-invasive » s'est quant à elle progressivement développée par le travail du GRECMIP Groupe d'étude de la chirurgie mini invasive et percutanée (Laffenêtre & Golano, 2010) sans qu'aucune étude n'est permis de lui attribuer un grade de recommandation supérieur à I.

Ainsi, de nombreux débats ont vu le jour ces dernières années entre les défenseurs de l'ostéotomie en chevron et ceux de l'ostéotomie Scarf (A. Deenik et al., 2008; A. R. Deenik et al., 2007; Fakoor et al., 2014; S. E. Smith et al., 2012), puis entre les partisans de la chirurgie

conventionnelle et ceux de la chirurgie mini-invasive (Ji et al., 2022; Kaufmann et al., 2019; Lu et al., 2020; Patnaik et al., 2022; Singh et al., 2020).

L'importante diversité des interventions chirurgicales disponibles est en partie due aux multiples facteurs étiologiques pouvant être à l'origine de cette déformation (Smyth & Aiyer, 2018). Il n'existe actuellement pas de consensus quant à la technique référence pour rendre en charge l'hallux valgus. Cependant, il semble accepté que les chirurgies finissent par se ressembler avec l'avènement d'actes mixtes, et que les résultats s'équivalent grâce à la définition d'indications précises pour chaque technique (Piclet-Legré et al., 2017).

La chirurgie conventionnelle type Scarf demeure un traitement de choix, de grade de recommandation A, largement utilisé à ce jour (Bellaaj et al., 2018; Leemrijse et al., 2008). Le terme « Scarf » a été attribué à cette ostéotomie en Z par Weil en référence au trait de Jupiter réalisé par les charpentiers (Coetzee & Rippstein, 2007; Leemrijse et al., 2015). Elle correspond à une ostéotomie diaphysaire horizontale en Z, combinaison d'un long trait longitudinal et de deux courtes ostéotomies frontales, à l'origine de deux fragments métatarsiens distincts. Le fragment distal comportant la tête métatarsienne est translaté latéralement. Cette technique est très efficace pour corriger la majorité des déformations, et ne semble présenter que peu de limites (formes à grand DMAA (Distal Metatarsal Articular Angle), qualité de l'os réduite par ostéoporose ou géode de la tête métatarsienne, inadéquation entre largeur du métatarsien et importance de la translation à effectuer) (Laffenêtre et al., 2010; Piclet-Legré et al., 2017). Elle vise conjointement à réduire le metatarsus varus, à adapter la longueur du premier métatarsien (M1) par raccourcissement, à traiter l'obliquité latérale exagérée de la surface articulaire de la tête du premier métatarsien (M1) (DMAA), ainsi que la pronation résiduelle du premier métatarsien (M1), tout en permettant un abaissement (Leemrijse et al., 2015; Mortier & Delagoutte, 2003). Comparée à d'autres techniques, l'ostéotomie Scarf permet d'obtenir des résultats anatomiques et fonctionnels équivalents, mais avec une plus grande puissance de correction (Bellaaj et al., 2018; Desmarchelier et al., 2012; Kuliński et al., 2023; S. E. Smith et al., 2012). L'ostéotomie Scarf est potentiellement associée à une ostéotomie de varisation de la phalange proximale (P1) d'hallux (ostéotomie d'Akin) permettant de corriger le valgus interphalangien (Akin, 1925). Ces techniques chirurgicales conventionnelles largement employées ont démontré sur une longue période leur grande fiabilité et adaptabilité (Ferreira et al., 2021; Garrido et al., 2008; Leemrijse et al., 2008). Elles nécessitent néanmoins une certaine courbe d'apprentissage.

Le Groupe Hospitalier Diaconesses Croix Saint-Simon réalise plus de 900 actes chirurgicaux d'avant-pied annuellement (plus de 1000 récemment). Il est régulièrement classé meilleur hôpital de France pour la chirurgie de l'hallux valgus. L'ostéotomie Scarf, possiblement associée à une ostéotomie de varisation de la première phalange (type Akin), et l'arthrodèse métatarso-phalangienne (MTP) (majoritairement pour les reprises chirurgicales) y sont les techniques privilégiées par les experts du service de chirurgie orthopédique.

## **5.6 Motif de consultation**

Les motifs de consultations sont étudiés par le chirurgien afin de poser l'indication de l'acte. La douleur représente le premier symptôme orientant vers la chirurgie, en fonction des autres données cliniques (Piclet-Legré et al., 2017). Le conflit avec le chaussage est une bonne indication, notamment lorsque les douleurs de conflits n'ont pas été soulagées par l'adaptation du volume chaussant. L'enraidissement articulaire et la réductibilité clinique de la déformation ne semblent pas conditionner l'indication, mais plutôt renseigner sur le choix de la technique chirurgicale à employer (Piclet-Legré et al., 2017). L'indication esthétique sera quant à elle à prendre en considération avec moult précautions.

Il est important de préciser que même après analyse du motif de consultation, aucun consensus n'est établi tant sur la technique chirurgicale optimale, que sur le moment idéal de l'intervention (Parker et al., 2003).

## **5.7 Autour de la satisfaction et des attentes post-chirurgicales**

### **5.7.1 Généralités**

La satisfaction globale d'une intervention chirurgicale demeure un concept très large, qui englobe bien plus que le résultat purement clinique. Il n'existe actuellement pas de consensus quant aux domaines de soins qui influencent précisément la réponse d'une satisfaction d'une prise en charge.

Les bénéfices apportés par la chirurgie et la satisfaction postopératoire ont été évalués, peu importe le degré de déformation initial et la typologie de la chirurgie, grâce à l'utilisation de différents scores et échelles de mesures (Nilsson et al., 2019; Saro et al., 2007; D. Thordarson et al., 2005; D. B. Thordarson et al., 2001).

Par ailleurs, une meilleure satisfaction des patients relative à leurs attentes préopératoires semble conduire à une plus grande participation aux consultations de suivi et à de meilleurs résultats fonctionnels (Lim et al., 2015). En outre, il a été mis en évidence que la non-réponse

aux attentes préopératoires des patients dans le cadre de chirurgie de la colonne vertébrale et de chirurgie prothétique de genou est le prédicteur le plus influent de l'insatisfaction post-interventionnelle (Bourne et al., 2010; Soroceanu et al., 2012).

L'analyse de la satisfaction globale du résultat chirurgical doit nécessairement reposer sur plusieurs domaines que sont :

- l'aspect technique,
- l'aspect fonctionnel,
- les attentes du patient,
- les bénéfices.

Ces différents aspects sont à prendre en compte selon deux points de vue distincts, celui du patient et celui du thérapeute.

### **5.7.2 Aspect technique**

Traditionnellement, le succès chirurgical repose, selon le praticien, sur une bonne réalisation technique de l'acte, avec un résultat fonctionnel dans le corridor de ce qui peut être attendu. Ce résultat doit être obtenu en l'absence de complications péri et postopératoires, et peut se baser sur la mesure de paramètres cliniques postopératoires spécifiques (amplitudes articulaires, soulagement de la douleur, mesures de pressions plantaires...) (Parker et al., 2003).

Les complications les plus fréquemment rencontrées lors de la chirurgie d'hallux valgus sont la déformation itérative, la persistance de douleurs, l'apparition de métatarsalgies secondaires, la lésion nerveuse, l'infection, la non-consolidation osseuse, la nécrose avasculaire, la déformation en hallux varus, ainsi que la nécessité d'une chirurgie secondaire (Belczyk et al., 2009; Coetzee & Rippstein, 2007; Lehman, 2003). La prévalence de ces complications pouvant induire une insatisfaction chez le patient est directement corrélée à la technique chirurgicale, pouvant ainsi conduire jusqu'à 47,0% d'insatisfaction globale (Barg et al., 2018; Barg & Saltzman, 2017).

### **5.7.3 Aspect fonctionnel, qualité de vie, bénéfices**

Selon le patient, la réussite clinique de l'intervention chirurgicale repose fréquemment sur la diminution des douleurs, l'entretien d'une bonne mobilité articulaire et l'absence de complications. Plus précisément, le degré de satisfaction lors d'actes chirurgicaux d'arthroplasties totales semble reposer sur la réponse aux attentes préopératoires, le



soulagement conséquent de la douleur et la satisfaction de l'expérience au sein de l'établissement de prise en charge ; l'état physique préopératoire et à 12 mois post-intervention n'étant quant à eux que peu influent sur la satisfaction (Hamilton et al., 2013). Les facteurs prédictifs que sont l'âge, le sexe, la comorbidité et la durée du séjour hospitalier sont débattus (Hamilton et al., 2013; Lim et al., 2015).

Les bénéfices perçus de la chirurgie sont relatifs à une amélioration de la qualité de vie. Les attentes du patient ne pouvant parfois pas se réduire à ces bénéfices, il est nécessaire d'avoir au préalable analysé précisément et compris les attentes du patient autour de l'impact de la chirurgie sur son futur (douleurs, fonction, activité spécifique, chaussage particulier...).

L'aspect technique chirurgical et les résultats fonctionnels ne tenant pas compte des attentes primaires du patient et ne pouvant pas mener à une satisfaction suffisante, il devient crucial de définir :

- les motifs pour lesquels le patient cherche un traitement,
- des objectifs postopératoires SMART (Spécifique, Mesurable, Acceptable, Réaliste, définis dans le Temps) (Krasny-Pacini et al., 2013).

#### **5.7.4 Outils d'évaluation**

Plus récemment, l'évaluation de l'acte chirurgical a évolué, en intégrant les « Patient-Reported Outcomes Measures » (PROMs). Les PROMs permettent la récolte d'informations objectives directement rapportées par les patients concernant leur perception de leur état de santé, de leur qualité de vie, ou bien de leur état fonctionnel au quotidien, sans la moindre interprétation par les professionnels de santé. Leur utilisation a pour objectif de comprendre les perspectives des patients sur les résultats d'un traitement, de contribuer à une prise de décision partagée préopératoire, et éventuellement d'évaluer leur satisfaction. Ainsi, la satisfaction post-chirurgicale du patient se voit fréquemment évaluée par des scores de qualité de vie (SF-36, SF-12, EQ5D) (Gandek et al., 1998; Rabin & Charro, 2001; Ware & work(s):, 1992) et des questionnaires spécifiques aux pathologies. La majeure partie des études n'utilisent ainsi pas d'outils validés scientifiquement spécifiques à l'évaluation de la satisfaction (Klugarova et al., 2017).

#### **5.7.5 Spécificité des outils**

En 2013, 139 autoquestionnaires concernant les régions du pied et de la cheville ont été dénombrés, pouvant être répartis en trois catégories de PROMs : ceux relatifs à la qualité de

vie, à la douleur, ou bien spécifiques à une pathologie (Hunt & Hurwit, 2013; Schrier et al., 2015). Tous ne présentent pas les mêmes propriétés psychométriques et n'ont pas été validés sur les diverses pathologies du pied et de la cheville.

Il n'existe actuellement pas de consensus relatif à l'utilisation des PROMs pour le pied et la cheville. En effet, l'American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) recommande vivement l'utilisation des Foot an Ankle Ability Measure (FAAM), Foot and Ankle Outcome Score (FAOS), Musculoskeletal Function Assessment (MFA) ainsi que sa version courte, tout en contre-indiquant l'utilisation des scores AOFAS, car ces résultats sont basés sur les observations des cliniciens et non sur une autoévaluation des patients (AOFAS Board of Directors, 2018; L. Chen et al., 2012; Martin et al., 2005). Cependant, les cinq PROMS les plus populaires sont ces fameux scores AOFAS, l'Echelle Visuelle Analogique de la douleur (EVA), le questionnaire Short Form-36 (SF-36), le Foot Function Index (FFI) et le questionnaire American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) (Hunt & Hurwit, 2013).

Dans la pathologie de l'hallux valgus, l'utilisation des PROMs s'avère tout aussi importante dans l'évaluation de la chirurgie, car les facteurs de résultats considérés comme essentiels diffèrent entre les patients et les praticiens. Il a ainsi été mis en évidence que la limitation de la marche, les douleurs lors de la pratique d'une activité ou bien à caractère permanent, la difficulté à rester debout longtemps, et l'incapacité à pouvoir réaliser son travail ou des tâches ménagères au quotidien représentent les facteurs de réussite les plus importants selon le point de vue des patients. (Baumhauer et al., 2013).

Les PROMs spécifiques et validés dans la pathologie de l'hallux valgus et sa chirurgie sont le Manchester-Oxford Foot Questionnaire (MOXFQ), le FAOS et le Self-Reported Foot and Ankle Score (SEFAS) (L. Chen et al., 2012; Cöster et al., 2014; Dawson et al., 2006; Schrier et al., 2015). Le MOXFQ, décomposé en trois domaines (douleur, marche/position debout, interaction sociale) semble présenter les meilleures propriétés psychométriques et couvrir l'ensemble des résultats importants du point de vue des patients (Schrier et al., 2015).

En outre, les *Patient-Reported Outcomes Measurement Information System* (PROMIS) ont été créés aux États-Unis et administrés aux patients en utilisant la théorie de la réponse d'items. Ce système divise la santé autodéclarée du patient en quatre domaines (santé générale, santé physique, santé mentale, santé sociale), et a été validé pour la mesure de résultats dans les régions du pied et de la cheville. Les PROMIS restent basés sur les symptômes du patient et ne sont pas spécifiques à une pathologie. Par conséquent, leur usage ne permet pas de remplacer

les instruments spécifiques à une pathologie. De nombreux facteurs non mesurés par les PROMIS, tel que les difficultés de chaussage, les problèmes de peau, la typologie de la douleur, contribuent à la décision préopératoire de la chirurgie d'hallux valgus, et conditionneront la satisfaction postopératoire du patient (MacDonald et al., 2020).

En résumé, le PROMs idéal semble être un outil spécifique à une pathologie, comprenant notamment des questions sur la santé générale, la qualité de vie, la douleur, et des éléments pertinents pour le patient vis-à-vis de sa pathologie. Celui-ci devrait être élaboré en collaboration avec les patients, tant sur le point des modes de questions que sur la manière de répondre (Parker et al., 2003).

De nombreux PROMs (questionnaires, scores...) sont validés pour les domaines précédemment évoqués relatifs à la satisfaction globale du patient. Cependant les instruments actuels de déclaration des patients ne tiennent pas compte des attentes et motifs de consultation, bien qu'il s'agisse peut-être du critère le plus déterminant du succès opératoire (Hamilton et al., 2013). Le lien entre satisfaction globale et l'utilisation de PROMs n'est pas clairement établi.

Finalement, il n'existe pas de questionnaire validé autour des attentes réelles du patient et donc aucun PROMs ne répond à notre question de recherche.

Afin de valider notre questionnaire et de nous confronter à la littérature, nous choisirons d'administrer trois questionnaires dans une future étude.

- le score AOFAS relatif à l'hallux pour une cohérence clinique
- le MOXFQ pour une cohérence scientifique
- le SF-12 pour la qualité de vie

#### **5.7.6 Conclusion sur les attentes du patient au sein du Groupe Hospitalier Diaconesses Croix Saint Simon**

Les pathologies de l'avant-pied dont fait partie l'hallux valgus représentent un motif de consultation fréquent dans notre service de chirurgie orthopédique de l'hôpital de la Croix-Saint-Simon, expert dans la prise en charge comme précédemment mentionné.

Au cours des trois années précédentes, plus de 900 actes chirurgicaux ont été réalisés en moyenne par an, dont 99% étaient en ambulatoire en 2019.

Cependant, sur ces 900 actes, environ 100 ont abouti à une consultation d'évaluation post chirurgicale afin de comprendre les raisons et motifs de non-satisfaction fonctionnelle et/ ou psychosociale de patients opérés. Ceci est en adéquation avec une enquête de sinistralité réalisée

après des assurances SHA et MACSF, mettant en évidence un taux de 4,4% d'insatisfaction postopératoire en termes de résultats cliniques, pouvant donner lieu à l'ouverture d'une procédure, ainsi qu'à des études déclarant jusqu'à un tiers d'insatisfaction post-interventionnelle (J. Y. Chen, 2016; Schrier et al., 2015).

Nous mettons ici en évidence la nécessité que les attentes du patient soient évaluées au-delà d'un premier niveau de lecture simpliste.

Bien que les sources d'insatisfactions soient décrites dans la littérature, notre expertise clinique nous a permis de mettre en exergue que le motif de consultation initial pouvait dans la majorité des cas être la cause de l'insatisfaction finale. Ainsi depuis 2016, une consultation dédiée aux patients présentant des douleurs et/ou insatisfactions après la chirurgie a permis d'établir :

- Que le motif de consultation exprimé par le patient à son chirurgien et permettant l'indication opératoire est parfois remis en question par le patient en cas d'insatisfaction.
- Une relation entre les symptômes exprimés et une non-intégration des informations et conséquences directement liées à la chirurgie.

Le motif de consultation est principalement exprimé par le patient et évalué par le chirurgien de manière orale. Il n'y a pas de trace écrite de la démarche amenant à définir ce motif.

L'information réglementaire porte principalement sur :

- Les contre-indications à la chirurgie
- Les risques périopératoires et postopératoires directs
- Des conseils de soin de plaie
- Des conseils d'autorééducation
- Des conseils de gestion de la douleur postopératoire

De plus, les cliniciens questionnent concrètement le patient sur ses attentes l'amenant à consulter uniquement dans 36% des cas. Dans cette proportion de patients interrogés sur leurs motifs de consultation, 70% seront interrompus par le spécialiste au bout d'un délai moyen de 11 secondes (Singh Ospina et al., 2019). Ce court délai peut expliquer la non-récolte des données nécessaires à la compréhension du réel motif de venue du patient.

Le patient n'a ainsi pas forcément formalisé l'impact des douleurs et limitations fonctionnelles sur sa vie quotidienne, et il peut supposer implicitement qu'en réglant le problème par la voie chirurgicale, il pourra bénéficier de la même fonction ou des mêmes habitudes quotidiennes

qu'il a eues auparavant, avant toute déformation de son hallux ou aggravation de celle-ci (geste durant l'activité physique, chaussage avant déformation...). Ceci n'est pourtant pas le cas, la chirurgie conduisant à une version différente du pied par rapport à l'état préopératoire.

## **6 Conclusion sur les déformations des pieds**

En vue de la diversité des déformations des pieds et de leur complexité physiopathologique, leur description et leur classification doivent s'appuyer sur de solides bases théoriques et cliniques.

Concernant l'approche chirurgicale de l'hallux valgus, le degré de satisfaction étant directement corrélé aux attentes primaires du patient, le développement d'un nouveau PROMs permettant de cerner les attentes autour du motif de consultation lors d'une primoconsultation pour chirurgie d'hallux valgus semble pertinent.

# Chapitre 3 :

## Théories de classifications de la morphologie des pieds

---

### 1 Validité et fiabilité

Validité et fiabilité sont des conditions préalables fondamentales pour l'utilité d'une technique de mesure clinique (Figure 34).

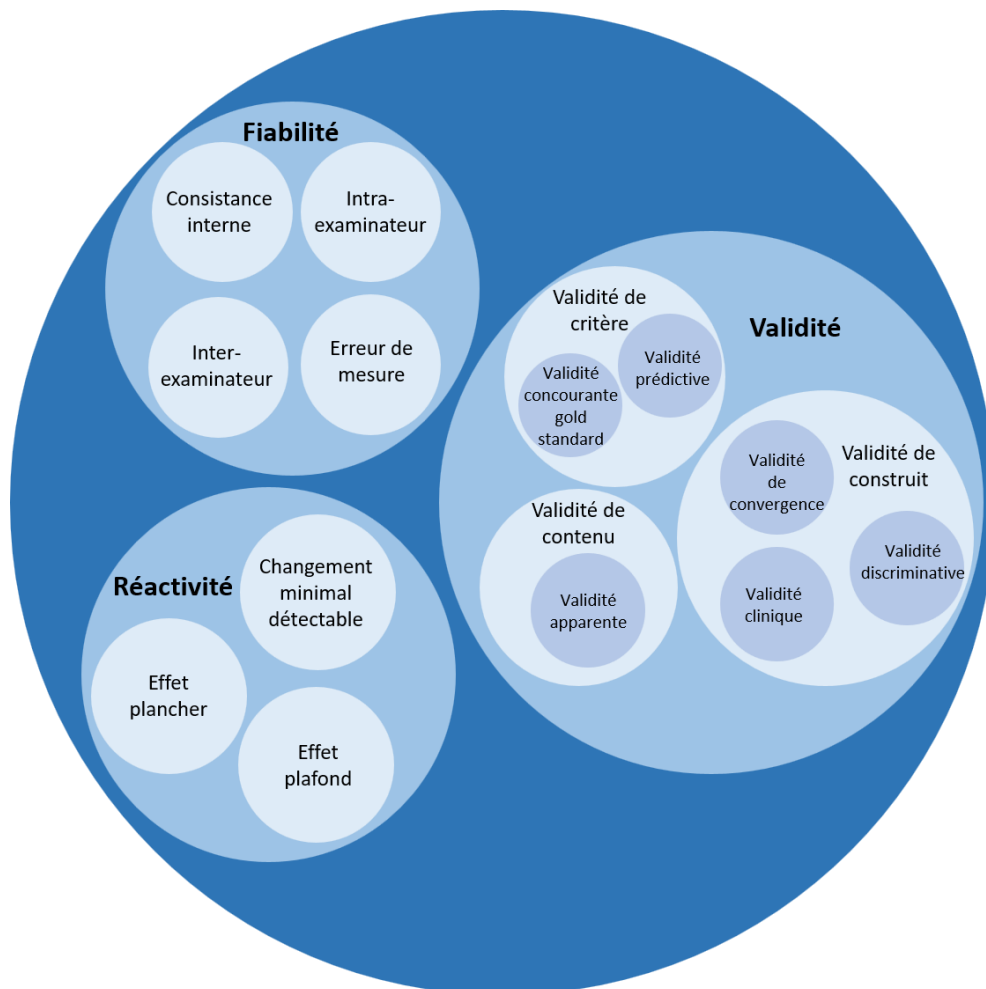


Figure 34. Qualités d'un test, d'après Mokkink (2010) et Piette (2016)

#### 1.1 Validité

Une mesure est valide lorsque l'information qu'elle délivre est conforme à la réalité de ce qu'elle est censée mesurer (Mokkink et al., 2010; Piette, 2016). Cela signifie que les résultats qu'elle propose se rapprochent de l'état réel du phénomène étudié. Ainsi, les études de validité

s'intéressent au lien existant entre la valeur mesurée et la vraie valeur. On distingue la validité de critère, la validité de construit et la validité de contenu.

### **1.1.1 Validité de critère**

La validité de critère étudie le rapport entre deux critères. Elle comprend la validité concourante *gold standard* et la validité prédictive. Pour la validité concourante, le critère mesuré est identique dans les deux tests, mais mesuré de deux manières différentes, dont l'une est le test de référence (*gold standard*). L'objectif de l'étude est alors de calculer le lien statistique entre les deux résultats qui mesurent la même entité, sachant que l'un des deux ne fait que peu d'erreurs (Piette, 2016). La validité de critère comprend également la validité prédictive, qui met en relation un test et son caractère prédictif par rapport à la performance de la personne mesurée. Les deux critères sont alors différents, et l'étude de la validité mesure le lien statistique de la causalité entre le critère du test mesuré et une de ses conséquences (Piette, 2016).

### **1.1.2 Validité de construit**

La validité de construit est utilisée dans des mesures de critères multiples, et consiste à mettre en relation le test étudié avec d'autres tests de la même famille (construit de manière similaire) ou d'autres critères théoriquement liés. Son utilisation correspond à l'absence de *gold standard*, d'un critère qui ne soit pas directement observable, on dit donc qu'il est construit. L'étude de la validité estime la concordance existante entre des mesures issues de tests différents, mais qui sont censés mesurer le même construit (Piette, 2016). Elle vérifie si le test mesure le construit tel qu'il est défini par son cadre théorique.

### **1.1.3 Validité de contenu**

La validité de contenu est utilisée dans les mesures de dimensions complexes et repose sur le consensus existant entre des experts qui admettent la pertinence de chacune des questions et l'interprétation des réponses (Piette, 2016).

## **1.2 Fiabilité**

La fiabilité correspond au degré auquel la mesure est exempte d'erreur de mesure (Mokkink et al., 2010). Son étude permet de vérifier si les résultats sont comparables dans des situations comparables. Elle peut être estimée par le calcul du coefficient intra-classe (*Intraclass correlation coefficient* ou ICC) (Bartko, 1966). Ainsi, la fiabilité intra-évaluateur (ou

répétabilité) correspond à la cohérence avec laquelle un évaluateur attribue des scores à un même ensemble de réponses à deux occasions ou plus. La fiabilité inter-évaluateur (ou reproductibilité) correspond à la cohérence entre les scores attribués par différents évaluateurs à la même réponse (Domholdt, 1993). La fiabilité peut être interprétée de la manière suivante : faible pour  $ICC < 0,40$  ; moyenne pour  $0,40 \leq ICC \leq 0,59$  ; bonne pour  $0,60 \leq ICC \leq 0,74$  ; et excellente pour  $ICC \geq 0,75$  (Cicchetti, 1994).

L'erreur standard de mesure (*Standard Error of Measurement* ou SEM) correspond à la mesure de quantité de variance d'erreur dans un ensemble de scores obtenus, et fournit une interprétation de l'ampleur de cette variabilité intra-sujet (Beckerman et al., 1996; Charter, 1996). Elle permet le calcul du changement minimal détectable (*Minimal Detectable Change* ou MDC) qui relève de la réactivité et indique le montant minimal de changement de score nécessaire pour que la valeur soit détectable et non le résultat d'une erreur de mesure (Haley & Fragala-Pinkham, 2006).

La consistance interne correspond à la relation des items d'un questionnaire avec le score final, et elle se mesure par la corrélation inter-items, la corrélation item total, la méthode *split-half*, ou souvent par le calcul du coefficient alpha de Cronbach (Piette, 2016).

## **2 Classifications morphologiques**

### **2.1 Classification selon l'avant-pied**

L'avant-pied est représenté par cinq os métatarsiens et 14 os phalangiens. Sa description morphologique se fait dans le plan horizontal, et peut reposer sur des critères esthétiques de la longueur relative des orteils par rapport aux autres. Trois types de canons du pied semblent fréquemment rencontrés : le pied égyptien avec un hallux plus long que les autres orteils (50%), le pied grec avec le deuxième orteil plus long que les autres rayons (25%), et le pied carré où les 4 premiers orteils ont la même longueur (25%) (Favreul & Mainard, 2013; Lelièvre, 1981; Pothier, 2011).

### **2.2 Classification selon le médio-pied**

La notion de médio-pied plus fonctionnelle qu'anatomique. En effet il désigne le tarse antérieur compris entre les deux gros os du tarse postérieur et les os de l'avant-pied, et fait donc référence aux articulations transverses du tarse (Chopart), intertarsiennes et tarso-métatarsiennes (Lisfranc). La hauteur du médio-pied et plus particulièrement de l'os naviculaire est un facteur



de classification couramment utilisé. Sa description dans le plan sagittal semble pouvoir mener à cette classification :

- plat : hauteur du naviculaire faible ou nulle
- physiologique : hauteur de l'os naviculaire permettant une empreinte physiologique
- creux : hauteur du naviculaire induisant une modification morphologique du pied, notamment cassure du médio-pied (Perrier, 2016).

### **2.3 Classification selon l'arrière-pied**

L'arrière-pied correspond architecturalement aux tarse postérieur (talus + calcanés) et tarse antérieur (naviculaire, cuboïde, 3 os cunéiformes). Par analogie sa description concerne plutôt le tarse postérieur et le tendon d'Achille et se fait dans le plan frontal.

Varus et valgus d'arrière-pied sont des normes statiques d'angles bidimensionnels projetés pouvant correspondre aux notions de mouvements mixtes d'anatomie fonctionnelle que sont l'inversion (combinant supination, adduction, et extension de cheville) et l'éversion (combinant pronation, abduction et flexion de cheville).

Initialement considéré comme devant être perpendiculaire au sol, l'angle d'arrière-pied (rearfoot angle) a par la suite été décrit comme pouvant présenter un écart de 2° autour de la verticale (M. L. Root, 1973; E. Sobel et al., 1999).

Finalement, le valgus d'arrière-pied correspond à un arrière-pied où le tendon d'Achille présente un angle supérieur à 5° en dedans (Lelièvre, 1981). Le varus d'arrière-pied correspond à un arrière-pied qui a le tendon d'Achille présentant un angle supérieur à 2° en dehors (Perrier, 2016).

L'angle tibio-calcaneen permet également d'apprécier les déformations frontales de l'arrière-pied (Stockley et al., 1990), et permet de distinguer 5 catégories : varus important (>10°), varus de 5° à 10° ; neutre (valgus ou varus <5°) ; valgus de 5° à 10° ; valgus important (>10°) (Chang et al., 2002).

## **3 Classifications selon critères radiologiques : le gold standard**

Les radiologies du pied permettent de nombreuses mesures angulaires contribuant à définir la morphologie du pied. Certains angles permettent principalement d'apprécier l'évaluation des résultats d'un traitement et ne sont pas abordés ici.

### 3.1 Mesures radiologiques dans le plan sagittal

Les principales mesures utilisées sont :

- l'angle de Djian-Annonier : il correspond à l'angle dont le sommet est situé au point le plus déclive de l'articulation talo-naviculaire, et formé grâce aux points les plus déclives du calcaneus et de l'os sésamoïde médial de l'hallux. Sa valeur physiologique est comprise entre 120 et 130° (120 et 125° selon les auteurs). Un angle supérieur à 130° (125° selon les auteurs) oriente vers une morphologie de *pes planus*, et un angle inférieur à 120° vers un *pes cavus*
- la pente calcanéenne (*calcaneal pitch angle*) : angle formé par la tangente à la face plantaire du calcaneus et l'horizontalité du sol. Il se situe autour de 20°, diminué dans le *pes planus* et augmenté dans le pied creux postérieur (Drapé & Guerini, 2010)
- la pente des métatarsiens (*metatarso-phalangan angle*) : angle formé par l'axe des métatarsiens et le plan d'appui. La pente du premier métatarsien (M1) est environ de 20°, augmentée dans le *pes cavus* et diminuée dans le *pes planus*.
- angle calcaneus - cinquième métatarsien (M5) : angle formé par le bord inférieur du calcaneus et l'axe longitudinal du cinquième métatarsien (M5), normalement compris entre 130 et 140°. Il renseigne sur la cambrure de la colonne latérale (Seringe et al., 2010).
- l'axe de Méary-Tomeno (axe talo-métatarsien) : axe passant par l'axe du talus (bissectrice de l'angle formé par les tangentes aux bords supérieur et inférieur du talus) et l'axe diaphysaire du premier métatarsien (M1), normalement rectiligne. Une cassure à convexité supérieure en regard de l'articulation talo-naviculaire oriente vers une morphologie en *pes cavus*, résultat de l'horizontalisation de l'axe du talus par rapport au premier métatarsien (M1). A contrario, une cassure à concavité supérieure orientera vers une morphologie en *pes planus*, avec un axe du talus pouvant être verticalisé par rapport à l'axe du premier métatarsien (M1).
- angle de divergence talo-calcaneenne : angle mesuré entre l'axe longitudinal du talus et celui du calcaneus (ou bord inférieur du calcaneus), compris entre 25 et 40°. L'augmentation de cet angle traduit le valgus d'arrière-pied, la diminution le varus d'arrière-pied (Seringe et al., 2010).

### 3.2 Mesures radiologiques dans le plan horizontal

Les principales mesures utilisées sont :

- angle de divergence talo-calcaneenne : angle mesuré entre l'axe longitudinal du talus et celui du calcaneus, compris entre 15 et 25°. L'augmentation de cet angle traduit le valgus d'arrière-pied, la diminution le varus d'arrière-pied (Seringe et al., 2010).

- angle calcanéus - cinquième métatarsien (M5) : angle formé par l'axe longitudinal du calcanéus et l'axe longitudinal du cinquième métatarsien (M5). Sa valeur physiologique est proche de 0° (Seringe et al., 2010). Ses déviations renseignent sur l'abduction et adduction du pied pouvant se réaliser dans les articulations calcanéocuboïdienne et cubo-métatarsiennes.
- angle de couverture talo-naviculaire : angle formé entre l'axe longitudinal médian du talus et la perpendiculaire au milieu de la ligne unissant les deux extrémités postéro-médial et postéro-latérale de l'os naviculaire. Il évalue les défauts du médio-pied et les défauts de rotation du bloc calcanéopédieux sous le talus (Seringe et al., 2010). Sa valeur moyenne est de 20°. Plus l'angle de couverture talo-naviculaire est grand, plus le médio-pied est en abduction (Davids et al., 2005).

### 3.3 Mesures radiologiques dans le plan frontal

Les mesures du plan frontal permettent principalement d'apprécier la statique de l'arrière-pied. Deux méthodes semblent se distinguer :

- la méthode de Méary : elle repose sur l'utilisation de l'axe tibial qui passe physiologiquement à l'union des deux tiers latéraux et du tiers médial du plan d'appui calcanéen. Si l'axe passe en dedans/dehors, alors le calcanéus est en valgus/varus (Seringe et al., 2010). Il est également courant de mesurer l'angle de Méary formé par la verticale abaissée à partir du centre du dôme talien et la droite joignant le dôme talien au centre du point d'appui talonnier (valgus physiologique de 6 à 8°) (Leemrijse et al., 2015). Un angle supérieur à cette norme oriente vers un pied valgus, un angle inférieur vers un pied varus.
- la méthode de Djian : elle repose sur la construction d'un quadrilatère dont les côtés horizontaux correspondent au dôme du talus et la zone d'appui au talon. L'axe passant par le milieu de la base d'appui talonnier, par rapport à la perpendiculaire au sol passant par le milieu de la surface articulaire du dôme talien, définit le varus ou le valgus de l'arrière-pied (Drapé & Guerini, 2010; Seringe et al., 2010).

En conclusion, les différents paramètres radiologiques peuvent se combiner de façon variée afin de définir une morphologie de pieds et sont le *gold standard* de l'évaluation de la déformation des pieds (Menz & Munteanu, 2005b; D. S. Williams & McClay, 2000). Les radiations ont cependant des effets néfastes et ne peuvent donc pas être réalisées à outrance (Currey et al., 1997; Limirio et al., 2019). Le développement d'outils cliniques renseignant sur la morphologie du pied reste ainsi nécessaire.

## 4 Classifications par empreintes

### 4.1 Le podographe

La prise d'empreintes statiques a initialement reposé sur l'application d'un corps gras sous la plante du pied, qui une fois appuyé sur une feuille de papier et saupoudré d'une substance colorée permettait de révéler les points d'appui (Lelièvre, 1981). D'autres procédés se sont focalisés sur des empreintes photographiques (photopodogramme, photopodogramme inversé, podostatigramme) (Lelièvre, 1981). Le podographe à baudruche semble l'outil classique encore utilisé en routine en clinique. Une plaque de caoutchouc quadrillée, tendue et encrée, est interposée entre le pied et une feuille de papier (Goldcher, 2012). Il permet d'obtenir un instantané de l'empreinte plantaire avec ses points d'appui, en statique ou avec plus ou moins un déroulé du pied. Cette empreinte permet d'apprécier la morphologie du pied, la répartition des pressions des points d'appui, et d'utiliser les repères anatomiques pour la délimitation d'éléments orthétiques.

### 4.2 Classifications par empreintes podographiques

Les hypothèses basées sur de possibles modifications des empreintes plantaires, en lien avec les différentes morphologies du pied, ont conduit à l'émergence de plusieurs mesures statiques pouvant orienter vers une classification (Figure 35). Ainsi, la description non exhaustive de ces paramètres met en avant le *Footprint Index* (Irwin, 1937), l'*Arch Index* (Cavanagh & Rodgers, 1987), l'*Arch Index de Staheli* (Staheli et al., 1987), le *Modified Arch Index* (Woei Chyn Chu et al., 1995), l'*Arch angle* (ou *Footprint angle / Alpha angle*) (Clarke, 1933), le *Chippaux-Smirak Index* (Forriol & Pascual, 1990), l'*Arch length index* et le *Truncated arch index* (Hawes et al., 1992).

L'*Arch Index de Cavanagh* pourrait partiellement expliquer la hauteur de l'arche (McCroory et al., 1997).

L'*Arch Index de Staheli* est une mesure réalisée sur empreinte plantaire qui correspond à la division de la largeur minimale du médio-pied par la largeur maximale de l'arrière-pied (Staheli et al., 1987) (Figure 36). Cette mesure semble fiable et valide (Banwell et al., 2018).

Le *Chippaux-Smirak Index* permet de définir cinq catégories de pieds, allant d'une arche longitudinale médiale haute à plate (Forriol & Pascual, 1990), et serait valide et fiable au sein d'une population pédiatrique (Banwell et al., 2018) (Figure 37).

Cependant, la pertinence de ces prises de mesures sur empreintes dans l'explication de la fonction dynamique du pied est discutée (Hawes et al., 1992). Leur utilisation ne semble pas adéquate pour déduire des informations cliniques de la morphologie du pied dans le plan frontal. Ces données ne sembleraient rien représenter de plus que des indices et des angles de la surface plantaire du pied, et auraient donc une valeur limitée pour catégoriser la hauteur de la voûte plantaire (Hamill et al., 1989; Hawes et al., 1992).

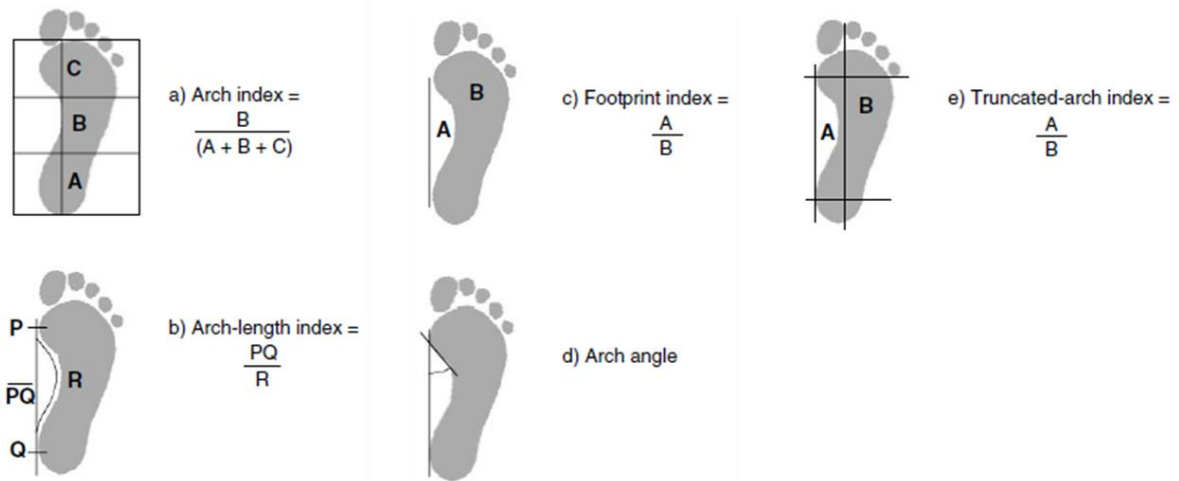


Figure 35. Indices d'empreintes rapportés dans la littérature, selon Menz (1998)

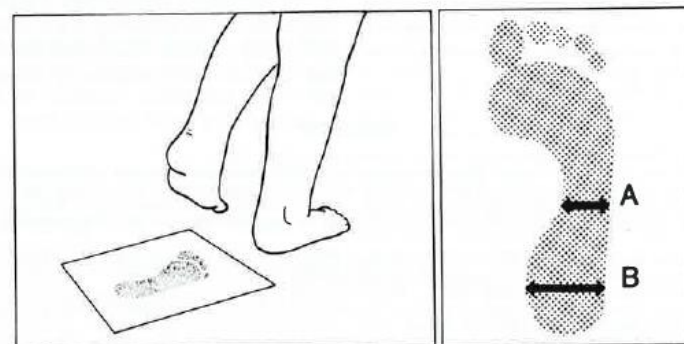


Figure 36. Mesure de l'Arch Index selon Staheli (1987)

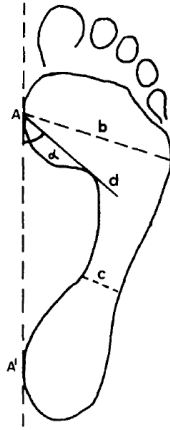


Figure 37. Paramètres d'empreintes plantaires selon Forriol (1990).  $\alpha$  : *Footprint angle* ; c et b% : *Chippaux-Smirak Index*

### 4.3 Le podoscope

Inventé en 1955 par Jean-François Lelièvre, il permet la visualisation de la face d'appui plantaire des pieds par lumière rétroprojetée ascendante. L'écrasement du pied provoque un aspect hypovascularisé, et comprime la peau contre une plaque vitrée transparente. L'augmentation ou la diminution des pressions plantaires peut se faire par observation de l'intensité de blanchiment des tissus en contact avec la vitre.

### 4.4 Classifications par empreintes podoscopiques

Les méthodes de classification des empreintes reposent sur l'observation des régions du talon antérieur, de l'isthme (bande externe) et du talon postérieur. Plusieurs classifications ont été proposées (Goldcher, 2012; Lelièvre, 1981), classant les empreintes selon plusieurs degrés de déformations (Figures 38, 39 et 40).

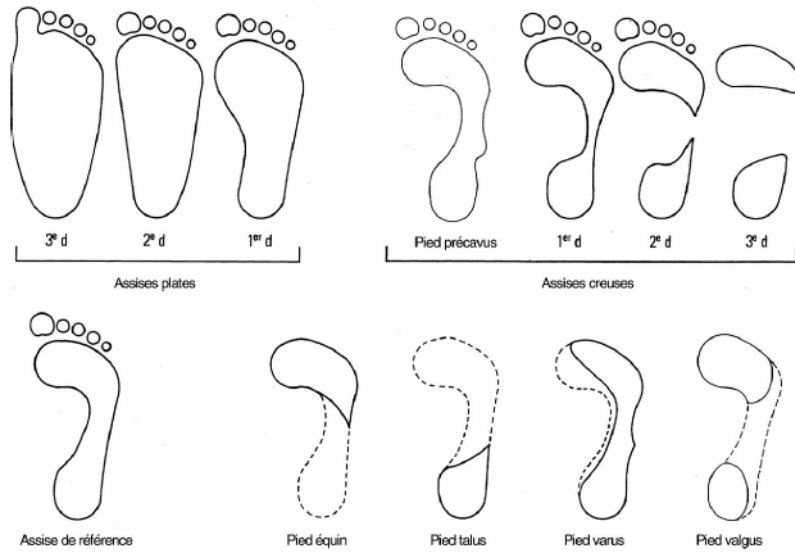


Figure 38. Classification des empreintes plantaires, selon Goldcher (2012)

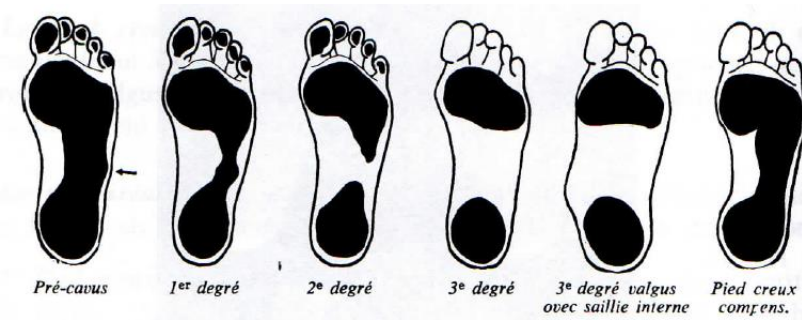


Figure 39. Classification des empreintes plantaires de pieds creux, selon Lelièvre (1982)



Figure 40. Classification des empreintes de pieds plats, selon Lelièvre (1982).

1. Pied normal. 2. Pied plat 1<sup>er</sup> degré. 3. Pied plat 2<sup>e</sup> degré. 4.3. Pied plat 3<sup>e</sup> degré. 5. Pied plat 4<sup>e</sup> degré de Viladot. 6. Hyperappui interne

Les empreintes de pieds creux correspondent à :

- pied creux de 1<sup>er</sup> degré : réduction de l'isthme ;
- pied creux de 2<sup>e</sup> degré : disparition de l'isthme dans sa partie médiane, réduite à ses attaches au talon antérieur et talon postérieur ;
- pied creux de 3<sup>e</sup> degré : disparition totale de l'isthme, seuls les talons antérieur et postérieur sont en appuis.

Les empreintes de pieds plats correspondent à :

- pied plat de 1<sup>er</sup> degré : élargissement de l'isthme, dont le bord médial est moins concave ;
- pied plat de 2<sup>e</sup> degré : isthme aussi large que le talon antérieur, dont le bord médial est rectiligne ;
- pied plat de 3<sup>e</sup> degré : isthme à bord médial convexe en dedans ;
- pied plat de 4<sup>e</sup> degré : présence d'une petite lacune médio-plantaire interne (lacune de Viladot).

La description des empreintes plantaires et leurs classifications sont complétées par la comparaison entre les deux pieds, ainsi que des analyses d'observations visuelles de l'anatomie du pied et de la cheville, non quantitatives. La classification des pieds entre position en pronation, en supination, ou neutre, a été proposée selon l'observation de l'arche longitudinale médiale, de l'alignement de l'arrière-pied, et de la proéminence de la région de l'articulation talo-naviculaire (Dahle et al., 1991). Toute observation visuelle qualitative demeure néanmoins très subjective et la fiabilité inter-évaluateur peut s'avérer faible (Cowan et al., 1994; Jarvis et al., 2012).

La réalisation d'orthèses plantaires par un pédicure-podologue doit actuellement reposer sur un bilan clinique du patient, comportant obligatoirement un examen podoscopique et un examen de la marche (Haute Autorité de Santé, 2020).

## **5 Classifications selon mesures anthropométriques**

Les mesures d'évaluation de la morphologie du pied ont bien été décrites lors d'une revue systématique et d'une revue de littérature (Carrasco et al., 2021; Razeghi & Batt, 2002). Nous abordons ici de manière non exhaustive les outils non radiologiques les plus fréquemment rencontrés.



### **5.1 Hauteur de l'arche longitudinale médiale**

Elle correspond à la mesure du point le plus haut au niveau de la voûte, souvent représentée par la partie médiale palpable la plus basse de l'os naviculaire, ou bien la partie la plus basse des tissus mous dans cette même région (Hawes et al., 1992). Les variations interindividuelles des tissus osseux et tissus mous semblent augmenter la subjectivité de cette mesure (Menz, 1998). Néanmoins, la hauteur sous l'os naviculaire semble corrélérer avec les indices radiographiques de l'arche longitudinale médiale (Menz & Munteanu, 2005b; Saltzman et al., 1995). Ne prenant pas en compte le comportement dynamique du pied et ayant une fiabilité faible, la simple observation de la hauteur de l'arche longitudinale médiale ne semble qu'avoir un rôle prédictif clinique très peu important (Menz, 1998; Razeghi & Batt, 2002). Seule la mesure de l'« Arch height index », qui repose sur un calcul liant hauteur de l'arche et longueur du pied, semble fiable et utilisable (ICC = 0,96-0,99), les autres mesures de la hauteur de l'arche pouvant être moins fiable (ICC = 0,48-0,99) (Butler et al., 2008; D. S. Williams & McClay, 2000).

### **5.2 Angle de l'arche longitudinale médiale**

Il est défini comme l'angle formé par une ligne reliant la malléole médiale et la tubérosité de l'os naviculaire, et une ligne reliant cette même tubérosité avec l'aspect plus médial de la première tête métatarsienne (Jonson & Gross, 1997). La fiabilité de cette mesure est excellente (ICC intra-évaluateur = 0,90 et ICC inter-évaluateur = 0,81) (Jonson & Gross, 1997). Sa capacité à prédire le mouvement dynamique du pied semble limitée (Cashmere et al., 1999). Cependant, un angle  $<130^\circ$  pourrait correspondre à un pied en pronation, un angle compris entre  $130^\circ$  et  $150^\circ$  un pied en position neutre, et un angle supérieur à  $150^\circ$  à un pied en supination (McPoil & Cornwall, 2005).

### **5.3 Navicular Drop Test**

Comme évoqué précédemment, la mesure clinique de la hauteur de l'os naviculaire par rapport au sol peut être corrélée aux paramètres radiologiques. Le *Navicular Drop Test* consiste à mesurer la distance entre le bord inférieur du tubercule de l'os naviculaire et le sol lors de deux positions : sujet assis, le pied en semi-charge avec l'articulation sous-talienne en position neutre, et sujet debout en position de repos (Brody, 1982). La différence entre ces deux mesures correspond au *navicular drop*, qui est considéré comme excessif lorsque supérieur à 10-15 mm (Brody, 1982; Mueller et al., 1993). Il permet donc l'évaluation de la résistance du médio-pied à la mise en charge et la mesure fonctionnelle du valgus entrée sur l'arche longitudinale médiale

(Foisy, 2021). Les fiabilités intra-évaluateur et inter-évaluateur sont discutées (ICC = 0,46-0,83) (McPoil et al., 2008; Shrader et al., 2005; van der Worp et al., 2014; Zuil-Escobar et al., 2018), notamment à cause de la difficulté de reproductibilité des repères anatomiques. En outre, la définition de la position neutre de l'articulation sous-talienne reste un débat important (Y. Chen et al., 2008; E. Sobel & Levitz, 1997).

#### **5.4 Navicular Drift**

Les mouvements de l'os naviculaire ne pouvant pas se réduire au plan frontal, le test du *Navicular Drop* ne semble pas suffire à la quantification des mouvements du médio-pied. La notion de *Navicular Drift* a été introduite afin d'estimer le mouvement de cet os dans le plan horizontal (Menz, 1998). Cette mesure correspond à la distance entre la projection du bord médial de la tubérosité de l'os naviculaire selon deux positions (position neutre de l'articulation subtalaire et position bipodale relâchée). Sa fiabilité inter-évaluateur semble modérée (ICC = 0,59-0,79) (Kirmizi et al., 2020; Vinicombe et al., 2001).

#### **5.5 Valgus Index**

Le *Valgus Index* est une mesure frontale de la position de la cheville par rapport à la surface d'appui du talon (Rose et al., 1985). La technique repose sur un calcul nécessitant des repères sur l'empreinte encrée issus de la projection relative des malléoles. Un indice de valgus positif oriente vers un déplacement de la cheville en interne, un indice négatif vers un déplacement externe. Cette mesure fiable (ICC inter-évaluateur = 0,97 et ICC intra-évaluateur = 0,98) semble pouvoir caractériser la position de l'arrière-pied en position statique bipodale relâchée, sans pour autant prédire la fonction dynamique de l'arrière-pied (Menz, 1998; Song et al., 1996).

#### **5.6 Rearfoot angle**

Le *rearfoot angle* correspond à l'angle formé entre la bissectrice du calcaneus et la bissectrice du tendon d'Achille ou du tiers distal de la jambe, voire selon l'horizontalité du sol (Jonson & Gross, 1997; Sell et al., 1994; E. Sobel et al., 1999). Un angle  $\geq$  à 5° de valgus représente un pied en pronation, un angle compris entre 4° de valgus et 4° de varus un pied en position neutre, et un angle  $\geq$  à 5° de varus un pied en supination. La fiabilité de cette mesure, semblant renseigner sur la position de l'articulation subtalaire, est discutée (ICC = 0,68-0,91) (Jonson & Gross, 1997; Keenan & Bach, 2006; Sell et al., 1994). La corrélation entre cette mesure statique

et l'aspect dynamique du pied ne semble pas clairement établie (Kernozek & Greer, 1993; McPoil & Cornwall, 1996).

### **5.7 Combinaison de mesures anthropométriques**

Plusieurs auteurs ont proposé des moyens de classification de la morphologie des pieds et de leur fonction dynamique en tentant d'agréger plusieurs métriques. Une méthode se basant sur la position du calcanéus et la mobilité de l'articulation subtalaire, tout en utilisant la ligne bissectrice du calcanéus a été proposée (M. Root et al., 1971). Celle-ci reposant sur l'hypothèse d'une explication des mouvements complexes du pied dans les trois plans de référence par les mouvements du plan frontal de l'articulation subtalaire s'est avérée non fiable et non validée (Picciano et al., 1993). Une méthode reposant sur des évaluations qualitatives de la hauteur de la voûte plantaire et quantitatives de l'alignement entre la jambe, l'arrière-pied et l'avant-pied a été proposée (Sneyers et al., 1995). Cependant, ces deux méthodes reposent sur le principe clinique de bissectrice du calcanéus pour définir la position de l'arrière-pied, qui ne semble pas fiable (LaPointe et al., 2001; Menz, 1995).

### **5.8 Conclusion sur les outils de classification morphologiques**

Les premières classifications semblent avoir reposé sur un système d'empreintes du pied au sol. Les tests cliniques basés sur l'anthropométrie se sont quant à eux fortement intéressés à l'arche longitudinale médiale dans le plan sagittal et sont donc majoritairement uniplanaires. Il est ainsi couramment accepté qu'une arche basse corresponde à un *pes planus* et une arche haute à un *pes cavus*.

Les méthodes utilisées pour l'évaluation de la fiabilité et de la validité des tests et mesures cliniques précédemment cités font preuve d'une grande hétérogénéité. Ceci rend difficile l'interprétation des résultats des études. En outre, la concordance entre ces mesures semble limitée (Langley et al., 2016). Bien que des revues systématiques ont été réalisées sur cette thématique, il n'est pas évident d'établir les lignes directrices en la matière (Banwell et al., 2018; Carrasco et al., 2021).

Leur utilisation en routine clinique afin de déterminer avec certitude la morphologie du pied doit être précautionneuse.

## 6 Le Foot Posture Index à 6 items (FPI-6)

Face au constat que la morphologie statique du pied ne peut pas être réduite à une mesure unique ou uniplanaire, le *Foot Posture Index* à six items (FPI-6) a été développé.

Créé dans un but d'uniformisation de l'examen clinique du pied, il se distingue par une évaluation dans tous les plans des segments anatomiques, quantifiée selon des critères définis (Redmond et al., 2006). Le FPI-6 permet de classer la morphologie du pied en trois catégories : neutre, en pronation, en supination.

Chaque item permet d'obtenir un score compris entre -2 et +2. Un score négatif correspond à une posture en supination, un score nul à une posture neutre, et un score positif à une posture en pronation. Le score total peut varier de -12 à +12 (Redmond et al., 2006), avec comme correspondance :

- entre -12 et -5 : position en forte supination ;
- entre -5 et 0 : position en supination ;
- entre 0 et +5 : position neutre ;
- entre +6 et +9 : position en pronation ;
- entre +10 et +12 : position en forte pronation (Redmond et al., 2006).

Des scores plus élevés chez les enfants et adolescents et chez les personnes âgées de plus de soixante ans étant observés (Redmond et al., 2008), le FPI-6 s'avère dépendant de l'âge (Aquino et al., 2018), mais indépendant du sexe et de l'indice de masse corporelle (Jimenez-Cebrian et al., 2017).

Cet outil peut être utilisé par les cliniciens inexpérimentés (McLaughlin et al., 2016). La publication de valeurs normatives du FPI-6 au sein d'une population de 619 personnes adultes sains (données issues d'un cumul de plusieurs études utilisant le FPI-6) a démontré un score global de +4 mettant en évidence la tendance en pronation du pied de la population (Redmond et al., 2008).

Notamment proposé comme un indicateur de la fonction dynamique de marche (Buldt et al., 2013, 2015; Chuter, 2010; Cornwall & McPoil, 2011), sa fiabilité au sein de différentes populations a été démontrée (Cornwall et al., 2008; Evans et al., 2012; J. D. Lee et al., 2015; Morrison & Ferrari, 2009).

Les six critères cliniques utilisés pour évaluer le sujet en position bipodale relâchée, sans contrainte de positionnement, sont dans l'ordre la palpation de la tête du talus, les courbures supra et infra malléolaires latérales, la position du calcaneus dans le plan frontal, la proéminence

de la région de l'articulation talo-naviculaire, la hauteur et la forme de l'arche longitudinale médiale, l'abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied. En outre, des corrélations avec des mesures radiologiques conventionnelles du pied ont été établies au sein de populations adultes symptomatiques ou non dans la région du pied et de la cheville (Cho et al., 2020).

## 7 Classification des déformations des orteils II à V

Les classifications des déformations sont à ce jour étiologique, morphologique, fonctionnelle, et font référence à différents termes scientifiques.

### 7.1.1 Définitions internationales

Dans la littérature anglo-saxonne, *curly toe*, *hammer toe*, *claw toe* et *mallet toe*, littéralement traduits par orteil enroulé, orteil en marteau, orteil en griffe et orteil en maillet, désignent des déformations spécifiques aux orteils latéraux.

- *Curly toe* est une déformation souvent congénitale et héréditaire touchant les trois derniers orteils. Elle se caractérise par une flexion des articulations IP et une déviation médiale, voire un varus menant à un infraductus. L'articulation métatarso-phalangienne (MTP) est en position neutre ou en flexion. Les 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> présentent un enroulement semblable à celui du 3<sup>e</sup> orteil, mais souvent moindre. (Bignell, 1993; Shirzad et al., 2011).

- *Hammer toe* désigne une déformation de l'articulation interphalangienne proximale (IPP) en flexion, avec généralement une articulation interphalangienne distale (IPD) en extension et une articulation métatarso-phalangienne (MTP) en position neutre ou en extension (Coughlin, 2000; Mizel & Yodlowski, 1995).

- Affectant allègrement le 2<sup>e</sup> orteil, *mallet toe* correspond à une déformation en flexion de l'articulation interphalangienne proximale (IPP) pouvant avoisiner les 90 degrés, les articulations métatarso-phalangienne (MTP) et interphalangienne proximale (IPP) étant généralement en position neutre (Barakat & Gargan, 2006; Coughlin, 2000).

- *Claw toe* décrit une déformation impliquant une posture en hyperextension des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) forçant la tête métatarsienne à rentrer dans le coussin adipeux plantaire, associée à une flexion des articulations interphalangienne proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD) (Shirzad et al., 2011).

Cette déformation associe toujours hyperextension de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) et flexion de l'articulation interphalangienne distale (IPD), tandis que ces positions

articulaires ne seront pas simultanées dans le cadre du *hammer toe* (Coughlin et al., 2007). Cependant selon Mizel et al., l'articulation interphalangienne distale (IPD) est quant à elle en position neutre, fléchie ou étendue. (Mizel & Yodlowski, 1995).

- *Crossover toe* correspond principalement à une déformation horizontale évoluant sur une articulation métatarso-phalangienne (MTP) instable, à laquelle peut venir s'ajouter une déviation sagittale des articulations interphalangienne proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD). La déviation médiale de l'orteil avec faiblesse du ligament collatéral latéral métatarso-phalangien est la plus fréquente (Shirzad et al., 2011).

Une étude a quantifié les variations de compréhension de ces termes descriptifs des déformations (Barakat & Gargan, 2006).

Des niveaux de fiabilité inter-évaluateurs en réponse à l'évaluation de déformations *curly toe*, *hammer toe* et *claw toe* étaient inférieurs au niveau acceptable.

Ainsi, malgré l'existence de plusieurs définitions de ces déformations dans la littérature, leur compréhension semble perfectible.

Peut-être en raison des différentes combinaisons de posture articulaire des orteils décrites par les auteurs, cet ensemble de définitions ne semble pas mener à un consensus, entretenant ainsi un flou quant à la description des déformations des orteils latéraux.

Les termes *curly toe*, *hammer toe*, *mallet toe*, *claw toe* et *crossover toe*, actuellement utilisés à l'international, ne semblant pas présenter de normalisation descriptive, l'usage d'une terminologie orthopédique positionnelle semble plus indiqué.

### **7.1.2 Classification morphologique**

L'association française de chirurgie du pied (AFCP) a proposé une classification morphologique des déformations des orteils latéraux (Lintz et al., 2019).

Cette classification visuelle descriptive est uniquement morphologique et se fait de manière proximo-distale. Elle comprend des informations relatives à la position respective de chaque articulation de l'orteil considéré dans les plans sagittal et horizontal, sans apporter de renseignements ni sur l'aspect radiographique, ni sur la réductibilité de la déformation et les amplitudes articulaires.

La fiabilité intra et inter-évaluateur est de moyenne à bonne (ICC 0,54-0,78) pour l'évaluation des déformations sagittales du 2<sup>e</sup> orteil, avec néanmoins une concordance plus faible relative

au jugement positionnel de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP). D'autres travaux sont nécessaires pour évaluer sa fiabilité sur les autres orteils latéraux.

Par conséquent, lors d'une évaluation sagittale, les articulations sont classées selon les positions en extension (E), neutre (N), en flexion (F), ou bien variable (-), par rapport à leur position anatomique de référence (N).

La correspondance entre classification morphologique et classification par termes internationaux peut s'effectuer ainsi :

- *curly toe* : « NFF » ou « FFF »
- *hammer toe* : « NF- » ou « EF- »
- *mallet toe* : « NNF »
- *claw toe* : « EFF »

En France existe une classification morphologique dérivante, dans laquelle le terme « griffe » est utilisé pour décrire chaque déformation des orteils latéraux. Une griffe désigne alors à une déformation sagittale permanente.

Les multiples formes cliniques se distinguent par la localisation de la déformation et de l'éventuel conflit cutané engendré (Cazeau et al., 2014; Ferrari-Portafaix et al., 2020) :

- griffe proximale : la déformation type associe hyperextension de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP), flexion de l'articulation interphalangienne proximale (IPP) et un positionnement variable de l'articulation interphalangienne distale (IPD).

Lorsque l'articulation interphalangienne distale (IPD) est en extension, la griffe proximale est communément appelée « griffe en col de cygne » ou bien griffe totale inversée, l'hyperextension métatarso-phalangienne (MTP) pouvant être dite réactionnelle.

La griffe proximale associant articulation métatarso-phalangienne (MTP) en position neutre, articulation interphalangienne proximale (IPP) en flexion, articulation interphalangienne distale (IPD) en position variable, se nomme orteil en marteau, en référence à la dénomination *hammer toe*.

Un conflit cutané peut siéger dans les trois cas au niveau dorsal de l'articulation interphalangienne proximale (IPP).

- griffe distale : la déformation comprend des articulations métatarso-phalangienne (MTP) et interphalangienne proximale (IPP) en position neutre, une articulation interphalangienne distale (IPD) en flexion. Elle peut se nommer orteil en maillet, en référence

à la dénomination *mallet toe*. Un conflit cutané peut se localiser en dorsale de l'articulation interphalangienne distale (IPD), voire en pulpaire.

- griffe totale : elle correspond à une déformation métatarso-phalangienne (MTP) en hyperextension, interphalangienne proximale (IPP) et interphalangienne distale (IPD) en flexion. Des conflits cutanés en dorsal de l'articulation interphalangienne proximale (IPP), de l'articulation interphalangienne distale (IPD) et pulpaire peuvent être présents.

Elle est analogue au terme *claw toe*.

### **7.1.3 Classification fonctionnelle**

La déformation peut être considérée comme réductible (ou souple), semi-rigide, ou bien irréductible (fixe) (Ferrari-Portafaix et al., 2020).

Une déformation réductible est communément nommée déformation dynamique, impliquant une étiologie musculo-tendineuse.

Ainsi, les déformations en *hammer toe* et *claw toe* présentes en charge sont dites réductibles s'il est possible de les corriger par une mobilisation active ou bien par un mouvement passif d'extension de cheville. Une pression dorsale sous les têtes métatarsiennes peut contribuer à cette correction.

La déformation fixe quant à elle ne se corrige pas. Elle s'explique par des rétractions capsulo-ligamentaires des articulations précédemment citées, pouvant être associées à des rétractions tendineuses.

Le tableau 2 présente un résumé des différentes manières de nommer les déformations selon leur classification morphologique.



Tableau 2. Résumé des déformations des orteils latéraux.

POSITION SAGITTALE			POSITION HORIZONTALE			⇒ DEFORMATIONS	
MTP	IPP	IPD	MTP	IPP	IPD	Déformation	Déformation 2
F	F	F		Méd		Curly toe	
N	F	F		Méd		Curly toe	
N	F	F				Hammer toe	Griffe proximale
N	F	N				Hammer toe	Griffe proximale
N	F	E				Hammer toe	Griffe proximale
E	F	N				Hammer toe	Griffe proximale
E	F	E				Hammer toe	Col de cygne / Griffe totale inversée
N	N	F				Mallet toe	Griffe distale
E	F	F				Claw toe	Griffe totale
	N	N	Méd / Lat			Crossover toe	
	N	F	Méd / Lat			Crossover toe	
	N	E	Méd / Lat			Crossover toe	
	F	N	Méd / Lat			Crossover toe	
	F	F	Méd / Lat			Crossover toe	
	F	E	Méd / Lat			Crossover toe	

N : position neutre ; F : flexion ; E : extension ; méd : médial ; lat : latéral.

## 8 Conclusion sur les théories de classification

Bien que présentant quelques divergences de terminologie scientifique, la classification des déformations des orteils latéraux semble clairement établie. Les critères radiologiques demeurent le *gold standard* de l'évaluation morphologique du pied. Parmi les évaluations reposant sur des critères anthropométriques, le FPI-6 semble se distinguer. Cet outil semble être le plus pertinent à utiliser en routine clinique en France, notamment pour l'évaluation des déformations des pieds complexes dans les champs de la neurologie ou de la neuro-orthopédie.

# Chapitre 4 :

## Maladie de Charcot-Marie-Tooth

---

### 1 Définition

La maladie de Charcot-Marie-Tooth (CMT) porte le nom des trois cliniciens qui ont décrit pour la première fois en 1886, une atrophie musculaire péronière, et ceci simultanément en France et au Royaume-Uni (Charcot, JM ; Marie, P, 1886; Tooth, Howard Henry, 1886).

Cette maladie, connue comme neuropathie sensitive et motrice héréditaire, représente la forme la plus courante des neuropathies périphériques. Elle regroupe un ensemble de troubles affectant les nerfs périphériques, qui manifeste une grande hétérogénéité tant sur les plans clinique et génétique (Reilly et al., 2011). Cette neuropathie dégénérative peut être autosomale dominante ou récessive, démyélinisante ou bien axonale.

La classification actuelle des différentes formes de CMT reposant sur la combinaison d'une évaluation neurophysiologique traditionnelle, de l'identification des gènes causaux et des modes de transmission génétique, apparaît comme terriblement complexe (Mathis et al., 2015; Reilly et al., 2011; Vallat et al., 2018). Plus de 90 gènes responsables de la maladie CMT ont été découverts à ce jour (Eichinger et al., 2018; Mandarakas et al., 2018).

Cette classification usuelle permet ainsi la principale distinction entre la forme démyélinisante (CMT1) caractérisée par une vitesse de conduction nerveuse des nerfs moteurs inférieure à 38 m/s, la forme axonale (CMT2) caractérisée par une vitesse de conduction nerveuse motrice supérieure à 38 m/s, et des formes intermédiaires dont cette vitesse est comprise entre 25 et 45 m/s (Harding & Thomas, 1980). Bien qu'elle ne soit pas complètement satisfaisante, cette classification combinée sert de base au diagnostic et semble bien plus utile que la simple classification génétique.

La maladie CMT affecte la force musculaire et la sensibilité des membres supérieurs et inférieurs, causant des problèmes de motricité globale et fine, d'équilibre et de coordination (Reilly et al., 2011). Le tableau clinique général présente un trouble de la transmission motrice avec faiblesse musculaire des membres évoluant en disto-proximal, notamment au niveau des muscles intrinsèques des pieds et des mains, associée à une atrophie musculaire, une altération de la sensibilité avec hypoesthésie des membres inférieurs suivant un gradient disto-proximal, des déformations des pieds et des mains, une hypoaréflexie tendineuse au niveau des chevilles,

des déficits proprioceptifs, tout ceci évoluant sur un contexte de limitations fonctionnelles (Beals & Nickisch, 2008; Burns, Ouvrier, Estilow, Shy, Laurá, Pallant, et al., 2012; N. E. Johnson et al., 2014; Pareyson & Marchesi, 2009; Shy et al., 2005). La fatigue musculaire et la réduction de l'endurance à l'effort sont notamment des symptômes rencontrés (Gagnon et al., 2017).

L'invalidité cliniquement observée est liée au degré de perte axonale, signifiant que cette maladie neuromusculaire provoque une dégénérescence axonale dépendante de la longueur des axes moteurs et sensoriels (Krajewski et al., 2000; Sahenk & Chen, 1998). Les formes démyélinisantes sont elles aussi longueur-dépendantes.

L'âge d'apparition semble difficile à établir en raison de la lente évolution, mais la plupart des formes de CMT affectent les enfants et les symptômes se développent dès les premières années de vie (Yiu et al., 2008). Le diagnostic de la maladie repose ainsi sur des caractéristiques cliniques, des études de conduction nerveuse et des tests génétiques.

## **2 Épidémiologie**

La description de la prévalence de la maladie CMT nécessite l'introduction des différents sous-types de CMT existants.

La forme CMT1 présente comme subdivisions :

- la forme CMT1A, due à une duplication du gène PMP22 codant pour une protéine de la myéline du nerf périphérique. Elle représente 80% des cas de CMT1 et 50% de l'ensemble des cas de CMT, ce qui en fait la classe la plus fréquente (Fridman et al., 2015; Guyton, 2006; Kurihara et al., 2002).
- la forme CMT1B, associée à une mutation ponctuelle du gène P0 de la myéline, représente 5 à 10% des formes CMT1.
- la forme CMT1C reste beaucoup moins fréquente (Guyton, 2006).

La forme CMT2 touche quant à elle environ 20% des patients CMT et est donc moins prépondérante que la forme CMT1.

La forme CMTX, associée à une anomalie d'une protéine constitutive de la myéline (connexine 32) et dont la transmission est liée au chromosome X, affecte entre 10 et 20% de la population CMT (Guyton, 2006).

D'autres sous-types comme CMT4, DI-CMT, RI-CMT sont reconnus mais restent moins fréquents, cette classification restant à ce jour discutée.

La prévalence de la maladie CMT est étroitement liée à la géographie avec des variations entre les différents pays et même régionales au sein d'un même pays (Martyn & Hughes, 1997; Mladenovic et al., 2011). Ces variations peuvent être dues à la difficulté de réalisation d'enquêtes épidémiologiques en raison des multiples variabilités cliniques et phénotypiques de la maladie CMT, ainsi qu'aux différentes méthodologies utilisées (Barreto et al., 2016; Kurihara et al., 2002).

Ainsi, le groupe cliniquement et génétiquement hétérogène correspondant à la maladie CMT a une prévalence historique déclarée de 1/2500 personne (Skre, 1974).

Barreto et al (2016) décrivent dans leur revue systématique une prévalence pour CMT variant de 9,7 pour 100 000 personnes en Serbie, à 82,3 pour 100 000 personnes en Norvège.

Les articles dans lesquels les prévalences étaient les plus basses correspondent souvent à d'anciennes études rétrospectives, dont les méthodologies reposaient seulement sur la biopsie nerveuse et l'électromyographie ou encore l'examen clinique comme outils diagnostics.

Plus récemment, une étude relative à la Nouvelle-Zélande a mis en évidence une prévalence standardisée selon l'âge de 15,7 pour 100 000, avec une prévalence plus élevée au sein de la tranche d'âge 50-64 ans ainsi que chez les hommes (Theadom et al., 2019). En outre, la prévalence sur l'île de Gran Canaria (Espagne) serait de 30,08 pour 100 000 (Lousa et al., 2019).

En France, les neuropathies héréditaires et idiopathiques considérées comme affection longue durée regroupent selon le site de l'assurance maladie 24 120 patients du régime général de la sécurité sociale en 2019, soit une prévalence de 38 pour 100 000. 50% sont des femmes, et l'âge moyen serait de 60 ( $\pm$  21) ans. Cet effectif a plus que doublé en moins de 10 ans, faisant passer les neuropathies héréditaires et idiopathiques du 111<sup>e</sup> au 86<sup>e</sup> rang des maladies à affection longue durée. L'association CMT-France estime que plus de 30 000 personnes seraient atteintes de la maladie CMT.

Face à la complexité croissante des phénotypes et des schémas d'héritages évoluant en permanence, des lacunes semblent persister dans les connaissances épidémiologiques de cette maladie neuromusculaire à l'échelle mondiale. Des travaux supplémentaires semblent nécessaires afin de déterminer si les différentes prévalences observées relèvent de la variabilité des méthodologies employées, rendant ainsi les comparaisons délicates, ou bien au contraire si elles sont liées à de réelles différences de prévalence internationales.

### 3 Physiopathologie des déformations du pied dans la maladie CMT

La maladie CMT peut être très impactant dès les premières décennies et donc se manifester chez les adolescents en pleine phase de croissance et de remaniement osseux. Des déformations secondaires des pieds, comme le cavus de l'avant-pied, l'arrière-pied varus et les griffes d'orteils apparaissent très fréquemment, évoluant dans un contexte d'instabilités de chevilles. Cette pathologie évoluant au cours de la vie entière, les déformations vont venir assombrir le tableau clinique de très longues années, devenant une source majeure d'invalidité.

Le *pes cavus* correspond à la déformation du pied la plus couramment rencontrée au sein de la population CMT, représentée majoritairement par le *pes cavovarus* et le *pes calcaneocavus* (Laurá et al., 2018; Schwend & Drennan, 2003). Ainsi, le *pes cavus* est rencontré chez 56% des patients, et même chez 63% des patients atteints de CMT1A. Les orteils en griffe sont présents dans 27% des cas, et la déformation en *pes planus* (ou *pes planovalgus*) ne se rencontre que dans 8% de cette population. L'ensemble de ces déformations touche globalement 74% des patients CMT (Laurá et al., 2018).

Bien que plus distal que le muscle tibial antérieur (TA), le muscle long extenseur de l'hallux (LEH) semble souvent épargner dans la maladie CMT et il peut être un facteur contribuant à l'apparition de la griffe d'hallux (Beals & Nickisch, 2008). Son hyperactivité à l'origine de cette déformation peut viser à pallier le muscle tibial antérieur (TA) dans son rôle de releveur de pied (Guyton, 2006).

Les griffes des orteils latéraux semblent se développer après la perte de fonction musculaire intrinsèque et l'épargne relative des muscles extrinsèques. Par conséquent, la fonction intrinsèque de flexion plantaire des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) disparaît, tout comme l'extension des articulations interphalangiennes (Beals & Nickisch, 2008). Les muscles lombricaux n'agissant plus en tant que stabilisateurs des articulations métatarso-phalangiennes (MTP), les muscles interosseux plantaires (IOP) et dorsaux (IOD) devenant faibles, la force non opposée du muscle long extenseur des orteils (LEO) peut alors positionner les orteils latéraux en hyperextension (Schwend & Drennan, 2003). Les muscles longs et courts fléchisseurs des orteils (LFO et CFO), non contraints, fléchissent quant à eux les phalanges, augmentant ainsi l'effet *Windlass* (Aminian & Sangeorzan, 2008).

Les déformations en *pes planus* sont plus rarement observables dans le cadre de la maladie CMT, et résulteraient d'un moindre déséquilibre musculaire entre inverseurs et éverseurs associé à une hypermobilité articulaire généralisée (Burns et al., 2009).

#### **4 Troubles de la marche dans la maladie CMT**

L'association de déformations du pied et de la cheville, de faiblesses musculaires et de troubles somato-sensoriels est à l'origine des troubles de la marche chez les personnes atteintes de la maladie CMT (Nonnekes et al., 2021). Cette triade engendre des modifications primaires, secondaires et compensatoires du schéma de marche.

Les troubles de la marche les plus fréquemment rencontrés comprennent le pied tombant (*foot drop*), la supination du pied augmentée et le déficit de flexion plantaire de cheville (Newman et al., 2007). Le pied tombant est causé par une faiblesse musculaire des fléchisseurs dorsaux de la cheville, l'avant-pied se positionnant alors plutôt en flexion plantaire (Vinci & Perelli, 2002). Le pied tombant modifie la phase d'oscillation du cycle de marche et devient une cause d'altération.

Les problèmes de positionnement du pied dans le plan frontal résultent d'un déséquilibre entre les forces des muscles éverseurs, souvent les plus affaiblis, et des muscles inverseurs. La combinaison de ces troubles va affecter la stratégie globale de la marche (Don et al., 2007).

Ainsi, la supination du pied peut être compensée par une flexion et rotation interne de hanche et flexion de genou (Geurts et al., 1992). La faiblesse des muscles fléchisseurs plantaires de cheville va réduire la capacité de stabiliser l'articulation talo-crurale dans le plan sagittal et retarder le pic de dorsiflexion de cheville en phase d'appui (Öunpuu et al., 2013; Vinci & Perelli, 2002). En outre, cette faiblesse musculaire peut entraîner une flexion excessive du genou pendant la phase d'appui, car ces muscles sont les principaux stabilisateurs du genou lors de la phase de milieu d'appui (midstance) (Nonnekes et al., 2018). Certains individus peuvent contrôler cette flexion excessive du genou par une activation prolongée du quadriceps, tandis que d'autres compensent par une hyperextension du genou dès le début de la phase d'appui (Nonnekes et al., 2021). Cette compensation est encore plus favorisée lors d'une déformation en pied équin avec cavus de l'avant-pied (Nonnekes et al., 2018). En outre, la combinaison de déformations des orteils en griffe, d'un pied tombant et d'un déficit des fléchisseurs plantaires de cheville perturbe le 3<sup>e</sup> pivot du cycle de marche avec réduction de la force de poussée, et expose à une compensation en flexion de hanche (Waterval et al., 2018).

En conséquence de la sévérité de la maladie CMT pouvant encore plus affecter la biomécanique de la cheville et affaiblir les muscles, d'autres compensations proximales peuvent être observées (diminution de l'adduction des hanches, rotation externe des hanches...) (Newman et al., 2007). L'ensemble de ces compensations s'accompagnent d'une diminution de la vitesse de marche, avec raccourcissement des pas et augmentation de la base d'appui (Kennedy et al., 2018).

La prise en charge clinique visant à améliorer la marche des personnes atteintes de CMT relève d'une approche complexe.

## **5 Les outils de classifications de la maladie CMT**

De nombreux outils et échelles ont été réalisés afin de pouvoir profiler les patients CMT notamment dans le cadre de leur handicap et ainsi pouvoir les utiliser dans ces études longitudinales.

### **5.1 CMT Neuropathy Score (CMTNS)**

Le *CMT Neuropathy Score* (CMTNS) est a été construit sur le modèle du *Total Neuropathy Score* (TNS), mesure validée relative à l'invalidité dans les neuropathies axonales longueur-dépendante, mais pondéré vers les neuropathies sensorielles (Cornblath et al., 1999; Shy et al., 2005).

Ce score composite se base sur les antécédents du patient, l'examen neurologique, les limitations de l'activité et la neurophysiologie clinique. Il a ainsi pour but de quantifier chez l'adulte la déficience motrice et sensorielle tout en ne fournissant qu'une seule mesure, permettant un classement de la maladie CMT selon trois stades d'atteintes, grave, modéré ou léger.

Il comprend deux sous-scores que sont le score des symptômes CMT (CMTSS) et le score d'examen CMT (CMTES) calculés respectivement par la somme des symptômes et la somme des symptômes plus les signes.

Il semble utile dans les études longitudinales d'apprécier la progression de la maladie ainsi que les effets thérapeutiques sur une base annuelle (Burns, Ouvrier, Estilow, Shy, Laurá, Pallant, et al., 2012; Shy et al., 2005).

En raison de l'observation d'effets planchers dans les calculs des sous-scores du CMTNS, une deuxième version est proposée (S. M. Murphy et al., 2011) (Figure 41 et 42). Score composite basé sur des symptômes et des tests neurophysiologiques, le CMTNS2 ne reste applicable que

pour les spécialistes en neurologie. En outre sa sensibilité au changement demeure limitée (Fridman et al., 2015).

Parameter	0	1	2	3	4
Sensory symptoms*	None	Symptoms below or at ankle bones	Symptoms up to the distal half of the calf	Symptoms up to the proximal half of the calf, including knee	Symptoms above knee (above the top of the patella)
Motor symptoms (legs) <sup>†</sup>	None	Trips, catches toes, slaps feet Shoe inserts	Ankle support or stabilization (AFOs) Foot surgery <sup>‡</sup>	Walking aids (cane, walker)	Wheelchair
Motor symptoms (arms)	None	Mild difficulty with buttons	Severe difficulty or unable to do buttons	Unable to cut most foods	Proximal weakness (affect movements involving the elbow and above)
Pinprick sensibility <sup>*,§</sup>	Normal	Decreased below or at ankle bones	Decreased up to the distal half of the calf	Decreased up to the proximal half of the calf, including knee	Decreased above knee (above the top of the patella)
Vibration <sup>¶</sup>	Normal	Reduced at great toe	Reduced at ankle	Reduced at knee (tibial tuberosity)	Absent at knee and ankle
Strength (legs) <sup>¶¶</sup>	Normal	4+, 4, or 4- on foot dorsiflexion or plantar flexion	≤3 on foot dorsiflexion or ≤3 on foot plantar flexion	≤3 on foot dorsiflexion and ≤3 on plantar flexion	Proximal weakness
Strength (arms) <sup>¶¶</sup>	Normal	4+, 4, or 4- on intrinsic hand muscles <sup>**</sup>	≤3 on intrinsic hand muscles <sup>**</sup>	≤5 on wrist extensors	Weak above elbow
Ulnar CMAP (median)	≥6 mV (≥4 mV)	4-5.9 mV (2.8-3.9)	2-3.9 mV (1.2-2.7)	0.1-1.9 mV (0.1-1.1)	Absent (absent)
Radial SAP amplitude, antidromic testing	≥15 μV	10-14.9 μV	5-9.9 μV	1-4.9 μV	<1 μV

AFO, ankle-foot orthoses; CMAP, compound muscle action potential; SAP, sensory action potential.

\*Use the picture below to discriminate the level of the symptoms.

<sup>†</sup> Uses aid *most of the time*. The patient was prescribed to wear/use or should be wearing/using the aid in the examiner's opinion (see written instructions, Table S2).

<sup>‡</sup> See written instructions for details of eligible foot surgery.

<sup>§</sup> Abnormal if patient says it is definitely decreased compared to a normal reference point.

<sup>¶</sup> Use Rydel-Seiffer tuning fork. Definition of normal: ≥5.

<sup>¶¶</sup> Limb strength scores refer to MRC grade.

<sup>\*\*</sup> Intrinsic hand muscles strength assessment: test only abductor pollicis brevis (APB) and first dorsal interosseus (FDI), then choose the stronger to give the score.

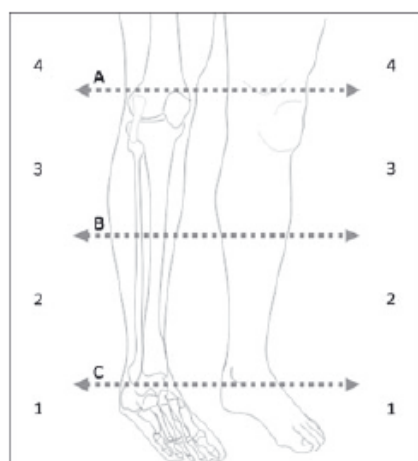


Figure 41. CMT Neuropathy Score - Version 2. Murphy (2011)



---

**Sensory loss**  
Do you have loss of feeling anywhere in your feet or legs?  
If so, does the loss of feeling extend above your toes?  
Do they extend above the ankle?  
Please identify the point on this drawing of the leg where the sensation becomes normal or nearly normal.  
Are these symptoms constant (present all the time), present most of your daytime, less than one-half of the daytime, or just occasional? Daytime is defined as time between getting up and going to bed.

**Motor symptoms (legs)**  
Do you have weakness in your legs or feet?  
Do you ever trip over your toes/feet or turn or sprain your ankles?  
Do your feet slap when you walk?  
Do you wear shoe inserts/insoles (below the ankle)?  
Do you wear braces, splints, or equivalent type of orthotics that extend above your ankle?  
Have the above ankle orthotics described above ever been prescribed or suggested by healthcare professionals?  
Have you had surgery on your feet or ankles?  
If so, do you know if the surgery involved fusion of bones, a transfer of tendons, heel cord lengthening, or lowering of the arch?  
Do you use a cane, stick, or walker to help you walk most of the time outside the home?  
Do you use a wheelchair most of the time because of weakness?

**Motor symptoms (arms)**  
Do you have difficulty with buttoning clothes (standard shirt buttons)?  
If yes, are the difficulties mild or severe (severe includes unable)?  
Can you cut most food including meat and pizza with normal utensils?  
Do you have difficulty with activities that require extending or flexing your arms or activities using the upper arms?

---

Figure 42. Instructions orales CMTNS

## 5.2 CMT Pediatric Scale (CMTPedS)

Étant donné que l'enfance apparaît comme le moment idéal pour instaurer un traitement, avant que n'interviennent les changements chroniques de démyélinisation ou de dégénérescence axonale, et que l'ensemble des items du CMTNS ne semble pas assez sensible aux variations chez les enfants, le développement d'un outil pour cette population prend tout son sens. La *CMT Pediatric Scale* (CMTPedS) permet ainsi de mesurer la progression de la maladie et les effets thérapeutiques chez une population atteinte de la maladie CMT âgée de 3 à 20 ans (Burns, Ouvrier, Estilow, Shy, Laurá, Pallant, et al., 2012) (Figure 43). Elle contient au final 11 items relatifs à la force, la puissance, l'équilibre, la marche, l'endurance, la dextérité ainsi que la sensibilité, amenant à un score global compris entre 0 et 44. Elle comporte notamment une évaluation de la posture du pied par le *Foot Posture Index*.

Cette échelle vient compléter l'examen neurologique initial et permet de mettre en exergue les limitations fonctionnelles pertinentes chez l'enfant causées par la maladie CMT.

Apparaissant comme le seul outil pertinent chez la population pédiatrique permettant une éventuelle optimisation de la qualité des services, cette échelle a été adaptée à la langue française (Gagnon et al., 2017).

# cmtpediatricscale

Initial Evaluation  Re-Evaluation  Date: \_\_\_\_\_

Patient Profile																							
ID: _____				D.O.B: _____				Age (yrs): _____				Gender: Boy <input type="checkbox"/> Girl <input type="checkbox"/>											
Height (m): _____			Weight (kg): _____			Dominant Hand: L <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/>			Dominant Foot: L <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/>			Diagnosis: _____											
Symptoms:		Foot pain <input type="checkbox"/>		Leg cramps <input type="checkbox"/>		Unsteady ankles <input type="checkbox"/>		Daily trips and/or falls <input type="checkbox"/>		Hand pain <input type="checkbox"/>		Hand weakness <input type="checkbox"/>		Hand tremor <input type="checkbox"/>		Sensory symptoms (e.g. pins and needles, tingling, numbness, prickling) <input type="checkbox"/>							
Lunge test (degrees)						Left:			Right:														
Foot Posture Index		Talar head palpation																					
		Curves above and below lateral malleolus																					
		Inversion/eversion of the calcaneus																					
		Bulge in the region of the talonavicular joint																					
		Congruence of the medial longitudinal arch																					
		Abd/adduction of forefoot on rearfoot (too-many-toes)																					
<b>Total (-12 to 12)</b>																							
Hand Dexterity																							
<b>1. Functional Dexterity Test (sec)</b>						<b>2. Nine-hole peg test (sec)</b>																	
Strength		Trial 1		Trial 2		Trial 3		Average															
<b>3. Hand grip (N)</b>								x2:															
<b>4. Foot plantarflexion (N)</b>																							
<b>5. Foot dorsiflexion (N)</b>																							
Sensation		0		1		2		3		4		Score											
<b>6. Pinprick</b>		Normal		Decreased below or at ankle bones		Decreased at or below midline of calf		Decreased above calf midline up to and including knee		Decreased above knee (above top of patella)													
<b>7. Vibration</b>		Normal		Reduced at first metatarsal bone		Reduced at ankle		Reduced at knee (tibial tuberosity)		Absent at knee and ankle													
Balance		Assistive device required (e.g. AFO) Y/N. Describe device and footwear: _____																					
<b>8. Bruininks Oseretsky Test</b>		Raw Score		Conduct second trial only if examinee does not earn the maximum score on the first trial								Point score											
		Trial 1												Trial 2									
Standing with feet apart on a line-eyes open				Raw		0.0-0.9		1.0-2.9		3.0-5.9		6.0-9.9		10									
				Point		0		1		2		3		4									
Walking forward on a line				Raw		0		1-2		3-4		5		6									
				Point		0		1		2		3		4									
Standing on one leg on a line-eyes open				Raw		0.0-0.9		1.0-2.9		3.0-5.9		6.0-9.9		10									
				Point		0		1		2		3		4									
Standing with feet apart on a line-eyes closed				Raw		0.0-0.9		1.0-2.9		3.0-5.9		6.0-9.9		10									
				Point		0		1		2		3		4									
Walking forward heel-to-toe on a line				Raw		0		1-2		3-4		5		6									
				Point		0		1		2		3		4									
Standing on one leg on a line-eyes closed				Raw		0.0-0.9		1.0-2.9		3.0-5.9		6.0-9.9		10									
				Point		0		1		2		3		4									
Standing on one leg on a beam-eyes open				Raw		0.0-0.9		1.0-2.9		3.0-5.9		6.0-9.9		10									
				Point		0		1		2		3		4									
Standing heel-to-toe on a balance beam				Raw		0.0-0.9		1.0-2.9		3.0-5.9		6.0-9.9		10									
				Point		0		1		2		3		4									
Standing on one leg on a beam-eyes closed				Raw		0.0-0.9		1.0-2.9		3.0-4.9		5.0-7.9		8.0-9.9									
				Point		0		1		2		3		4									
											<b>Total</b>												
Motor Function		Assistive device required (e.g. AFO) Y/N. Describe device and footwear: _____																					
<b>9. Gait</b>		Foot drop: No <input type="checkbox"/> Some <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/>				Difficulty heel walking: No <input type="checkbox"/> Some <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/>				Difficulty toe walking: No <input type="checkbox"/> Some <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/>													
<b>10. Long jump (cm)</b>						<b>11. Six-minute walk test (m)</b>																	
Item Scores (0-4)												Total Score (0-44)											
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.		11.			

Figure 43. Charcot-Marie-Tooth Disease Pediatric Scale. Burns (2012)

### 5.3 CMT Disease Infant Scale (CMTInfS)

Toujours dans un souci de compréhension de la maladie dès ses premiers symptômes, la *CMT Disease Infant Scale* (CMTInfS) est créée afin de mesurer les résultats fonctionnels de la CMT chez des nourrissons de moins de trois ans (Mandarakas et al., 2018) (Figure 44).

Elle permet l'évaluation de la dégradation liée à une maladie CMT à manifestation précoce et pourra être notamment utile en vue d'essais thérapeutiques dès le plus jeune âge offrant d'éventuels rétablissements de la myélinisation et préventions de la perte axonale.

Cette échelle fonctionnelle est complémentaire de la CMTPedS.

### cmtinfantscale

Consent <input type="checkbox"/> Participant ID: _____		DOB: _____		Assessment Date: _____	
Medications and relevant medical history			Diagnosis (CMT Type)		Genetic mutation
H ___ cm	W ___ Kg	Age ___ Y ___ M	Gender Female <input type="checkbox"/> Male <input type="checkbox"/>		Dominant hand ( $\geq 2$ Y) R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> Undetermined <input type="checkbox"/>
Current state for assessment		Time since last feed (minutes)		Time since last nap (minutes)	
<b>Developmental History</b>					
Rolling ___ M		Sitting ___ M		Preterm <input type="checkbox"/> Relevant in utero history: _____	
Creeping/crawling ___ M With hand fisting, wrist flexion <input type="checkbox"/>		Walk independently ___ M History of toe walking <input type="checkbox"/>		Joint contracture at birth <input type="checkbox"/> History of hip dysplasia <input type="checkbox"/> History of torticollis <input type="checkbox"/>	
<b>Physical Examination</b>					
Foot posture	Cavovarus <input type="checkbox"/>	Planovalgus <input type="checkbox"/>	Club foot <input type="checkbox"/>	Normal <input type="checkbox"/>	Others: _____
Hand posture	Claw <input type="checkbox"/>	En griffe <input type="checkbox"/>	Fisted <input type="checkbox"/>	Normal <input type="checkbox"/>	Others: _____
Spine	Kyphosis <input type="checkbox"/>	Scoliosis <input type="checkbox"/>	Rigidity <input type="checkbox"/>	Torticollis <input type="checkbox"/>	Normal <input type="checkbox"/>
Tone	Low <input type="checkbox"/>	Increased <input type="checkbox"/>	Normal <input type="checkbox"/>	Joint contracture <input type="checkbox"/> Joints: _____	
Gait	Walking <input type="checkbox"/> Unable to walk <input type="checkbox"/> Toe walking <input type="checkbox"/>		Ataxia <input type="checkbox"/>	Orthoses <input type="checkbox"/> Type: _____	
<b>Scoring System</b>					
Item	Score 0	Score 1	Score 2	Score 3	Score
1	<b>Roll supine to prone</b> Rolls completely to prone (may/may not be able to free underneath arm)	Rolls to side	Unable	-	
2	<b>Sit</b> Sits with one or both hands free >5 seconds	Sits both hands forward propping	Unable	-	
3	<b>Crawl</b> Crawling on 4 points on hands and knees	Unable	-	-	
4	<b>Squat and recover</b> Independent without Gowers' sign	Unable	-	-	
5	<b>Stand on 1 foot</b> Lifts 1 foot, arms free >3 seconds	Lifts 1 foot, holding 1 or 2 hands >3 seconds	Unable	-	
6	<b>Run</b> Unlimited, efficient	Fast walk	Unable	-	
7	<b>Throw ball</b> Throws ball >1.5m in air	Throws ball 30cm-1.5m	Throws ball <30cm or with alternate method	Unable	
8	<b>Palmar grasp</b> Radial digital grasp	Radial or ulnar grasp	Gross grasp	Unable	
9	<b>Build tower</b> Stacks 6-8 blocks	Stacks 3-5 blocks	Stacks 1-2 blocks	Unable	
10	<b>Point</b> Points with isolated index finger, other fingers flexed	Unable	-	-	
11	<b>Scribble</b> Imitates, repetitive line	Makes small mark	Marker touches page	Unable	
12	<b>Tear paper</b> Tears double folded paper	Tears single folded paper	Tears unfolded paper	Unable	
13	<b>Unscrew lid</b> Able	Unable	-	-	
14	<b>String beads</b> Strings $\geq 2$ beads	Strings 1 bead or unable	-	-	
15	<b>Button</b> Able	Unable	-	-	
<b>CMTInfS Total Score</b>					

VAS of behaviour

0 ————— 100

Excellent behaviour | Very challenging behaviour

**Comments**

**Equipment**  
Beads x3 (2cm) and string (30cm in length), blocks x10 (5cm cube, wooden), button (2.5cm) on fixed model, Crayola 8 My First Washable Markers, paper (A4, weight: 80gsm) x2, picture book, Sophie Giraffe toy, specimen jar (standardised urine collection jar) and stopwatch and tennis ball

Figure 44. CMTInfS, Mandarakas (2018)

#### **5.4 Overall Neuropathy Limitations Scale (ONLS)**

L'*Overall Neuropathy Limitations Scale* (ONLS) est dérivée de l'*Overall Disability Sum Score* (ODSS), première échelle conçue à but d'évaluation des limitations fonctionnelles dans les activités quotidiennes des patients atteints de neuropathies périphériques (Graham, 2006) (Figure 45). L'apport de l'ONLS concerne les fonctions du membre inférieur que sont la montée d'escaliers et la course.

Cette échelle se concentre donc sur l'évaluation du retentissement de l'atteinte des muscles des membres supérieurs, notée de 0 à 5, et des membres inférieurs, notée de 0 à 7, lors de la réalisation de gestes du quotidien, le score 0 indiquant une absence de limitation et le score 5 (ou 7) manifestant une absence de mouvements volontaires du membre.

Cette échelle est recommandée pour évaluer les changements des limitations fonctionnelles des patients neuropathiques dans un environnement clinique et comme mesure des résultats d'essais thérapeutiques, les scores des sections membre inférieur et membre supérieur devant être considérés séparément pour déterminer avec précision l'état du patient.

Une modification d'un point du score OLNS peut correspondre au passage d'une marche sans aide à l'utilisation d'une aide technique.

**Overall Neuropathy Limitations Scale (ONLS)**

Name:
Date:

**Instructions:** The examiner should question and observe the patient in order to determine the answers to the following questions. Note should be made of any other disorder other than peripheral neuropathy which limits function at the foot of the page.

**ARM SCALE**

Does the patient have any symptoms in their hands or arms, eg tingling, numbness or weakness? Yes  No   
(if "no", please go to "legs" section)

Is the patient affected in their ability to:	Not affected	Affected but not prevented	Prevented
Wash and brush their hair	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Turn a key in a lock	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Use a knife and fork together (or spoon, if knife and fork not used)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Do or undo buttons or zips	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dress the upper part of their body excluding buttons or zips	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
If all these functions are prevented can the patient make purposeful movements with their hands or arms?	Yes <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Not applicable <input type="checkbox"/>

**Arm Grade**

- 0=Normal
- 1=Minor symptoms in one or both arms but not affecting any of the functions listed
- 2=Disability in one or both arms affecting but not preventing any of the functions listed
- 3=Disability in one or both arms preventing at least one but not all functions listed
- 4=Disability in both arms preventing all functions listed but purposeful movement still possible
- 5=Disability in both arms preventing all purposeful movements

SCORE=\_\_\_\_

**LEG SCALE**

	Yes	No	Not applicable
Does the patient have difficulty running or climbing stairs?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Does the patient have difficulty with walking?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Does their gait look abnormal?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
How do they mobilise for about 10 metres (ie 33 feet)?			
Without aid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
With one stick or crutch or holding to someone's arm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
With two sticks or crutches or one stick or crutch holding onto someone's arm or frame	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
With a wheelchair	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
If they use a wheelchair, can they stand and walk 1 metre with the help of one person?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
If they cannot walk as above are they able to make some purposeful movements of their legs, eg reposition legs in bed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Does the patient use ankle foot orthoses/braces? (please circle)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

If yes: (please circle) right/left

**Leg grade**

- 0= Walking/climbing stairs/running not affected
- 1= Walking/climbing stairs/running is affected, but gait does not look abnormal
- 2= Walks independently but gait looks abnormal
- 3= Requires unilateral support to walk 10 metres (stick, single crutch, one arm)
- 4= Requires bilateral support to walk 10 metres (sticks, crutches, crutch and arm, frame)
- 5= Requires wheelchair to travel 10 metres but able to stand and walk 1 metre with the help of one person
- 6= Restricted to wheelchair, unable to stand and walk 1 metre with the help of one person, but able to make some purposeful leg movements
- 7= Restricted to wheelchair or bed most of the day, unable to make any purposeful movements of the legs

SCORE=\_\_\_\_

Overall Neuropathy Limitation Scale= arm scale (range 0 to 5)+leg scale (range 0 to 7);  
 (range: 0 (no disability) to 12 (maximum disability))

TOTAL SCORE=\_\_\_\_

Is there any disorder, other than peripheral neuropathy, which affects the above functions Yes  No   
 If yes please describe:

Figure 45. Overall Neuropathy Limitations Scale. Graham (2006)

**5.5 CMT Functional Outcome Measure (CMT-FOM)**

En raison des défauts présents dans les échelles utilisées à ce jour, comme notamment l'effet plancher observé dans les sous-scores du CMTS, la mesure de manière valide et adaptée des capacités fonctionnelles chez l'adulte atteint de la maladie CMT apparaît toujours nécessaire.

Le *CMT Functional Outcome Measure* (CMT-FOM) est ainsi élaboré et évalué afin d'apporter un instrument de mesure adapté à la population CMT1A (Eichinger et al., 2018).

Modelé selon la CMT Pediatric Scale, le CMT-FOM s'est vu ajouter certains items reflétant plus les limitations fonctionnelles chez l'adulte, comme la montée d'escaliers, la course sur une distance de 10 mètres... Cette évaluation basée sur la performance amène à un score pouvant aller de 0 à 52.

Des études longitudinales portant sur les propriétés psychométriques du CMT-FOM et sa réactivité au changement sont nécessaires avant son application dans les essais thérapeutiques. En outre il est indispensable de vérifier sa fiabilité dans d'autres types de CMT de gravité différente.

### **5.6 CMT Health Index (CMTIH)**

Le *CMT Health Index* (CMTIH) est un outil évaluant le retentissement de la maladie sur la vie quotidienne des patients atteints de CMT (N. E. Johnson et al., 2018). Créé à partir des réponses à un questionnaire posé aux patients, cet index regroupe 18 thèmes illustrant ce retentissement (faiblesse du pied et de la cheville, détérioration de l'équilibre, limitations des activités, douleur, détérioration du sommeil...), qui est étroitement lié avec la durée de la maladie et la capacité de travail déclarée. Conçu afin de pouvoir être utilisable dans les essais cliniques, cet instrument est fiable et permet de faire la distinction entre différents niveaux de retentissement. Néanmoins une étude longitudinale est encore nécessaire pour définir sa sensibilité avant utilisation.

## **6 Thérapeutiques des déformations du pied chez CMT**

Actuellement, aucun traitement ne permet d'arrêter la progression de la maladie CMT. Dans ce contexte, les thérapeutiques visent à freiner l'évolution des symptômes, notamment les déformations des pieds, et il est nécessaire d'adapter différents types et niveaux de prise en charge selon l'évolution (Beals & Nickisch, 2008; Reilly et al., 2011). Les traitements conservateurs se retrouvent actuellement en première ligne. Ils comprennent la physiothérapie, l'appareillage, et l'administration médicamenteuse permettant la gestion des douleurs neurologiques.

La prise en charge efficiente des déformations du pied représente un enjeu réel, étant donné leur influence sur l'équilibre postural et sur l'équilibre dynamique qu'est la marche, ainsi que leur profonde participation aux douleurs des membres inférieurs chez CMT.

Les déformations peuvent orienter vers une prise en charge chirurgicale après échec de la prise en charge par orthèse/rééducation.

## 6.1 Prise en charge chirurgicale

En cas d'échec des traitements conservateurs, les déformations majeures du pied CMT peuvent relever de l'acte chirurgical. Les approches actuelles de prise en charge semblent varier au niveau national et international et des recherches complémentaires semblent nécessaires afin d'instaurer de véritables guidelines de prise en charge (Laurá et al., 2018). La chirurgie orthopédique vise principalement à corriger ces déformations osseuses tout en limitant le déséquilibre musculaire et à obtenir un pied plantigrade. On estime que la prévalence de patients CMT opérés du pied serait de 29% (Laurá et al., 2018).

Dans le contexte des déformations en *pes cavus* et *pes cavovarus*, les différents types d'interventions peuvent être réalisés de manière isolée ou bien combinée, souvent en association avec une prise en charge rééducationnelle afin de tenter d'obtenir un résultat optimal. On distingue comme grandes catégories les interventions osseuses et les interventions sur les tissus mous.

Les interventions sur les tissus osseux correspondent aux différentes arthrodèses et ostéotomies. Les arthrodèses peuvent être relatives à la cheville, à l'arrière-pied, au médio-pied, à l'articulation interphalangienne d'hallux, et peuvent concerner plusieurs articulations à la fois comme dans la réalisation d'une triple arthrodèse lors de déformations graves (Beals & Nickisch, 2008; Mann & Hsu, 1992). Les ostéotomies épargnent quant à elles les articulations et permettent de limiter l'arthrose des articulations adjacentes. Elles sont fréquemment calcanéennes, métatarsiennes, ou médio-tarsiennes et l'indication dépendra souvent de la réductibilité des déformations (Beals & Nickisch, 2008; Faldini et al., 2015; Leeuwesteijn et al., 2010; Lin et al., 2019).

Les interventions sur les tissus mous comprennent diverses procédures comme la libération du fascia plantaire, les transferts tendineux (tibial postérieur (TP), long extenseur de l'hallux (LEH), long fibulaire (LF)), l'allongement tendineux (triceps sural, long fléchisseur des orteils (LFO)), ceux-ci étant habituellement réalisés pour les déformations légères et corrigibles (Beals & Nickisch, 2008; Dreher et al., 2014; Laurá et al., 2018).

La majorité des chirurgies correspond à des transferts tendineux. Ces interventions sont fréquemment réalisées dans les cas de *pes varus* (29%) et de déformations en griffes d'orteils (36%) et interviennent régulièrement sur des patients très jeunes (moyenne d'âge de 15 ans) (Laurá et al., 2018).

Un algorithme de décision chirurgical a récemment été suggéré (Louwerens, 2018). Il fait référence à la place des interventions d'ostéotomie de dorsiflexion de la base du premier métatarse, d'ostéotomie de dorsiflexion de la base des métatarsiens latéraux, de la correction de l'hallux en griffe incluant la fusion osseuse de la première articulation interphalangienne de la correction des *claw toes*, du transfert des tendons du muscle long extenseur des orteils (LEO) sur les tendons fibulaires et du transfert du muscle tibia postérieur (TP) sur les tendons des muscles fléchisseurs de cheville (Louwerens, 2018).

Au final, l'élaboration d'un programme d'intervention chirurgicale doit être personnalisé et reposer sur des techniques de correction osseuse permettant de contribuer à l'équilibre architectural du pied, puis sur des interventions au niveau des parties molles afin de maintenir un contrôle fonctionnel (Beals & Nickisch, 2008).

## **6.2 Rééducation par kinésithérapie**

La rééducation kinésithérapique semble jouer un rôle majeur dans la prise en charge des patients atteints de la maladie CMT. L'objectif est de maintenir les amplitudes articulaires, une bonne qualité de l'équilibre, un périmètre de déplacement efficace et de retarder les complications ostéo-articulaires (Corrado et al., 2016; Sautreuil et al., 2017).

Cette prise en charge permet de contribuer à une augmentation de la force musculaire des fléchisseurs de hanche, du quadriceps fémoral et des loges musculaires de jambes, à une amélioration du temps d'exécution des activités de la vie quotidienne et donc de la condition physique générale. Le renforcement musculaire proximal permet notamment de compenser la faiblesse des muscles plus distaux. (Corrado et al., 2016; Kenis-Coskun & Matthews, 2016).

L'entretien par étirements musculaires semble quelque peu efficace pour maintenir l'amplitude articulaire, alors que la rééducation par attelles nocturnes ne semble quant à elle apporter aucun bénéfice relatif à l'amplitude articulaire de cheville en dorsiflexion et à la force musculaire (Kenis-Coskun & Matthews, 2016; Refshauge et al., 2006).

Malgré de nombreuses études montrant des changements dans la force et la fonction des membres après la mise en place d'exercices de rééducation, les conclusions doivent être considérées avec une grande prudence en raison de la qualité modérée des preuves apportées. Il demeure actuellement une incertitude absolue concernant les méthodes, les temporalités d'exercices, et les objectifs atteignables pour les patients CMT (Corrado et al., 2016; Sman et al., 2015).



### 6.3 Les orthèses suro-pédieuses

Les orthèses suro-pédieuses, ou *Ankle-Foot Orthoses* (AFOs) sont couramment prescrites et utilisées pour les patients avec déficit musculaire en dorsiflexion de cheville.

Ces orthèses peuvent être élastiques (orthèses type « liberté »), plastiques (orthèses supramalléolaires, orthèses à lame postérieure, orthèses articulées, orthèses articulées avec butée anti-équin (ou anti-flexion plantaire de cheville), orthèses en spirale ou hémi-spirales, orthèses fixes rigides (ou solides), orthèses à effet sol), ou bien en fibres de carbone (Alexander & Matthews, 2009; Edelstein & Bruckner, 2002; Lusardi et al., 2013; J. J. McCarthy & Drennan, 2010; Menotti et al., 2014; Seymour, 2002; Sheehan & Figgins, 2017; Walbran et al., 2016).

Le but est souvent de limiter le pied tombant en phase oscillante, et par conséquent le risque de trébuchements et de chutes augmentées par la fatigue musculaire, mais aussi de compenser une propulsion insuffisante lors de la phase d'appui (Guillebaste et al., 2011; Zuccarino et al., 2021). Les AFOs sont constituées d'une lame sous le pied agissant comme un insert dans la chaussure permettant le soutien du pied, et d'une structure montante dont la hauteur déterminera le bras de levier de l'orthèse pour lutter contre les déficits de fléchisseurs et d'extenseurs de cheville. Leurs lignes de coupes anté ou rétro-malléolaires conditionnent la stabilité dans les plans frontal et sagittal (Scheffers et al., 2012).

Les AFOs sont fréquemment associées aux orthèses plantaires en cas de déformations orthopédiques, alors placées entre le pied et la face supérieure du segment pédieux de l'AFO. En outre, en raison du faible volume intérieur de certaines chaussures ordinaires, il peut être judicieux d'y associer la prescription de chaussures orthopédiques sur mesure, bien que cela ne soit pas nécessairement systématique (Guillebaste et al., 2011; Vinci & Gargiulo, 2008).

L'optimisation de la prescription des AFOs représente un enjeu au niveau de la performance physiologique. Ce type d'appareillage permet d'améliorer chez les patients CMT l'effort perçu à des niveaux d'activité submaximaux et de réduire le coût énergétique de la marche, reflétant ainsi une meilleure efficacité mécanique (Bean et al., 2001; Menotti et al., 2014).

Largement prescrites dans le contexte de maladies neurologiques dégénératives comme CMT, il n'existe cependant à ce jour que peu de recommandations permettant de guider la prescription des AFOs, tant sur la temporalité que sur la typologie la plus adaptée, leurs conséquences fonctionnelles demeurant discutées. Les patients CMT bénéficiant d'AFOs semblent être

atteints plus gravement de la maladie, avec une faiblesse importante des muscles des jambes, une vitesse de marche maximale plus lente, un coût énergétique de marche plus élevé et une capacité de marche perçue plus faible (Ramdharry, Pollard, et al., 2012).

D'un point de vue mécanique, les modèles en plastique semblent être efficaces pour les patients présentant un déficit musculaire important, car elles limitent les mouvements de flexion plantaire et dorsal de cheville, et la force correctrice de l'AFO assiste les muscles extenseurs de cheville en phase d'appui ; les AFOs élastiques ne limitant que le mouvement de flexion plantaire en phase oscillante paraissent plus indiquées pour les patients CMT ayant une force musculaire bien préservée en flexion plantaire de cheville (Guillebaste et al., 2011). Lors de la marche, ces orthèses permettent notamment d'augmenter la vitesse, la cadence et la longueur de foulée tout en diminuant significativement le temps de double appui, et permettent une meilleure clairance comparées au port de chaussures seules limitant ainsi le risque de chutes (Dufek et al., 2014; Ramdharry, Day, et al., 2012). Au niveau articulaire, elles apportent une rigidification de l'articulation talo-crurale, favorisant la dorsiflexion en phase oscillante, et contribuent à supprimer la nécessité d'une action compensatoire proximale au niveau de la hanche (Ramdharry, Day, et al., 2012).

Lorsque le pied tombant est accompagné d'une flexion excessive du genou pendant la phase d'appui, une AFO rigide à coque ventrale pourrait être recommandée pour réduire le degré de flexion du genou et limiter l'activité compensatoire des muscles extenseurs de genou ((Nonnekes et al., 2021).

Bien que ces avantages fonctionnels soient mis en évidence, le port d'AFOs ne semble pas répondre aux attentes des patients atteints de la maladie CMT, mettant ainsi en exergue que la performance biomécanique n'est pas forcément synonyme d'une entière satisfaction. Sur une faible cohorte, seuls 20% des patients CMT bénéficient de releveurs du pied, et 60% d'entre eux détestent leur appareillage (Vinci & Gargiulo, 2008). Les usagers d'AFOs sont conscients des avantages en lien avec la mobilité articulaire lors de la marche, la prévention des blessures, la diminution de certaines douleurs, mais ils manifestent également des inconvénients liés à l'aspect inesthétique, l'inconfort dû à une non-adaptation de l'orthèse, l'apparition de plaies et/ou de douleurs, la restriction de mouvements et la limitation des options de chaussage (Phillips et al., 2011; Zuccarino et al., 2021).

Selon l'étude de Vinci présentant une cohorte de 25 patients, 11 d'entre eux ont déjà bénéficié du port d'appareillage, soit 44,0% de l'échantillon. Parmi eux, 45,5% ont conservé le port du

releveur et 55,5% l'ont abandonné, en raison de douleurs ou de la non-acceptation du port d'AFOs (Vinci & Gargiulo, 2008). Au final, seulement 50,0% des patients seraient pleinement satisfaits des AFOs, 63,0% ayant pu participer à la prise de décision avec les praticiens concernant leur appareillage.

Outre les inconvénients perçus par les patients, les autres sources d'insatisfaction et par conséquent d'abandon de l'appareillage pourraient concerner le coût de celui-ci, le manque d'information fournie sur les différents appareillages existants, et la qualité de la coordination du parcours de soin. Les insatisfactions ne semblent pas liées au service clinique délivré par les praticiens, 80,0% des patients déclarant avoir reçu les soins en temps opportun avec la possibilité d'exprimer leurs préoccupations (Zuccarino et al., 2021).

En résumé, l'observance des AFOs chez les patients CMT est faible. Celles-ci apportent plus de bénéfices chez les patients CMT faisant preuve d'une importante faiblesse musculaire au niveau de la cheville. L'adaptation doit se faire selon des considérations techniques, où des progrès doivent être encore réalisés, notamment au niveau de l'esthétisme, du confort apporté en limitant les zones de pressions et de friction entre la peau et les matériaux, et de l'efficacité de la gestion du pied tombant (Vinci et al., 2010; Zuccarino et al., 2021). L'optimisation du choix de modèle d'AFO est étroitement liée au testing musculaire. Afin d'améliorer la compliance des patients CMT lors de la prescription de releveurs du pied, il semble nécessaire de centrer le parcours de soin autour du patient en les impliquant dans le processus de décision, de consacrer un temps nécessaire à la compréhension de ces attentes, et que l'appareillage soit réalisé sur mesure.

#### **6.4 Les chaussures orthopédiques**

Les chaussures orthopédiques (ou chaussures thérapeutiques sur mesure) sont habituellement prescrites aux patients CMT en raison des déformations orthopédiques des pieds (Guillebaste et al., 2011). Les objectifs de cet appareillage sont de limiter l'évolution des déformations d'empêcher le pied tombant, d'améliorer la stabilité à la marche dans les plans frontal et sagittal, de minimiser les douleurs liées au frottement et zones d'hyperpressions liées au chaussage, de compenser l'équin, d'alléger le chaussage, et par conséquent de participer à la prévention des chutes (Guzian et al., 2006; Sautreuil et al., 2016).

La réalisation de chaussures orthopédiques sur mesure peut comprendre une étape de prise d'empreintes sur moulage, éventuellement avec étape numérique, un travail sur forme, un

façonnage des semelles, et un essai d'une ébauche réalisée en matériau plastique transparent (Sautreuil et al., 2016). Les étapes de patronage et de montage permettront de finaliser la chaussure.

Une étude de cas a montré de bons résultats lors du port de chaussures orthopédiques durant un mois, relatifs à une disparition des douleurs de conflits et des chutes fréquentes, tout en améliorant significativement l'équilibre de la marche et en augmentant vitesse, cadence de marche, et longueur de pas. Des résultats similaires semblent observables sur une durée de dix ans (Bensoussan et al., 2016; Guzian et al., 2006). Les chaussures orthopédiques ont pour but de maintenir l'arrière-pied en position neutre en offrant notamment un espace accueillant le premier métatarsien rigide qui s'abaisse, de compenser l'équin par la mise en place d'une talonnette, et d'assurer la stabilité de l'arrière-pied en charge avec l'aide d'un élément orthétique de stabilisation de cheville médio-latéral avec évasement latéral (Nonnekes et al., 2021).

Le choix de prescription de l'appareillage ainsi que sa temporalité semblent étroitement liés au praticien prescripteur et à l'évolution de la maladie.

Comme mentionné précédemment, les AFOs peuvent apporter des avantages fonctionnels pour les patients CMT. Bien que ces orthèses puissent être portées dans des chaussures de série, elles ne semblent pas tenir compte des déformations des pieds et peuvent provoquer des conflits par manque de volume chaussant. En outre, les releveurs du pied ne prennent pas en compte l'équin fixé du pied, et ne semblent pas contribuer à la stabilité dans le plan frontal. Ceci peut donc laisser penser que l'adaptation de chaussures orthopédiques est la première stratégie à mettre en place en cas de troubles de la marche chez les patients CMT (Guzian et al., 2006).

Cependant, la prise en charge la plus optimale pourrait suivre cet ordre :

- association d'orthèses plantaires et de chaussures de séries du commerce au début de la maladie ;
- chaussures thérapeutiques à usage temporaire permettant un volume plus adapté aux orthèses plantaires ;
- chaussures orthopédiques avec orthèses plantaires, lorsque celles-ci portées dans des chaussures de série deviennent insuffisantes.

Les releveurs du pied, qu'ils appartiennent au domaine du petit ou du grand appareillage, représenteraient une solution en cas d'échec des appareillages précédents (Sautreuil et al., 2016). Dans tous les cas, la combinaison d'évaluations cliniques et instrumentales de la marche

doit être réalisée lors de l'évaluation de l'appareillage chez les patients CMT (Guzian et al., 2006).

## 6.5 Les orthèses plantaires

Les orthèses plantaires sont largement prescrites dans le cadre des pieds à typologie *cavus*, notamment au sein de la population CMT. Elles pourraient représenter comme mentionné précédemment la première étape lors de la prise en charge par appareillage, pouvant être disposées dans un premier temps dans des chaussures de série ordinaires puis dans des chaussures orthopédiques sur mesure. Leur but est principalement le traitement des douleurs de pieds par redistribution des pressions et la compensation des déformations comme l'équin ou le varus d'arrière-pied (Burns et al., 2006; Sautreuil et al., 2016). Cependant, les preuves de leur efficacité sont fortement limitées, les directives de fabrications sont disparates et les recommandations en la matière sont hétérogènes.

Un essai randomisé comparant l'effet d'orthèses plantaires réalisées sur mesure par conception assistée par ordinateur (coque flexible moulée en fonction des données morphologiques, avec recouvrement amortissant) sur 153 patients à *pes cavus* (dont 16 patients CMT) a mis en évidence un effet antalgique, une amélioration de la qualité de vie, ainsi qu'une réduction des pressions plantaires au niveau de l'avant-pied et de l'arrière-pied (Burns et al., 2006). L'observance des orthèses plantaires étant importante (80%), il a pu être conclu que le traitement des douleurs de *pes cavus* peut correspondre à une diminution des seuils de pressions plantaires, cet effet étant plus efficacement obtenu lors de la réalisation d'orthèses sur mesure. Reposant sur le paradigme de l'orthèse sensorimotrice et donc la modification des entrées sensorielles au niveau de la voûte plantaire, une étude a mis en avant une modification de la cinématique articulaire du médio-pied et de la cheville lors de la marche, avec augmentation de l'éversion et de la flexion plantaire du médio-pied et de l'éversion de cheville. Ces résultats semblent toutefois suggérer que ces modifications sont obtenues par effet mécanique primaire et non spécifiquement par mécanisme d'adaptation sensorimotrice (Wegener et al., 2016).

Dans le cadre de déformations orthopédiques réductibles, les orthèses plantaires avec surélévation de la partie latérale de l'avant-pied permettant de maintenir l'arrière-pied en position neutre sont recommandées (Beals & Nickisch, 2008).

Nous pouvons observer que l'approche collaborative interdisciplinaire semble nécessaire lors de la prise en charge des déformations et des douleurs du pied chez les patients atteints de la

maladie CMT, notamment dans le domaine de l'appareillage. Il semble indispensable de chercher à analyser quels sont les appareillages les plus adaptés afin d'augmenter l'utilisation vis-à-vis de ce traitement conservateur. Des études portant sur l'interaction entre les caractéristiques du patient, la prise en charge médicale, paramédicale et la satisfaction du patient semblent nécessaires.

## **7 Conclusion sur la maladie de CMT**

Les outils d'évaluation spécifiques à la population CMT se concentrent sur la limitation des fonctions motrices sans se focaliser sur la partie anatomique du pied. L'évaluation longitudinale de la morphologie du pied permet d'apprécier l'évolution des déformations liées à la maladie, ainsi que l'impact d'une prise en charge, qu'elle soit rééducationnelle ou invasive. Seule l'utilisation du FPI-6 est cliniquement pertinente au sein de cette population neuro-orthopédique (Rambelli et al., 2022).

L'appareillage occupe une place importante dans la prise en charge des individus atteints de la maladie CMT, considérant qu'il n'existe pas de traitements permettant d'arrêter la progression de la maladie. Les études relatives à l'usage d'orthèses plantaires et de chaussures orthopédiques sont rares. Peu de guidelines de prise en charge semblent décrites. Une évaluation des pratiques en France semble nécessaire afin de pouvoir conduire à de nouvelles recommandations de traitement.

Un chapitre relatif à l'épistémologie de la profession a été rédigé pour répondre à une demande de l'ARS Île-De-France, qui a contribué au financement de mes travaux de recherche dans le but de faire émerger le statut d'enseignant-chercheur biappartenant pour les professionnels paramédicaux. Ce chapitre se trouve en annexe (Annexe A).

# Chapitre 5 :

## Modèle théorique

---

### 1 Modèle logique théorique

Dans un contexte de nécessité d'évaluation de l'efficacité des programmes de réadaptation qui peuvent s'avérer complexes, la compréhension du programme et de ses composantes est primordiale. Différents modèles de l'évaluation ont émergé, dans le but de documenter ces prises en charge.

Ainsi, le modèle logique théorique a été proposé (Brousselle, 2011). Il correspond à une schématisation du contexte dans lequel sont implantés le programme, le problème ciblé par ce dernier, ses composantes, ainsi que les effets escomptés (Brousselle, 2011; Poncet et al., 2017) (Figure 46). Ce modèle construit le cheminement causal présumé entre le problème ciblé, le modèle opérationnel (les composantes du programme), et les effets visés par un programme de prise en charge. L'analyse du cheminement causal est favorisée.

Le modèle causal correspond au problème à corriger et ses causes. Il définit la somme des problèmes rencontrés et permet de choisir le problème qui sera visé par un programme (Brousselle, 2011; Poncet et al., 2017).

Le modèle opérationnel établit le lien entre les structures et les processus, et cela jusqu'aux premiers résultats, donc jusqu'aux premiers changements opérés. Il représente plus précisément les ressources nécessaires et les processus mis en œuvre par un programme pour atteindre les objectifs visés (Brousselle, 2011; Poncet et al., 2017).

Le modèle logique théorique représente alors le cheminement logique entre les causes immédiates et les causes lointaines visées par un programme. Il s'agit de faire une analyse théorique du cheminement entre le modèle causal, le modèle opérationnel et les effets attendus par le programme.

Cette modélisation participe à la prise de décision sur le bien-fondé du programme.

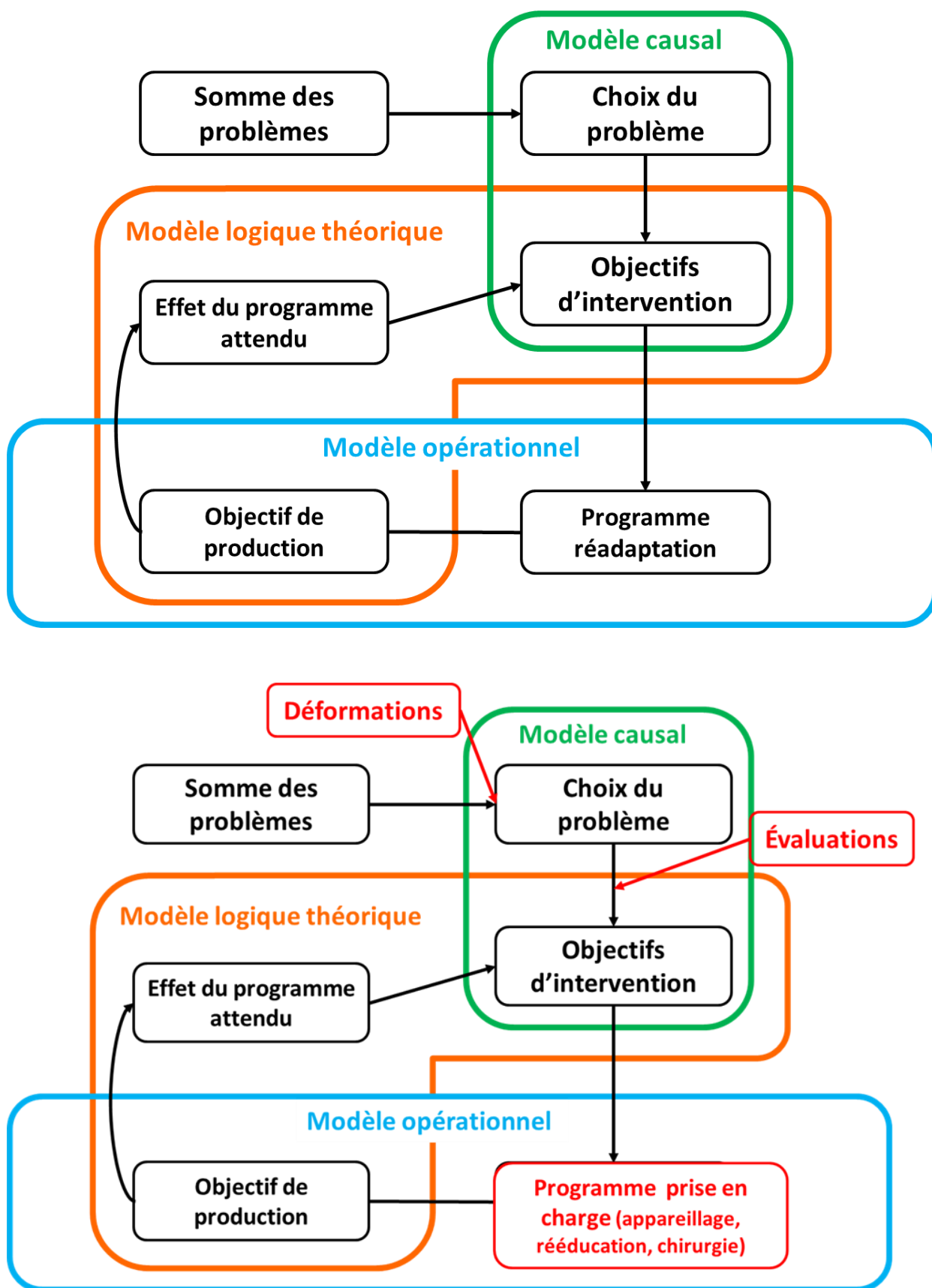


Figure 46. Modèle logique théorique du programme de réadaptation, d'après Brouselle (2011) et Poncet (2017), et son adaptation.



## **2 Utilisation du modèle logique théorique**

Dans le contexte de ces travaux, la notion de programme de réadaptation tend à être élargie à celle de programme de prise en charge, pouvant inclure la rééducation par appareillages, la rééducation par kinésithérapie, ou encore le traitement par chirurgie.

Les déformations des pieds, qui sont à la source des travaux suivants, peuvent être assimilées comme composante majeure du modèle causal.

Ainsi, les évaluations des déformations interviennent, selon le modèle logique théorique, au sein du modèle causal, avant la décision d'objectifs d'interventions.

## **Chapitre 6 :**

### **Problématique et objectifs**

---

Les étiologies des déformations des pieds sont multiples. L'apparition de ces déformations demeure fortement dépendante de l'anatomie structurelle originelle et peut être déclenchée par la présence de pathologies neuromusculaires, rendant ainsi la compréhension de la physiopathologie plus complexe. Des évaluations précises des déformations sont nécessaires pour orienter la prise de décision vers le traitement le plus approprié, ou bien au contraire surseoir à toute prise en charge.

L'appareillage et la chirurgie du pied sont des solutions communément employées dans la prise en charge des douleurs, des troubles de la marche et des déformations des pieds dans le contexte de pathologies neurodégénératives telles que la maladie CMT, ou de pathologies orthopédiques plus courantes comme l'hallux valgus. La décision thérapeutique repose sur l'ensemble des évaluations faites au préalable.

L'imagerie contribue à la classification de la déformation, mais son rôle dans la prise de décision chirurgicale est débattu. Les résultats chirurgicaux ne peuvent être réduits au seul constat radiographique, car les résultats subjectifs, fonctionnels et objectifs ne sont pas liés. De plus, les mesures sur imagerie ne correspondent pas à la fonction du pied et doivent ainsi toujours être comparées aux données cliniques.

Les mesures cliniques permettant d'apprécier les déformations du pied sont souvent limitées par leur subjectivité, leur manque de pertinence, leur focus uniplanaire, et leur faible niveau de fiabilité. L'outil d'évaluation morphologique le plus pertinent pour l'analyse des déformations neurologiques et de leur impact sur la fonction du pied est le FPI-6. L'utilisation de cet outil en France est limitée par sa non-adaptation transculturelle, avec l'existence de différences entre les définitions des termes anatomiques français et anglais.

Par ailleurs, l'analyse du motif de consultation conditionne la prise en charge. Le système actuel ne permet pas une évaluation précise du motif de consultation et des attentes du patient vis-à-vis de sa prise en charge, pouvant conduire à des raccourcis d'interprétations et de traitements. Aucune évaluation ne fournit d'informations sur l'objectif fonctionnel du patient pour la chirurgie envisagée en orthopédie, et les outils cliniques mis à disposition pour l'évaluation des déformations ne semblent pas relever de consensus, tout en étant inadaptés à la pratique française.

L'appareillage, dont la prescription et la conception reposent sur l'ensemble des évaluations, occupe une place majeure dans la prise en charge des patients en neuro-orthopédie notamment dans le contexte de la maladie CMT. Cependant, les lignes directrices fondées sur *Evidence-Based Practice* (médecine factuelle) sont manquantes, en particulier pour les orthèses plantaires.

Finalement, l'approche globale pour prise de décision thérapeutique est loin d'être systématiquement interdisciplinaire et partagée avec des patients, et dépend de professionnels de santé dont les formations sont très distinctes. Ceci contribue à complexifier la définition d'objectifs communs entre praticiens et patients.

Les mesures cliniques, les mesures instrumentées et les évaluations des objectifs, ne peuvent être réalisées de manière isolée, au risque de pas conduire à une prise en charge optimale.

Une problématique émane autour des pratiques d'évaluations qui se doivent multimodales pour prétendre à une prise en charge réaliste avec le patient.

L'objectif de cette thèse est de questionner sur la prise en charge orthopédique et neuro-orthopédique des patients, en intégrant un modèle logique théorique orienté sur l'évaluation. L'objectif est donc de proposer une évaluation optimale pour atteindre une prise en charge optimale, en participant à la prévention des insatisfactions possibles issues des thérapeutiques proposées, qu'elles soient orthétiques ou bien chirurgicales, en proposant de nouvelles modalités d'analyse des objectifs et attentes des patients, en qualifiant les parcours de soins des patients en neuro-orthopédie conduisant à l'appareillage, et en proposant ainsi des outils de standardisation des pratiques d'évaluations en orthopédie et neuro-orthopédie. Cet objectif repose sur trois études d'analyse des déformations de manière standardisée, d'analyse du parcours patient, et d'analyse des objectifs des patients.

La première étude présentée relative au développement d'un questionnaire préopératoire pour améliorer la satisfaction de la chirurgie de l'hallux valgus se positionne dans le modèle logique théorique au sein du modèle causal, avant la décision des objectifs d'intervention.

La deuxième étude présentée correspondant à la relation entre les caractéristiques du parcours de soins et l'utilisation ou la non-utilisation d'appareillages par des individus atteints de la maladie CMT, se positionne dans le modèle logique théorique au sein du modèle opérationnel, avant l'application du programme de prise en charge, et lors de l'évaluation des effets du programme attendus.

La troisième étude présentée relative à l'adaptation transculturelle et la fiabilité du FPI-6 se positionne dans le modèle logique théorique au sein du modèle causal, avant la décision des objectifs d'intervention, ainsi qu'au sein du modèle opérationnel lors de l'évaluation des effets du programme attendus.

# **Étude 1 : Développement d'un questionnaire préopératoire pour améliorer la satisfaction de la chirurgie de l'hallux valgus : une méthode DELPHI**

---

Cette étude a été publiée (Annexe B) : Blouin C, Genet F, Denormandie P, Graff W, Perrier A (2022) Development of a preoperative questionnaire to improve satisfaction with hallux valgus repair: A Delphi study. PLoS ONE 17(10): e0276303. DOI.org/10.1371/journal.pone.0276303

## **1 Introduction**

Dans le but de créer un langage commun entre professions médicales, chirurgicales, et auxiliaires médicaux, il semble pertinent de s'intéresser à la pathologie du pied la plus courante qu'est l'hallux valgus. Lorsque l'on s'intéresse aux pathologies déformantes, il est essentiel d'intégrer la prise en compte du motif de consultation. Le développement et la validation d'un nouvel outil semblent pertinents dans l'analyse préchirurgicale du motif de consultation et des attentes autour de la chirurgie, dont l'avantage serait de ne pas augmenter de manière considérable le temps de consultation attribué au chirurgien, qui doit se concentrer sur le diagnostic. Ceci pourrait être réalisé dans le but de répondre clairement aux attentes fonctionnelles du patient avec mise en adéquation avec des objectifs SMART.

Le questionnaire permettrait l'évaluation des attentes réelles du patient autour de son motif de consultation lors de la consultation chirurgicale. Cet outil novateur permettrait de créer le lien manquant entre l'aspect fonctionnel, l'aspect technique, le degré de satisfaction du patient, et le bon scoring issu de ce nouvel outil.

## **2 Contexte scientifique**

La littérature démontre que le seul traitement efficace de l'hallux valgus est la chirurgie (Ferrari-Portafaix & Perrier, 2020; Laffenêtre et al., 2010; Mortka & Lisiński, 2015).

Cette déformation est couramment analysée de manière descriptive. L'examen clinique repose sur une analyse de la morpho-statique et morpho-dynamique des membres inférieurs, pouvant s'appuyer sur la baropodométrie. La décision thérapeutique nécessite l'apport d'imagerie

médicale permettant notamment la classification de la déformation. Aucune évaluation ne fournit d'informations sur l'objectif fonctionnel du patient pour la chirurgie envisagée.

La satisfaction postopératoire dépend de l'adéquation entre le résultat obtenu et les attentes préopératoires de l'individu (Hamilton et al., 2013; Lim et al., 2015). Cependant, des études ont montré qu'il n'existe pas de corrélation entre la satisfaction subjective et la réduction de la déformation après chirurgie de l'hallux valgus (Baca et al., 2019; Matthews et al., 2018; D. Thordarson et al., 2005) : les critères d'un bon résultat diffèrent entre le chirurgien et l'individu (Baumhauer et al., 2013). Malgré une réduction adéquate de la déformation après la chirurgie (Kitaoka et al., 1994; D. Thordarson et al., 2005), l'insatisfaction vis-à-vis du résultat est fréquente (Barg et al., 2018; Lim et al., 2015). Nous pensons que cela est dû au fait que la consultation préopératoire est généralement axée sur la douleur, et que les besoins et les attentes de l'individu ne sont pas entièrement exprimés et/ou ne sont pas entièrement étudiés par le chirurgien. Il a été rapporté que les cliniciens n'interrogent les individus sur leur motivation pour la chirurgie et leurs attentes post-chirurgicales que dans 36% des cas (Singh Ospina et al., 2019). Lorsque les cliniciens s'intéressent bien à ces questions, ils interrompent la réponse du patient dans 70% des cas après un délai moyen de 11 secondes (Singh Ospina et al., 2019). Ce court laps de temps pourrait expliquer pourquoi l'ensemble des motifs de consultation de l'individu ne sont pas identifiés. La personne peut supposer que l'intervention chirurgicale répondra à toutes ses attentes et lui permettra de revenir à son état antérieur à la déformation en hallux valgus, mais cela n'est pas possible puisque la chirurgie ne peut que réduire la déformation.

La définition d'objectifs chirurgicaux améliore la qualité des soins (Schut & Stam, 1994). La fixation d'objectifs selon les critères SMART (spécifiques, mesurables, acceptables, réalistes et limités dans le temps) (Krasny-Pacini et al., 2013) facilite l'atteinte d'attentes réalistes, mais ceci n'est pas facile lors d'une courte consultation chirurgicale.

Plus de 139 questionnaires d'autoévaluation relatifs à la cheville et au pied ont été publiés (Hunt & Hurwit, 2013; Schrier et al., 2015), mais aucun ne permet une évaluation complète, précise et pertinente du pied et de la cheville qui pourrait faciliter la fixation d'objectifs. De plus, ils ne couvrent pas les 4 principales attentes des individus pour la chirurgie de l'hallux valgus qui ont été rapportées dans la littérature : la douleur, le chaussage, les activités physiques et l'esthétique (Piclet-Legré et al., 2017; Tai et al., 2008; Wilkinson & Maher, 2011). Il est donc nécessaire de disposer d'un outil spécifique que le chirurgien puisse utiliser pour déterminer les motivations et les attentes des individus vis-à-vis de la chirurgie de l'hallux valgus.

### **3 Objectifs et hypothèses**

L'objectif de cette étude était de développer un questionnaire qui engloberait les principales attentes des individus relatives à la chirurgie de l'hallux valgus. Notre hypothèse est que les différents items de ce questionnaire pourraient influencer la satisfaction des résultats postopératoires.

## **4 Méthode**

### **4.1 Design**

Nous avons utilisé une approche inversée pour développer un questionnaire relatif aux attentes à partir des motifs d'insatisfaction de la chirurgie de l'hallux valgus : les motifs d'insatisfaction ont été recueillis à partir des dossiers médicaux pour le développement du questionnaire initial. Nous avons ensuite utilisé la méthode Delphi. Conçue en 1950 par Olaf Helmer à la Rand Corporation (Okoli & Pawlowski, 2004), la méthode Delphi a pour but de mettre en évidence des convergences d'opinions et de dégager certains consensus sur des sujets précis, souvent avec un caractère prospectif important, grâce à la consultation d'experts à travers un ensemble de questionnaires (Dalkey & Helmer, 1963). Le choix de ces experts doit tenir compte de leur connaissance du sujet visé, de leur légitimité par rapport au panel d'experts qu'ils pourraient représenter, de leur disponibilité durant le processus de l'enquête Delphi et de leur indépendance par rapport à des pressions commerciales, politiques ou autres. Elle est reconnue par l'HAS comme méthode de recommandations par consensus formalisé (Haute Autorité de Santé, 2010), et permet la synthèse des réponses libres à chaque question posée, recueillies auprès des professionnels de santé experts. Le consensus est établi au fur et à mesure des étapes du questionnaire puisque les participants doivent scorer leurs réponses par niveau d'accord et d'importance.

### **4.2 Examen des motifs d'insatisfaction de la chirurgie de l'hallux valgus**

En 2015, nous avons créé un système de consultations postopératoires spécifiquement destinées aux personnes insuffisamment satisfaites des résultats de la chirurgie de l'avant-pied. Toutes les consultations ont été menées par deux podologues qui n'étaient ni impliqués dans les

consultations préchirurgicales, ni dans les soins chirurgicaux. Les podologues ont enregistré les raisons subjectives et objectives de l'insatisfaction dans le dossier médical de l'individu. L'objectif de la consultation était de déterminer les solutions possibles pour améliorer la satisfaction. Ainsi, tous les motifs d'insatisfactions enregistrés dans les dossiers médicaux entre 2015 et 2021 ont été recueillis et rassemblés pour déterminer les motifs récurrents. Les motifs d'insatisfaction enregistrés par les podologues ont également été comparés avec les motifs de l'acte chirurgical enregistrés par le chirurgien. La liste des motifs récurrents a été soumise au comité de coordination qui a regroupé les motifs en quatre grands types d'attentes (douleur, chaussage, esthétique et activité physique), conformément aux données de la littérature (Hunt & Hurwit, 2013; Schrier et al., 2015; Tai et al., 2008; Wilkinson & Maher, 2011). À partir de ces données, le comité a ensuite rédigé 52 questions qui ont constitué le questionnaire initial (Annexe C).

### **4.3 Comité de coordination**

Le comité de coordination était composé de deux podologues de l'hôpital La Croix Saint-Simon, premier hôpital français de chirurgie orthopédique du pied, et de deux chirurgiens orthopédiques du système national de santé, experts en chirurgie du pied.

### **4.4 Panel d'experts**

Des experts francophones (de France, de Belgique et du Canada) ont été sélectionnés en passant au crible les listes de membres des sociétés savantes concernées : leurs curriculum vitae ont été vérifiés et ceux qui avaient au moins cinq ans d'expérience dans la prise en charge de l'hallux valgus et qui avaient publié ou communiqué sur le sujet ont été sollicités pour participer, conformément aux recommandations pour la réalisation des enquêtes Delphi (Maleki, 2009). Tous les experts ont fourni un consentement écrit pour leur participation et ont signé des formulaires de confidentialité.

Sur les 40 experts contactés, 34 au total ont accepté de participer : 27/34 (79,4%) étaient des hommes et 7/34 (20,6%) des femmes. Leurs professions étaient les suivantes : chirurgien orthopédique (27/34 ; 79,4%), rhumatologue (2/34 ; 5,9%), podologue (5/34 ; 14,7%). L'âge moyen était de 50,4 ans ( $\pm 9,6$ ), la durée moyenne d'exercice de 20,8 ans ( $\pm 10,6$ ) et la moyenne d'expérience dans la gestion des déformations du pied étaient de 20,3 ans ( $\pm 9,3$ ). Les domaines d'expertise des membres du panel sont présentés dans le tableau 3.



Les grades académiques des experts étaient le PhD (4/34 ; 11,8%) et le MSc (10/34 ; 29,4%). Les autres experts n'avaient pas de grade académique ou universitaire (20/34 ; 58,8%).

Au total, 4/34 (11,8%) n'avaient aucun diplôme universitaire (DU) annexe et 30/34 (88,2%) avaient au moins un DU supplémentaire au diplôme d'exercice (de 1 à 11 DU).

La plupart des experts étaient impliqués dans la recherche : 11/34 (32,4%) avaient publié entre 1 et 5 articles et 15/34 (44,1%) en avaient publié plus de 5 ; 30/34 avaient fait des présentations lors de conférences (88,2%). L'autoévaluation de leur connaissance de la chirurgie de l'hallux valgus était de 6,1 ( $\pm 0,8$ ) sur une échelle de Likert de 1 à 7.

La notion de patients-experts relatifs à une déformation du pied, tel l'hallux valgus, est délicate à établir. Il ne s'agit en aucun cas ici d'une pathologie chronique. Il a ainsi été décidé de ne pas inclure de patients dans le groupe d'experts pour la méthode Delphi.

Tableau 3. Activité professionnelle et domaines d'expertise des membres du panel d'experts

Activité professionnelle	n (%)
Hôpital	11 (32)
Structure privée	15 (44)
Mixte	8 (24)
Total	34 (100)
Type de service	n (%)
Chirurgie orthopédique et traumatologique	29 (85)
Rhumatologie	2 (6)
Podologie	2 (6)
Diabétologie	1 (3)
Total	34 (100)
Spécialité de la consultation	n (%)
Pied cheville	19 (56)
Genou hanche	8 (23)
Médecine du sport	1 (3)
Podologique	5 (15)
Pied diabétique	1 (3)
Total	34 (100)

#### 4.5 Procédure expérimentale

Développée en 1950 par Olaf Helmer à la Rand Corporation (Okoli & Pawlowski, 2004), la méthode Delphi a pour but de faire converger les opinions d'un groupe d'experts afin de créer un consensus sur des sujets spécifiques à travers des séries de questionnaires (Dalkey & Helmer, 1963). Cette méthode implique un processus de communication structuré avec un groupe défini

d'experts et est basée sur le principe d'échanges individuels et anonymes. L'objectif de la présente étude était d'identifier et d'affiner les éléments les plus pertinents pour notre outil (C. McCarthy et al., 2006).

Quatre séries de questionnaires ont été réalisées entre novembre 2021 et janvier 2022 (Figure 47). À chaque étape, le questionnaire a été soumis au panel d'experts via l'outil Drag'n Survey (compatible Règlement Général sur la Protection des Données). Il a été modifié entre chaque étape par le comité de coordination, en fonction des commentaires du panel d'experts. Aucune donnée personnelle n'a été collectée en ligne. Les critères de sélection des items validés par consensus sont présentés dans la Figure 48.

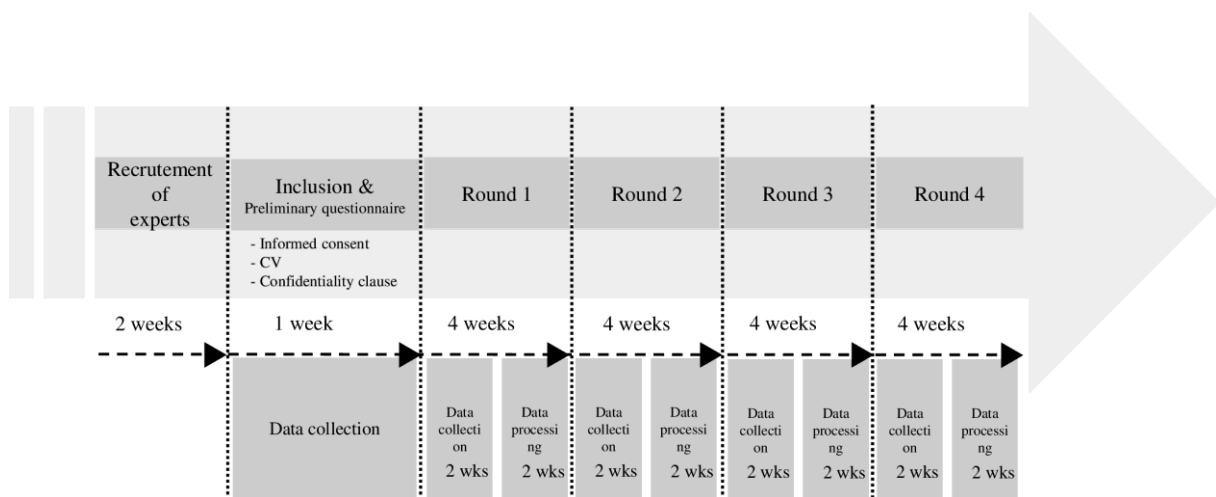


Figure 47. Calendrier d'étude pour la méthode DELPHI

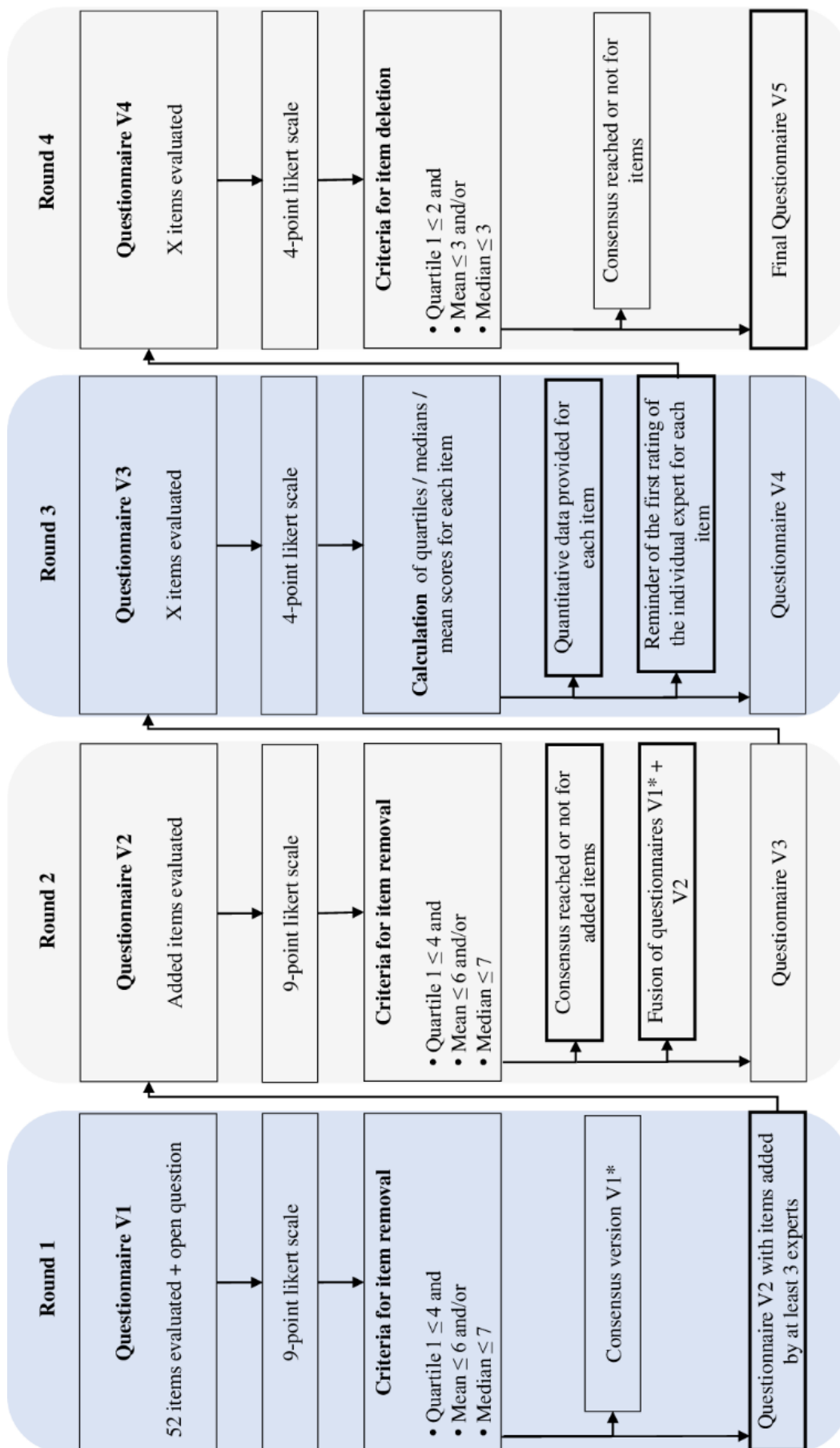


Figure 48. Critères de sélection des items de la méthode DELPHI

#### **4.5.1 Étape 1 de la méthode DELPHI**

Lors de la 1<sup>re</sup> étape, le questionnaire initial (V1) a été soumis au panel d'experts (Annexe C). Il leur a été demandé d'évaluer chaque item selon le degré d'importance de celui-ci, à l'aide d'une échelle de type Likert à 9 points (Likert, 1932) allant de "Pas du tout d'accord" (score = 1) à "Tout à fait d'accord" (score = 9). Une question ouverte posée à la fin du questionnaire demandait aux experts d'apporter des commentaires, d'ajouter des items qui leur semblaient manquants ou de reformuler des items s'ils le jugeaient nécessaire afin de s'assurer de la compréhensibilité de chaque question et des réponses possibles pour les individus amenés à les compléter.

Les items du questionnaire ont ensuite été sélectionnés en fonction des notations (Boulkedid et al., 2011). Un item a été supprimé si 25% des experts ont attribué un score  $\leq 4$  (score du 1<sup>er</sup> quartile) et si le score moyen était  $\leq 6$  et/ou le score médian était  $\leq 7$ . Les items retenus ont constitué le questionnaire V1\*.

Les items supplémentaires suggérés par les experts en réponse à la question ouverte ont été retenus s'ils étaient mentionnés par au moins trois experts (questionnaire V2) (Annexe D).

#### **4.5.2 Étape 2 de la méthode DELPHI**

La seconde étape a suivi le même processus que la précédente, mais n'a porté que sur les 3 items qui ont été ajoutés ou modifiés par le panel lors de la première étape (questionnaire V2).

Après validation par les experts, les items du questionnaire V2 ont été ajoutés au questionnaire V1\* pour créer le questionnaire V3.

#### **4.5.3 Étape 3 de la méthode DELPHI**

Lors de la troisième étape, les experts ont évalué le questionnaire V3 (Annexe E). Une échelle de type Likert à 4 points a été utilisée : 1 pour « Pas du tout d'accord », 2 pour « Pas d'accord », 3 pour « D'accord » et 4 pour « Tout à fait d'accord ». La raison de ce changement d'échelle était de forcer les experts à décider entre accord et désaccord pour chaque item. Les résultats de cette étape ont été utilisés pour créer le questionnaire V4.

#### **4.5.4 Étape 4 de la méthode DELPHI**

Lors de la quatrième étape, les experts ont reçu les paramètres statistiques de position (médiane, moyenne) et de dispersion (écart interquartile) des notations de l'ensemble du panel d'experts

pour chaque item de la version V3 ainsi que leur propre première notation de chaque item afin qu'ils puissent comparer leurs réponses avec celles du reste du panel. L'échelle de type Likert à 4 points a de nouveau été utilisée pour la notation de chaque item.

Les items qui n'ont pas fait l'objet d'un consensus ont été écartés, c'est-à-dire ceux dont le score avait un 1er quartile  $\leq 2$  (indiquant que 25% des experts n'étaient pas d'accord), et un score moyen  $\leq 3$  et/ou un score médian  $\leq 3$ .

Les items retenus ont constitué la version finale (V5) (Annexe F).

#### **4.6 Analyses statistiques**

La taille d'échantillon a été déterminée selon les recommandations internationales pour l'élaboration d'une méthode Delphi (entre 10 et 30 experts) (Maleki, 2009; Tétreault & Guillez, 2019).

Les variables continues et ordinales ont été décrites par leur position (moyenne, médiane) et leur dispersion (écart-type, écart interquartile) et les variables catégorielles par leur distribution.

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R version 4.1.0.

## **5 Résultats**

### **5.1 Raisons de l'insatisfaction des résultats de la chirurgie**

Parmi les 6080 individus ayant subi une chirurgie d'hallux valgus entre 2015 et 2021 au sein du service de chirurgie orthopédique de l'hôpital de La Croix Saint Simon à Paris, 853 (14,0%) ont consulté notre unité en raison d'une insatisfaction. La comparaison des raisons d'insatisfaction avec les motifs orientant vers la chirurgie a révélé que 100% des individus n'avaient pas pleinement exprimé leurs motifs lors de la consultation initiale.

Les attentes subjectives qui n'ont pas été pleinement exprimées lors de la consultation préchirurgicale et qui n'ont pas été résolues par la chirurgie concernaient les problèmes de chaussage (309/853 ; 36,2%), l'aspect esthétique (160/853 ; 18,8%), les limitations fonctionnelles (127/853 ; 14,9%) et la douleur du pied en dehors du premier rayon (257/853 ; 30,1%) (Tableau 4).

Tableau 4. Liste des principales attentes subjectives qui n'ont pas été pleinement exprimées lors de la consultation préchirurgicale et qui n'ont pas été résolues par la réparation de l'hallux valgus.

<b>Principales attentes subjectives non pleinement exprimées lors de la consultation préchirurgicale et non résolues par la chirurgie d'hallux valgus</b>	
	<b>n</b>
<b>Problèmes liés au chaussage</b>	<b>309</b>
Impossibilité de porter certaines chaussures utilisées dans le passé (même il y a de nombreuses années)	77
Impossibilité de porter certaines chaussures à talons hauts	66
Impossibilité de porter certaines chaussures étroites	72
Impossibilité de porter des chaussures de travail obligatoires	11
Impossibilité de porter des chaussures d'une certaine pointure	33
Lésions cutanées avec certaines chaussures	32
Adaptation des chaussures requise (chaussures confortables)	18
<b>Aspect esthétique</b>	<b>160</b>
Taille du pied	21
Hyperkératose	17
Asymétrie morphologique entre les pieds (longueur des orteils, largeur des pieds, cicatrice)	45
Alignement de l'hallux	36
Alignement des orteils latéraux	31
Perception d'une forme inesthétique du pied semblable à celle d'un autre membre de la famille	10
<b>Limitations fonctionnelles</b>	<b>127</b>
Impossibilité de reprendre le sport pendant les premières semaines postopératoires	25
Impossibilité de reprendre des activités nécessitant une grande amplitude d'extension de la première articulation métatarso-phalangienne (yoga, escalade, randonnée en montagne, boxe, corde à sauter, danse, etc.)	26
Impossibilité de reprendre certains sports d'impact (course à pied, sports de ballon, etc.) de façon occasionnelle, modérée ou intense	29
Impossibilité de reprendre un sport précédemment abandonné	13
Impossibilité de monter et descendre les escaliers de façon répétée au quotidien	10
Impossibilité de rester debout pendant un certain temps	4
Impossibilité de conduire un véhicule	6
Instabilité post-chirurgicale de l'avant-pied due à une instabilité de l'articulation de la cheville	8
Instabilité post-chirurgicale de l'avant-pied due à des antécédents de fractures du pied	6
<b>Douleurs dans le pied en dehors du premier rayon</b>	<b>257</b>
Métatarsalgies des rayons latéraux à la marche	176
Métatarsalgies des rayons latéraux lors de certains mouvements	25
Port nécessaire de semelles orthopédiques pour les métatarsalgies (alors que semelles orthopédiques déjà présentes avant la chirurgie)	56

n= nombre d'individus ayant signalé cette attente

## 5.2 Résultats des séries de questionnaires

Le processus utilisé pour parvenir à la version finale du questionnaire est illustré Figure 49.

À la 1<sup>re</sup> étape, 8 items ont été supprimés (taille, poids, pointure, antécédents familiaux de déformation, antécédents d'entorses, rééducation d'entorses, rééducation de fractures, utilisation quotidienne des escaliers) (Tableau 5). L'item concernant le port de chaussures de sécurité a été reformulé. Les experts ont proposé 18 items supplémentaires à inclure dans le questionnaire, dont 2 ont été ajoutés.

Lors de la 2<sup>e</sup> étape, les deux items ajoutés précédemment (localisation de la douleur, anxiété du patient) et l'item modifié (port de chaussures au travail) ont été validés (Tableau 5).

À la 3<sup>e</sup> étape, 2 items remplissaient les conditions pour être éliminés à l'étape finale si la note était maintenue au tour suivant (antécédents de fractures et utilisation des escaliers pendant l'activité physique) (Tableau 5).

Au cours de la 4<sup>e</sup> étape, 14,3% (224/1564) des réponses ont été modifiées parce que les experts ont changé d'avis.

Les items présentant la plus grande fréquence de changement d'opinion concernaient :

- la douleur de l'hallux due à des lésions cutanées (9/34 ; 26,5% de changement d'opinion)
- l'utilisation quotidienne des escaliers (9/34 ; 26,5% de changement d'opinion)
- présence d'une déformation en hallux valgus au pied droit (8/34 ; 23,5% de changement d'opinion) et au pied gauche (7/34 ; 20,6% de changement d'opinion), selon le patient lui-même
- asymétrie entre les pieds jugée inesthétique par l'individu (8/34 ; 23,5%).

Les deux items susceptibles d'être éliminés lors de l'étape précédente ont été définitivement éliminés (Tableau 5).

Au total, 44 items ont été retenus, dont 13 relatifs au profil clinique et psychologique de l'individu, 5 à la douleur, 9 à la gêne physique et fonctionnelle, 4 à l'aspect esthétique et 13 au chaussage et l'utilisation d'appareillage orthopédique.

Tableau 5. Sélection des items dans la méthode DELPHI

<b>Items rejetés après la première étape</b>			
<b>Item</b>	<b>Notations par le panel d'experts</b>		
	Médiane	Quartile 1	Moyenne
Taille	2.5	1.25	3.9
Poids	6.5	4.0	5.8
Pointure	3.0	2.0	4.0
Antécédents familiaux de déformations	5.0	3.0	5.7
Antécédents d'entorses	5.0	2.0	4.7
Rééducation pour les entorses	5.0	2.25	5.0
Rééducation pour les fractures	5.0	3.0	4.9
Usage quotidien des escaliers	6.0	3.25	5.8
<b>Items ajoutés après la 2<sup>e</sup> étape</b>			
	Médiane	Quartile 1	Moyenne
Localisation douleurs	9.0	9.0	8.8
Anxiété	8.0	5.3	6.9
Chaussures spéciales au travail	9.0	8.0	8.2
<b>Items risquant d'être rejetés après la 3<sup>e</sup> étape</b>			
	Médiane	Quartile 1	Moyenne
Antécédents de fractures	3.0	2.0	2.9
Escaliers pendant l'activité physique	3.0	2.0	2.9
<b>Items rejetés après la 4<sup>e</sup> étape</b>			
	Médiane	Quartile 1	Moyenne
Antécédents de fractures	3.0	2.0	2.8
Escaliers pendant l'activité physique	3.0	2.0	2.9

Légende : Notations sur une échelle de type Likert à 9 points pour les étapes 1 et 2, et sur une échelle de type Likert à 4 points pour les étapes 3 et 4.



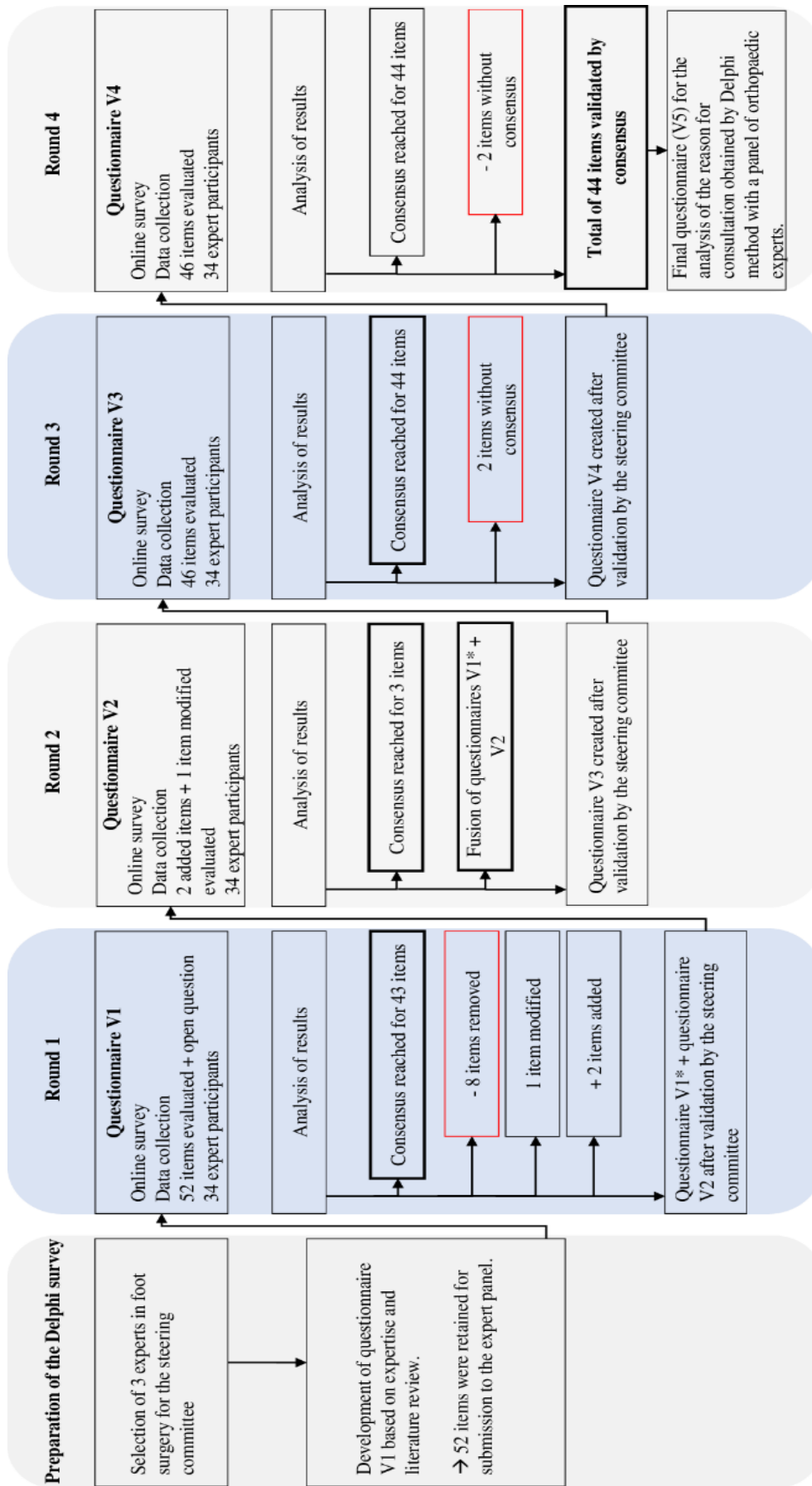


Figure 49. Processus d'obtention d'un consensus avec la méthode DELPHI

## **6 Discussion**

A notre connaissance, il s'agit de la seule étude qui a développé un outil permettant d'identifier les attentes des patients lors d'une consultation préchirurgicale d'hallux valgus afin d'améliorer la satisfaction des résultats postopératoires. L'étude est originale, car elle a impliqué une approche inverse qui a commencé par les raisons d'insatisfaction de la chirurgie de l'hallux valgus de 853 personnes. Les motifs d'insatisfaction ont été regroupés en quatre thèmes selon la littérature (douleur, chaussage, esthétique et activité physique), et un questionnaire de 52 items a été rédigé. La pertinence des items a ensuite été améliorée par une approche Delphi à quatre étapes qui a abouti au questionnaire final de 44 items.

### **6.1 Panel d'experts**

Nous avons choisi de n'inclure que des cliniciens francophones dans le panel d'experts puisque notre objectif était de concevoir un questionnaire destiné à être utilisé en France. Nous avons inclus une forte proportion de chirurgiens orthopédistes (79,4%), car ces professionnels sont ceux les plus souvent consultés en préopératoire. Cependant, nous avons également inclus d'autres types de cliniciens, car les patients insatisfaits des résultats chirurgicaux ne retournent pas toujours chez leur chirurgien, mais peuvent préférer demander conseil à d'autres types d'experts du pied.

L'âge moyen (50,4 ans, écart-type 9,6 ans), le nombre d'années de pratique (20,8 ans, écart-type 10,6 ans) et l'expérience des déformations du pied (20,3 ans, écart-type 9,3 ans) des membres du groupe d'experts ont démontré qu'ils étaient effectivement des experts. Ils ont maintenu leurs connaissances à jour en obtenant des diplômes supplémentaires, en participant à des symposiums sur la prise en charge de l'hallux valgus et en étant membres de sociétés savantes. En outre, la majorité (77%) des experts avaient publié dans ce domaine.

### **6.2 Raisons d'insatisfaction**

Selon la littérature, les individus souhaitant bénéficier d'une chirurgie de l'hallux valgus s'attendent à une amélioration de la douleur, de l'esthétique, de la possibilité de chaussage ou de la fonction (Parker et al., 2003; Piclet-Legré et al., 2017) : cela correspond aux motifs d'insatisfaction trouvés dans notre examen des dossiers médicaux. Des études ont établi un lien entre l'insatisfaction liée à la chirurgie de l'hallux valgus et les complications post-chirurgicales

et ont rapporté des taux d'insatisfaction compris entre 10,6 et 33,0% selon la technique chirurgicale utilisée (Barg et al., 2018; Barg & Saltzman, 2017; Ferrari et al., 2004; Lim et al., 2015). Par conséquent, le taux d'insatisfaction de 14,0% dans la présente étude se situe dans la fourchette des autres études, cependant nos résultats montrent que l'insatisfaction n'a pas été causée par des complications, mais par un manque de réalisation des attentes.

Les résultats de l'examen des insatisfactions ont montré un taux de 30,1% de douleurs postopératoires, ce qui est similaire au taux de 31,0% de la littérature ; de plus, la douleur affectait principalement l'avant-pied, mais pas le 1<sup>er</sup> rayon, ce qui correspond à la localisation rapportée dans la littérature (Barg et al., 2018; J. Y. Chen, 2016).

Nous avons constaté que 36,2% des personnes étaient insatisfaites après la chirurgie en raison de problèmes de chaussage. Une étude a montré que la largeur du pied n'avait pas changé après l'opération dans 37,0% des cas et qu'elle était augmentée dans 18,0% des cas (S. A. Tenenbaum et al., 2018). Une autre étude a révélé que 14,0% des individus ressentaient toujours une gêne, même avec des chaussures confortables après l'acte chirurgical (Robinson et al., 2016). Avec nos résultats, nous soutenons la suggestion de Robinson et al. (2016) selon laquelle le conseil préopératoire est essentiel pour garantir des attentes réalistes de la réparation.

Il a été démontré que l'hallux valgus limite la fonction chez 15,0% des individus atteints (Souza Júnior et al., 2020), mais la chirurgie l'améliore dans la plupart des cas (D. Thordarson et al., 2005). Nos résultats vont dans ce sens puisque 85,0% des individus insatisfaits n'étaient pas mécontents des résultats fonctionnels de la chirurgie. Cependant, 15,0% d'entre eux s'attendaient à obtenir un niveau d'amélioration fonctionnelle post-chirurgical plus élevé que ce qui s'est produit, et ceci a été la cause de leur insatisfaction : une fois encore, cela démontre l'importance d'une discussion préopératoire sur les objectifs de la chirurgie.

L'*American Orthopedic Foot Ankle Society Board of Directors* a publié une déclaration selon laquelle la chirurgie de l'hallux valgus ne doit pas être pratiquée à des fins esthétiques (AOFAS Board of Directors, 2015). Par conséquent, il existe un manque de données relatives à l'impact de la chirurgie sur les résultats esthétiques avec lesquelles comparer le taux d'insatisfaction des individus dans la présente étude. Selon la littérature, les individus considèrent les résultats esthétiques de la chirurgie comme bons/excellents dans 88,0% à 96,0% des cas : ceci est basé sur la perception subjective de l'alignement du premier rayon et l'aspect visuel de la cicatrice (Giotis et al., 2016; Oh et al., 2008; Rossi & Ferreira, 1992). Le taux d'insatisfaction plus élevé

dans la présente étude (19%) pourrait s'expliquer par d'autres considérations esthétiques, comme l'asymétrie de la morphologie entre les deux pieds.

Ces résultats montrent que l'insatisfaction peut être liée non seulement à des complications comme cela est rapporté dans la littérature (Barg et al., 2018), mais aussi à une expression des attentes qui n'est que partielle. Un exemple typique est celui des problèmes de chaussage : l'individu explique au chirurgien qu'il souhaite être opéré pour résoudre ses problèmes liés chaussures. Le chirurgien suppose que les problèmes sont causés par le frottement des exostoses, qu'il enlève lors de l'intervention. Cependant, l'individu n'est pas entièrement satisfait car ce qu'il voulait vraiment, c'était pouvoir porter à nouveau ses chaussures de tango des années 1980. De tels objectifs personnels peuvent être difficiles à déterminer au cours d'une consultation (Parker et al., 2003) : cela plaide en faveur du développement d'un outil pour faciliter l'identification des attentes des individus vis-à-vis de la chirurgie de l'hallux valgus.

### **6.3 Élaboration du questionnaire et validation des items par le panel d'experts**

Sur les 52 items du questionnaire initial élaboré par le comité de coordination à partir des motifs d'insatisfaction des 853 personnes, 44 ont été validés par le panel d'experts.

Parmi les questions générales, l'âge et le sexe ont été retenus. L'hallux valgus est plus fréquent chez les femmes que chez les hommes et chez les personnes âgées que chez les jeunes (S. Nix et al., 2010; Robinson et al., 2016), de plus, les femmes ont tendance à avoir plus de difficultés à s'adapter aux chaussures à cause de l'hallux valgus que les hommes. Bien que l'âge ne semble pas avoir d'impact sur les résultats chirurgicaux (Goh et al., 2021; Milnes et al., 2010), les personnes âgées ont tendance à avoir un mode de vie plus sédentaire que les jeunes (Chastin et al., 2015) et peuvent donc avoir des attentes fonctionnelles différentes qui doivent être prises en compte dans la décision chirurgicale.

Le premier item relatif aux attentes consistait à classer les motifs de consultation par ordre d'importance pour l'individu (douleur, chaussage, activité physique et esthétique). Cet item a recueilli le consensus total du panel. Aucun des termes n'a été modifié, ce qui démontre qu'ils englobent les principaux motifs de chirurgie selon l'expérience du panel. L'item suivant portait sur le temps attendu par l'individu pour que l'amélioration par l'acte chirurgical se produise. Cette question a également fait l'objet d'un consensus complet. L'individu doit être conscient du temps de guérison afin d'éviter une augmentation de l'usage fonctionnel de son articulation

ou le port de certains types de chaussures trop rapidement, ce qui pourrait risquer d'endommager la chirurgie (Fournier et al., 2019).

Les items relatifs à la douleur ont tous été validés par le panel d'experts ; les experts ont également ajouté un item relatif à la localisation de la douleur. Ceci est logique puisque l'hallux valgus peut provoquer des douleurs dans d'autres zones que la première articulation métatarso-phalangienne (MTP), comme les os métatarsiens latéraux (Verdu Roman et al., 2021). Une analyse précise de l'étendue de la douleur préopératoire est essentielle, car son degré peut influencer la persistance de douleurs postopératoires (J. Y. Chen, 2016). De plus, les douleurs métatarsiennes peuvent être secondaires à une chirurgie de l'hallux valgus (Barg et al., 2018; Bock et al., 2015) : une identification minutieuse des zones douloureuses peut donc limiter l'insatisfaction liée à une mauvaise identification des douleurs préopératoires.

Le panel a validé tous les éléments relatifs à l'esthétique, confirmant les rapports de la littérature selon lesquels de nombreux individus cherchent à bénéficier d'une chirurgie pour améliorer l'aspect esthétique de leur pied (Bahar & Yildiz, 2021; Tai et al., 2008; Wilkinson & Maher, 2011). En outre, les perceptions esthétiques peuvent influencer les niveaux de douleur et les bénéfices fonctionnels de la chirurgie (Bahar & Yildiz, 2021). Comme la chirurgie de l'hallux valgus ne doit pas être effectuée pour des raisons esthétiques (AOFAS Board of Directors, 2015), ces motivations doivent être vérifiées en préopératoire.

Tous les items concernant l'activité physique, la vie quotidienne et la profession ont été validés, à l'exception de l'utilisation des escaliers. La reprise d'activités antérieures, y compris le sport, peut représenter une motivation importante pour la chirurgie de l'hallux valgus pour certains individus (MacMahon et al., 2016). Par conséquent, l'identification d'objectifs fonctionnels spécifiques est très importante pour s'assurer qu'ils sont réalistes. La chirurgie de l'hallux valgus peut également nécessiter une période d'arrêt maladie (Graff et al., 2014), la personne doit donc être consciente de la durée potentielle de son rétablissement afin de planifier en conséquence.

Certaines personnes souhaitent bénéficier d'une chirurgie de l'hallux valgus afin de pouvoir porter des chaussures standard ou des types de chaussures spécifiques (Robinson et al., 2016). Ceci correspond évidemment à l'expérience du panel puisqu'il a validé tous les items relatifs au chaussage et a élargi l'item relatif aux chaussures de sécurité au travail pour englober tous les

types de chaussures obligatoires possibles. Des études ont montré que la chirurgie de l'hallux valgus améliore la morphologie du pied (Panchbhavi et al., 2020; S. A. Tenenbaum et al., 2018) et l'adaptation des chaussures (Robinson et al., 2016), cependant, il n'est pas toujours possible de recommencer à porter tous les types de chaussures (par exemple des talons hauts) après l'opération. Les attentes et les résultats probables doivent donc être discutés en détail avant l'intervention.

De nombreux individus atteints d'hallux valgus utilisent des appareillages orthopédiques. Les résultats de notre examen des motifs d'insatisfaction ont montré que certains individus étaient déçus s'ils avaient encore besoin d'un appareillage après l'opération, en particulier s'ils n'en avaient pas été informés en préchirurgical. Toutes les questions relatives aux appareillages ont été validées par le groupe d'experts. Cette section du questionnaire devrait être utile pour déterminer si les appareillages orthopédiques n'ont pas été essayés : ils pourraient être proposés pour éventuellement éviter la nécessité d'une chirurgie, en particulier si la motivation de la personne est de réduire la douleur (Kwan et al., 2021; Reina et al., 2013).

#### **6.4 Items rejetés**

Huit items qui figuraient dans le questionnaire initial ont été écartés par le groupe d'experts. Parmi les items généraux, le poids et la taille ont été rejetés : ces variables sont peu susceptibles d'influencer le motif de la chirurgie de l'hallux valgus (J. Y. Chen et al., 2015; Milczarek et al., 2017; Wirth et al., 2019) et étaient donc inutiles. Par ailleurs, ces données sont systématiquement recueillies avant la consultation, car elles font partie du dossier médical.

Il a été surprenant que les items relatifs à la pointure de la chaussure et aux antécédents familiaux de déformation aient été écartés, car ils étaient des motifs fréquents d'insatisfaction. Ils peuvent être considérés comme liés aux aspects esthétiques de l'hallux valgus, et donc non indicatifs d'une procédure chirurgicale, ce qui peut expliquer le choix du panel qui a trouvé ces items inutiles (Robinson et al., 2016).

Des antécédents d'entorses ou de fractures de la cheville ont été une source d'insatisfactions postopératoires pour certains individus. Si une certaine instabilité subsistait, elle pourrait être exacerbée par les changements anatomiques causés par la chirurgie (H. Y. Lee et al., 2022; Steinberg et al., 2013; Tanaka et al., 1999). Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas de tels rapports d'instabilité accrue après chirurgie dans la littérature, ce qui peut expliquer pourquoi les experts ont supprimé cet item.

Des items concernant l'utilisation des escaliers ont été inclus, car la douleur dans les escaliers était une plainte d'une partie de l'échantillon. Cependant, les experts ont pu considérer que, contrairement à l'hallux rigidus, la déformation de l'hallux valgus ne limite pas systématiquement l'extension de la première articulation métatarso-phalangienne (MTP) et ne devrait donc pas limiter l'utilisation des escaliers (Arge et al., 2012; Gilheany et al., 2008). De plus, l'arthrodèse de l'articulation métatarso-phalangienne (MTP), qui pourrait affecter la montée des escaliers, n'est généralement réalisée que dans le cas de déformations sévères ou lors d'une reprise chirurgicale (Coughlin et al., 2005; Smyth & Aiyer, 2018).

### **6.5 Items supplémentaires**

L'anxiété n'était pas un sujet qui ressortait de l'examen des motifs d'insatisfaction, c'est pourquoi nous n'avions pas inclus cette notion dans le questionnaire initial. Bien que l'association entre les symptômes psychologiques ou les traits de personnalité et les résultats postopératoires soit quelque peu débattue (Klein et al., 2021; Shakked et al., 2018), l'anxiété et la dépression peuvent augmenter les attentes préchirurgicales, les niveaux de perception de la douleur et l'insatisfaction post-chirurgicale (Henry et al., 2021; Parrini et al., 2009). Le panel a donc estimé qu'il était nécessaire de poser des questions sur l'anxiété liée à la situation personnelle ou professionnelle de l'individu, à la déformation du pied, à la procédure chirurgicale ou à ce qui se passerait si la chirurgie n'était pas réalisée. Ces questions devaient faciliter la prise en compte des aspects psychologiques liés à l'hallux valgus et à sa chirurgie dans la planification du traitement, et notamment la décision de pratiquer une intervention chirurgicale.

### **6.6 Évaluation de l'hallux valgus**

Bien que l'échelle de Manchester ait été validée par rapport aux mesures radiographiques et qu'elle puisse indiquer les seuils de pression liés à la déformation, la décision d'entreprendre une intervention chirurgicale ne peut pas être basée sur la seule observation visuelle (Menz & Munteanu, 2005a; Menzildzic et al., 2021). Cependant, le rôle des résultats radiographiques dans la prise de décision chirurgicale est débattu. Il ne semble pas y avoir de corrélation entre la sévérité d'hallux valgus préopératoire, la correction radiographique de la déformation et le score de qualité de vie SF 36 postopératoire (D. Thordarson et al., 2005). Puisqu'en chirurgie orthopédique, les résultats subjectifs, fonctionnels et objectifs ne sont pas toujours liés, les résultats de la chirurgie de l'hallux valgus ne peuvent être réduits au seul résultat radiographique (Piclet-Legré et al., 2017). Les mesures radiologiques peuvent biaiser l'interprétation de la

déformation et doivent toujours être comparées aux données de l'examen clinique (de Cesar Netto & Richter, 2020). Il existe des difficultés associées à la définition de la déformation de chaque individu malgré l'imagerie, et donc au choix optimal de la prise en charge. La classification tridimensionnelle de l'hallux abducto valgus peut être peu fiable, ce qui confirme que les radiographies bidimensionnelles sont limitées pour l'évaluation de la déformation tridimensionnelle (Padovano et al., 2022). Avec le développement de la tomographie numérique en charge de type « Cone beam », un nouveau système de classification pourrait être nécessaire. Le modèle tridimensionnel de la déformation doit être compris afin de planifier la chirurgie.

La baropodométrie statodynamique est nécessaire pour une évaluation fonctionnelle du pied. Cependant, elle est actuellement principalement utilisée pour évaluer les résultats post-chirurgicaux en termes de modifications des pressions plantaires, car les critères n'ont pas été définis pour le diagnostic et la prise de décision chirurgicale (Costa et al., 2010; Martínez-Nova et al., 2011; Moerenhout et al., 2019; Nyska et al., 1998; Schuh et al., 2009). Des études sont encore nécessaires pour aider au diagnostic et faciliter les décisions chirurgicales.

Les difficultés liées à l'évaluation et à la classification de l'hallux valgus justifient notre questionnaire préchirurgical pour limiter le risque de prise de décision inappropriée. Les outils d'évaluation de l'hallux valgus permettent de prendre une décision en fonction de la pertinence anatomique du geste chirurgical à réaliser, mais n'évaluent pas la pertinence par rapport aux attentes de l'individu pour sa vie après la chirurgie. La biomécanique de cette déformation tridimensionnelle est extrêmement complexe et comprendre les attentes de l'individu est un défi.

Le questionnaire obtenu par la méthode Delphi (validité de contenu) dans la présente étude pourrait être rempli avant une consultation pour avis chirurgical, sans empiéter sur le temps du praticien. D'autres études sont maintenant nécessaires pour valider ses propriétés psychométriques et son utilité clinique pour les personnes atteintes d'hallux valgus.

## **6.7 Limites**

Les éventuelles influences externes n'ont pas été étudiées (médias sociaux et marketing) sur la décision de l'individu de bénéficier d'une chirurgie de l'hallux valgus.

Ni l'historique des consultations médicales/paramédicales de l'individu pour la déformation de l'hallux valgus, ni les éventuelles étiologies de la déformation (antécédents familiaux, aspect



congénital, etc.) n'ont été pris en compte, car ces informations devraient être documentées dans le dossier médical.

Bien que ce questionnaire ait pour but de limiter le risque que la décision chirurgicale soit influencée par des facteurs personnels ou le jargon médical utilisé par les praticiens, il n'empêchera pas une relation soignant-patient déséquilibrée.

## **7 Conclusion**

En utilisant les données relatives à l'insatisfaction de la chirurgie de l'hallux valgus et la méthode Delphi, un questionnaire de 44 items a été développé pour déterminer les attentes des individus vis-à-vis de l'acte chirurgical. Nous pensons que l'utilisation de ce questionnaire réduira l'insatisfaction des résultats postopératoires en garantissant que les objectifs et les méthodes chirurgicales correspondent aux attentes. D'autres études sont maintenant nécessaires pour évaluer les propriétés psychométriques de cet outil, et pour créer une méthode de scoring qui permettrait aux chirurgiens de déterminer rapidement si les attentes de l'individu sont appropriées. La prochaine étape consiste à valider ce questionnaire auprès d'un large échantillon d'individus souffrant d'hallux valgus afin d'évaluer l'intérêt d'aider ces individus à discerner leur motif de consultation. Ensuite, des essais cliniques devraient évaluer l'effet de l'utilisation du questionnaire sur la satisfaction postopératoire.

Ce travail représente un premier volet d'uniformisation des pratiques périchirurgicales relatives à l'évaluation des déformations des pieds dans le domaine de l'orthopédie et de la neuro-orthopédie.

Un réel besoin semble émerger autour de pathologies mettant en rapport la notion de déformation du pied avec des troubles de la fonction. La prise en charge des patients porteurs de déformations évolutives secondaires à une pathologie neurologique, telle la maladie de Charcot-Marie-Tooth, repose notamment sur la prescription et la réalisation d'appareillage. Le parcours de cette prise en charge semble parcellaire et confronté à une non-coordination des soins.

# Étude 2 : Relation entre les caractéristiques du parcours de soins et l'utilisation ou la non-utilisation d'appareillage par des individus atteints de la maladie de Charcot-Marie-Tooth : une étude transversale exploratoire

---

Cette étude a été publiée (Annexe G) : Blouin C, Perrier A, Denormandie P, Genet F, (2023) Relationship between care pathway features and use or non-use of orthotic devices by individuals with Charcot-Marie-Tooth disease: a cross-sectional, exploratory study. Disability and Rehabilitation. DOI: 10.1080/09638288.2023.2208883

## 1 Contexte scientifique

La maladie de Charcot-Marie-Tooth (CMT) est une neuropathie héréditaire, dégénérative, sensorielle et motrice qui affecte les nerfs périphériques (Reilly et al., 2011). Elle se caractérise par une faiblesse musculaire qui progresse des muscles distaux vers les muscles proximaux. La prévalence de la maladie CMT est d'environ 40/100 000 (de 9,7 à 82,3 pour 100 000 habitants), selon le pays (Barreto et al., 2016; Martyn & Hughes, 1997; Mladenovic et al., 2011; Skre, 1974). La prévalence en France est estimée à 42,9/10 000, soit 30 000 personnes (AFM-Telethon, 2021).

Les déformations du pied, telles que le *pes cavus*, le *pes planus* et les orteils en marteau, sont signalées chez 74% des personnes atteintes de CMT et peuvent contribuer à leur handicap (Laurá et al., 2018). La déformation du *pes cavus* résulte d'un déséquilibre entre les forces musculaires agonistes et antagonistes, qui entraîne une flexion plantaire du premier métatarsien (M1), une pronation de l'avant-pied, une arche longitudinale médiale élevée et un varus secondaire de l'arrière-pied (Beals & Nickisch, 2008; Holmes & Hansen, 1993; Karakis et al., 2013; Krause & Iselin, 2012; Tynan et al., 1992). Ces déformations se fixent avec le temps et peuvent entraîner une laxité de l'articulation talo-crurale, une dorsiflexion relative du talus et une perte de mobilité de l'articulation talo-crurale (Guyton, 2006; Krause & Iselin, 2012).

La combinaison des déformations du pied et de la cheville, de la faiblesse musculaire et des déficiences somatosensorielles entraîne des troubles de la marche chez les personnes atteintes de la maladie CMT (Nonnekes et al., 2021). Cette triade entraîne des modifications primaires, secondaires et compensatoires du schéma de marche. Les troubles de la marche les plus

fréquemment rencontrés sont le pied tombant, la supination augmentée du pied et l'insuffisance de flexion plantaire de la cheville (Newman et al., 2007). Le pied tombant est causé par la faiblesse des muscles fléchisseurs de la cheville, ce qui entraîne une perte de flexion de cette articulation, en particulier pendant la phase oscillante (Vinci & Perelli, 2002). Les anomalies de positionnement du pied dans le plan frontal résultent d'un déséquilibre entre la force des muscles éverseurs (généralement faibles) et celle des muscles inverseurs. La combinaison de ces déficiences de la marche affecte le pattern de marche global (Don et al., 2007).

Outre les traitements médicaux et chirurgicaux, les principales stratégies conservatrices pour la gestion de la faiblesse musculaire et des déformations du pied sont la physiothérapie et les appareillages (orthotic devices), qui sont souvent complémentaires. Selon la définition de l'International Organization for Standardization for Prosthetics and Orthotics, les appareillages peuvent inclure les orthèses des membres inférieurs, telles que les orthèses plantaires (Foot Orthoses) et les orthèses suro-pédieuses (Ankle-Foot Orthoses ou AFOs), d'une part, et les chaussures orthopédiques (Orthotic Footwear), d'autre part (International Organization for Standardization, 2017, 2020).

Les orthèses plantaires portées dans les chaussures conventionnelles de l'individu sont généralement prescrites en premier. Elles aident à réduire les déformations et la douleur (Burns et al., 2006; Sautreuil et al., 2016). À mesure que la maladie progresse, la personne peut avoir besoin de chaussures orthopédiques pour réduire la progression des déformations, réduire le pied tombant, améliorer la stabilité pendant la marche et réduire la douleur et les plaies causées par les chaussures ordinaires (Guillebaste et al., 2011; Guzian et al., 2006; Sautreuil et al., 2016). La faiblesse des muscles du mollet et le pied tombant peuvent conduire à la prescription d'une AFO : ces appareillages aident à réduire le risque de chute, à stabiliser le genou en appui et à compenser le manque de propulsion pendant la phase d'appui (Guillebaste et al., 2011; Nonnekes et al., 2018; Zuccarino et al., 2021). Peu d'études ont évalué l'effet des appareillages orthopédiques sur les variables fonctionnelles de la marche ; leurs avantages ne sont donc actuellement que partiellement connus (Dufek et al., 2014; Guillebaste et al., 2011; Nonnekes et al., 2021; Ramdharry, Day, et al., 2012). Cependant, une étude récente a mis en évidence le grand nombre de modèles d'AFOs disponibles et a souligné l'importance de prescrire le type le plus approprié en fonction des déficiences et du pattern de marche de l'individu (Õunpuu et al., 2021). Les AFOs prescrites et conçues pour répondre à la déficience de l'individu peuvent améliorer les paramètres spatio-temporels et cinétiques de la marche, ainsi que la cinématique de la cheville (Õunpuu et al., 2013, 2021).

En France, les parcours de soins suivis par les individus atteints de CMT sont variables. Il n'existe actuellement aucune directive pour la mise en place de parcours optimaux, et nous faisons l'hypothèse que cela pourrait avoir un impact sur la prescription et le suivi de l'appareillage. Bien que le diagnostic et le suivi précoces de la maladie soient généralement effectués dans un hôpital, les soins quotidiens sont plus susceptibles d'être dispensés par le médecin généraliste. Ce dernier peut orienter l'individu vers un podologue, un orthoprothésiste ou un podo-orthésiste (qui exercent de manière indépendante et ne font pas partie du système hospitalier) pour une évaluation et la fabrication d'appareillage. Si les individus sont suivis dans un hôpital spécialisé, ils peuvent plus facilement bénéficier d'une prise en charge multidisciplinaire par des spécialistes en neuro-orthopédie, comme un médecin de médecine physique et de réadaptation (MPR) et un expert de l'appareillage orthopédique. La communication des informations entre les réseaux de soins primaires et hospitaliers est souvent sous-optimale, y compris entre les prescripteurs et les professionnels de l'appareillage.

Le système de santé français rembourse tous les appareillages pour les individus atteints de CMT, mais à des intervalles de temps et des taux spécifiques. Le remboursement des orthèses plantaires est annuel et partiel, et nécessite une prescription médicale de tout type de médecin, renouvelable par le podologue (*Code de La Santé Publique - Article D. 4322-1-1. Décret N°2019-835 Du 12 Août 2019.*, 2022). Tout changement effectué en cours d'année est entièrement à la charge de l'individu.

En ce qui concerne les chaussures orthopédiques et les AFOs, l'assurance maladie rembourse l'intégralité des frais respectivement une fois par an et une fois tous les 3 ans dans le cadre de la maladie CMT. Le dispositif peut être modifié sans frais pour l'individu dans ce délai (Sécurité Sociale - L'Assurance Maladie, 2022). Par ailleurs, pour être remboursé, le dispositif doit être prescrit par l'un des praticiens suivants : médecin MPR, orthopédiste, rhumatologue, neurologue, neurochirurgien, chirurgien plastique et de reconstruction, ou pédiatre. Le médecin généraliste peut renouveler l'ordonnance (Sécurité Sociale - L'Assurance Maladie, 2022).

En France, les podologues peuvent évaluer et concevoir des orthèses plantaires, les podo-orthésistes et les orthoprothésistes peuvent fabriquer des chaussures orthopédiques et des AFOs. Ces deux derniers spécialistes travaillent souvent ensemble (catégorie appelée "Grand appareillage" en France).

Bien que des individus se soient vu prescrire un appareillage et que celui-ci puisse améliorer leur pattern de marche et/ou leurs performances, ils peuvent choisir de ne pas l'utiliser. Des études ont montré que des facteurs tels que le poids, l'inconfort, le mauvais ajustement, la difficulté à s'adapter aux chaussures, la douleur et les problèmes cutanés, le manque d'efficacité et l'aspect esthétique des orthèses et des chaussures peuvent déterminer si les individus les utilisent réellement ou non (Jannink et al., 2005; Kelaher et al., 2000; Peng et al., 2021; Phillips et al., 2011; Ramdharry, Pollard, et al., 2012; Ridge et al., 2019; Swinnen & Kerckhofs, 2015; Vinci & Gargiulo, 2008; Zuccarino et al., 2021). Aucune étude n'a évalué l'impact de la prescription, de la livraison et du suivi réels des appareillages sur leur utilisation, c'est-à-dire le parcours de soins suivi par l'individu en relation avec son appareillage orthopédique.

L'analyse du parcours de soins relatif à l'appareillage semble utile pour comprendre les raisons de leur utilisation et de leur non-utilisation, et ainsi améliorer leur utilisation.

Une amélioration de l'utilisation serait bénéfique à la fois pour les individus atteints de CMT en termes de capacité de marche, et pour la société en réduisant le gaspillage de ressources.

Les principaux objectifs de cette étude observationnelle descriptive étaient de décrire les parcours suivis par les individus atteints de CMT : prescription, livraison et suivi des orthèses, et les relations entre les caractéristiques des parcours et l'utilisation/non-utilisation de ces appareillages.

Nous avons émis l'hypothèse que les parcours de soins de l'appareillage des individus atteints de CMT, y compris les modalités de prescription et de suivi, peuvent avoir un impact sur l'utilisation des appareillages, car leur non-optimisation peut être une source importante de non-utilisation. Nous avons également émis l'hypothèse que la consultation fréquente d'un spécialiste tel que le médecin MPR pourrait favoriser l'utilisation de l'appareillage en raison de son rôle de coordination.

## **2 Matériel et méthodes**

### **2.1 Design de l'étude**

Une enquête transversale exploratoire a été réalisée sur la prise en charge orthétique des individus atteints de CMT entre septembre 2018 et mai 2020. Cette enquête a été publiée sur le site de l'association CMT-France et les membres de l'association ont été informés de l'étude par courriel et dans les bulletins d'information de l'association. S'agissant d'une enquête anonyme

qui ne collectait aucune donnée personnelle (par exemple, la date de naissance ou le sexe), cette étude ne nécessitait pas d'approbation éthique pour sa réalisation en vertu des lois françaises sur la recherche.

## **2.2 Document de l'enquête**

L'enquête a été conçue par les membres de l'équipe multidisciplinaire de l'unité CMT de l'hôpital Raymond Poincaré (Garches, France) et réalisée avec l'outil en ligne Drag'n Survey (compatible avec les règles de protection des données). Les professionnels impliqués comprenaient deux chirurgiens orthopédistes, deux médecins MPR, deux podologues et un kinésithérapeute, qui avaient tous au moins cinq ans d'expérience de travail avec des individus atteints de CMT. Leur expérience de l'appareillage au sein de cette population, ainsi que les commentaires des individus concernant leurs orthèses ont servi à concevoir des questions pertinentes. Le groupe s'est réuni à cinq reprises pour concevoir et finaliser l'enquête, et celle-ci a été testée sur dix personnes atteintes de CMT. L'échantillon pilote a été sélectionné au sein de la consultation multidisciplinaire de l'hôpital Raymond Poincaré (Garches, France), s'est vu prescrire un ou plusieurs appareillages, et était hétérogène en termes de connaissances sur les différentes évaluations cliniques et instrumentales abordées dans l'enquête.

L'enquête anonyme était composée de 35 questions (chaque question comportait une option de réponse ouverte possible).

Les personnes ont été invitées à évaluer la clarté de chaque item à l'aide d'une échelle de Likert en 7 points (Likert, 1932) sur laquelle 1 = "Pas du tout clair" et 7 = "Parfaitement clair".

Il a été décidé que tous les items notés  $\leq 4$  seraient soumis aux membres de l'équipe multidisciplinaire pour discussion et modification : en l'occurrence, aucun item n'a dû être modifié. Les informations démographiques étaient limitées à l'âge de l'individu et à l'âge auquel la maladie a été diagnostiquée afin d'éviter toute identification, CMT étant une maladie rare. Les questions portaient sur les premiers symptômes au niveau du pied, les déformations du pied, les informations reçues sur la maladie et la prescription, le suivi, le renouvellement et les objectifs des appareillages, y compris les délais et les professionnels impliqués (Annexe H). Les non-utilisateurs étaient définis comme des individus qui, au cours de leur vie, s'étaient vu prescrire et délivrer un ou plusieurs appareillages (orthèses plantaires, chaussures orthopédiques, orthèses suro-pédieuses), mais qui n'utilisent plus aucun appareillage au moment de l'enquête.

L'enquête devait être remplie en ligne à l'aide de l'outil Drag'n Survey, par les individus atteints de CMT eux-mêmes, avec l'aide d'un aidant si nécessaire, qui pouvait assister, par exemple, des enfants ou même des personnes âgées qui avaient besoin que le questionnaire soit lu par une tierce personne.

### **2.3 Critères d'inclusion et de non-inclusion**

Les individus pouvaient participer s'ils vivaient en France, étaient membres de l'association CMT-France, avaient un diagnostic confirmé de CMT et s'étaient vu prescrire et/ou délivrer au moins l'un des appareillages suivants : orthèses plantaires, chaussures orthopédiques ou AFOs telle que définies par l'International Organization for Standardization for Prosthetics and Orthotics.

### **2.4 Analyse statistique**

Avec une taille de la population de 30 000 personnes atteintes de la maladie CMT en France, en considérant une marge d'erreur de 5% et un niveau de confiance de 95%, une taille d'échantillon de 380 participants est requise pour répondre à l'enquête.

Pour répondre à l'objectif, les variables associées à la non-utilisation de l'appareillage parmi les items du questionnaire ont été identifiés à l'aide d'un modèle logistique. Les capacités prédictives (discrimination par l'AUC et calibration) du modèle ont été évaluées. Les hypothèses considérées pour le calcul du nombre de participants de ce modèle sont les suivantes : une valeur élevée de l'AUC indique une bonne capacité discriminante du score pronostic (>70%) ; la variabilité autour de cette valeur est arbitraire (pas de données dans la littérature) ; nous attendons dans notre étude prévalence de la non-utilisation de 20% (donnée issue de l'observation clinique et de la littérature) et une AUC du score développé de 75% ; avec ces hypothèses, 180 participants sont nécessaires pour mettre en évidence une AUC de 75% avec une précision de l'intervalle de confiance à 95% de 10% (IC95% = [65%-85%] ; le risque alpha est fixé à 5%. Il faut un minimum de 225 patients, en prenant en compte 20% de données inexploitable pour répondre à l'objectif.

Les données continues ont été exprimées sous forme de moyennes (écart-type [SD]) ou de médianes (intervalle interquartile [IQR], intervalle). Les distributions des variables qualitatives et ordinales de l'enquête ont été décrites par des tableaux de fréquence.

Le test du Chi<sup>2</sup> (ou le test exact de Fisher) a été utilisé pour comparer les distributions des variables catégorielles selon l'utilisation ou la non-utilisation des appareillages. Le test *t* de

Student a été utilisé pour comparer les distributions des variables quantitatives continues selon l'utilisation / la non-utilisation, lorsque la variable suivait une distribution normale (selon le test de Shapiro-Wilk). Sinon, nous avons utilisé le test non-paramétrique de Wilcoxon.

Des modèles de régression logistique univariés ont été utilisés (Tableaux 6 et 7) pour identifier les facteurs (valeur  $p < 0,2$ ) à prendre en compte dans le modèle multivarié. Un modèle de régression logistique multivarié a été construit pour identifier les facteurs associés à la non-utilisation des orthèses (Tableau 8). Le modèle multivarié final a été obtenu par élimination « backward » des variables (des variables non significatives) des analyses univariées,  $p > 0,05$ . Le modèle de régression logistique fournit un Odds Ratio (OR) qui indique l'association entre la non-utilisation des appareillages et les items du questionnaire. Un  $OR > 1$  indique une augmentation de la non-utilisation de l'appareillage, tandis qu'un  $OR < 1$  indique une diminution de la non-utilisation. Pour les items catégoriels, l'OR compare les probabilités de non-utilisation de l'appareillage pour chaque catégorie de l'item par rapport à la catégorie de référence. Pour les items continus, l'OR fournit la probabilité de non-utilisation à mesure que l'item augmente. Dans le modèle multivarié, l'interprétation de chaque item est faite en tenant compte du fait que tous les autres items restent constants.

La performance du modèle sélectionné a été évaluée par le test de Hosmer-Lemeshow pour la calibration et l'aire sous la courbe ROC pour la discrimination. Le modèle sélectionné a donné de bons résultats en termes de discrimination (AUC 0,75) et de calibration (p-value 0,79).

Des intervalles de confiance (IC) à 95% ont été calculés et  $p < 0,05$  a été considéré comme significatif.

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R, version 4.1.0.



Tableau 6. Résultats de l'analyse univariée expliquant la non-utilisation des appareillages

Thème des variables	Variabes	Odds Ratio	CI 2,5%	CI 97,5%	p-value
Maladie / Symptômes	Information sur la maladie - entorses et perte d'équilibre	1.232	0.916	1.658	<0.20
	Information sur la maladie - Déformations du pied	1.369	0.972	1.928	<0.20
	Évaluations des déformations du pied - Évaluation radiologique	1.331	0.967	1.832	<0.20
	Conseils sur les déformations du pied - Aucun	1.341	0.927	1.939	<0.20
	Sources d'information - Internet et réseaux sociaux	1.343	0.909	1.984	<0.20
	Premiers symptômes du pied - Entorses	1.395	1.049	1.854	<0.20
	Praticiens consultés	Consultations pluriannuelles - Médecin généraliste	1.283	0.971	1.696
Consultations annuelles - Aucune		1.459	1.103	1.929	<0.05
Consultations quinquennales - Kinésithérapeute		4.887	0.783	93.861	<0.20
Appareillage orthopédique	Appareillage proposé - Orthèses plantaires	1.667	1.413	2.432	<0.05
	Réévaluation de l'appareillage dans les mois suivants - Chirurgien orthopédique	2.161	0.778	6.911	<0.20
	Prescripteur d'orthèses plantaires - Neurologue	1.411	0.976	2.046	<0.20
	Prescripteur d'orthèses plantaires - Podologue	1.526	0.986	2.361	<0.20
	Buts des orthèses plantaires - Correction de la position du pied pendant la marche	1.372	1.037	1.816	<0.05
	Objectifs de l'AFO :				<0.05
	Prévention de l'accrochage des orteils (Référence)	1	1	1	
	Prévention de l'instabilité	2.363	0.948	5.888	
	Prévention des chutes	2.518	1.069	5.932	
	Prévention de la douleur/des problèmes cutanés	2.941	0.74	11.696	
	Correction de la position du pied pendant la marche	3.609	1.591	8.185	
	Correction des déformations	4.351	1.484	12.753	
	Temps de renouvellement de l'appareillage :				<0.05
	Tous les deux à cinq ans (Référence)	1	1	1	
	Une fois par an	0.997	0.558	1.782	
	Une fois tous les deux ans	1.448	0.749	2.799	
Tous les cinq ans ou plus	2.901	1.213	6.936		
Perception de l'individu	Domaine dans lequel le participant souhaite être davantage soutenu - Choix des solutions thérapeutiques	1.212	0.908	1.619	<0.20

Point à améliorer - Suivi des solutions thérapeutiques	1.381	1.044	1.825	<0.20
Évaluation des soins médicaux et paramédicaux :				<0.0001
Bon (Référence)	1	1	1	
Suffisante	0.941	0.633	1.399	
Insuffisante	1.420	0.957	2.111	
Mauvaise	5.986	3.152	11.368	

Tableau 7. Résultats de l'analyse univariée des facteurs qui réduisent le risque de non-utilisation

Thème des variables	Variables	Odds Ratio	CI 2,5%	CI 97,5%	p-value
Âges	Âge de diagnostic	0.989	0.982	0.997	<0.05
	Âge au moment des premières chaussures orthopédiques	0.987	0.976	0.997	<0.05
	Âge des premiers symptômes au niveau du pied	0.985	0.977	0.993	<0.0001
	Âge au moment des premières AFOs	0.984	0.972	0.996	<0.05
	Âge actuel	0.982	0.974	0.990	<0.0001
Maladie / Symptômes	Les premiers symptômes du pied étaient-ils reliés à la maladie CMT ? - Neurologue	0.677	0.389	1.174	<0.20
	Conseils sur les déformations du pied - Appareils orthopédiques	0.542	0.298	0.985	<0.05
	Sources d'information sur la maladie - Association CMT	0.364	0.116	0.976	<0.20
	Évaluation des déformations du pied - Aucune	0.318	0.070	1.073	<0.20
	Évaluation des déformations du pied - Évaluation musculaire	0.753	0.569	0.998	<0.05
	Réévaluation des déformations du pied en cas de :				<0.001
	Douleur (Référence)	1	1	1	
	Progression des déformations	0.752	0.365	1.524	
	Perte de force musculaire	0.507	0.254	0.991	
	Renouvellement des chaussures orthopédiques/AFOs	0.312	0.159	0.593	
	Renouvellement des orthèses plantaires	0.469	0.247	0.868	
	Aucune	0.689	0.368	1.261	
Praticiens consultés	Consultations pluriannuelles - Kinésithérapeute	0.763	0.576	1.010	<0.05
	Consultations biennales - podorthoésiste/orthoprothésiste	0.574	0.291	1.133	<0.20
	Consultations annuelles - podorthoésiste/orthoprothésiste	0.475	0.325	0.696	<0.0001
	Consultations pluriannuelles - podorthoésiste/orthoprothésiste	0.449	0.304	0.662	<0.0001

	Consultations quinquennales - Podologue	0.424	0.13	1.390	<0.20
Appareillage orthopédique	Réévaluation de l'appareillage dans les mois suivants - Effectuée	0.632	0.457	0.873	<0.05
	Réévaluation de l'appareillage dans les mois suivants - Neurologue	0.649	0.398	1.058	<0.20
	Réévaluation de l'appareillage dans les mois suivants - Médecin MPR	0.532	0.338	0.839	<0.05
	Renouvellement de l'appareillage - Effectué	0.234	0.168	0.326	<0.0001
	Renouvellement de l'appareillage - Médecin MPR	0.591	0.409	0.855	<0.05
	Renouvellement de l'appareillage - Neurologue	0.526	0.345	0.803	<0.05
	Renouvellement de l'appareillage - Médecin généraliste	0.459	0.343	0.617	<0.0001
	Visite de contrôle de l'appareillage - Effectuée	0.509	0.381	0.679	<0.0001

Tableau 8. Résultats du modèle de régression logistique multivariée

Thème des variables	Variables	Odds Ratio	CI 2,5%	CI 97,5%	p-value
Maladie / Symptômes	Évaluation des déformations du pied - Aucune	0.135	0.027	0.507	<0.05
	Informations sur la maladie - Déformations du pied	1.480	1.008	2.184	<0.05
Praticiens consultés	Consultations pluriannuelles - Médecin généraliste	1.694	1.232	2.339	<0.001
	Consultations quinquennales - Kinésithérapeute	10.455	1.213	261.152	<0.05
Appareillage orthopédique	Renouvellement de l'appareillage - Médecin généraliste	0.228	0.156	0.330	<0.0001
	Renouvellement de l'appareillage - Neurologue	0.273	0.164	0.449	<0.0001
	Renouvellement de l'appareillage - Médecin MPR	0.347	0.219	0.543	<0.0001
	Prescripteur d'orthèses plantaires - Neurologue	1.756	1.164	2.666	<0.05
	Visite de suivi pour l'appareillage - Effectuée	0.649	0.467	0.902	<0.05
Perception de l'individu	Évaluation des soins médicaux et paramédicaux :				<0.0001
	Bonne (Référence)	1	1	1	
	Suffisante	0.913	0.592	1.409	
	Insuffisante	1.339	0.869	2.067	
	Mauvaise	5.354	2.761	10.891	

### 3 Résultats

#### 3.1 Échantillon

Sur les 1300 membres de CMT-France, 940 ont répondu (72,3%) (Figure 50. Flow chart d'inclusion des répondants).

L'âge moyen était de 52,9 (SD 16,9) ans au moment de l'enquête ; 21,5 (SD 18,4) ans au moment des premiers symptômes du pied ; 31,5 (SD 19,3) ans au moment du diagnostic ; 27,7 (SD 18,3) ans au moment de la prescription des premières orthèses plantaires ; 37,2 (SD 19,1) ans lors de la prescription des premières chaussures orthopédiques et 41,2 (SD 19,4) ans lors de la prescription de la première AFO (Figure 51. Chronologie relative au besoin d'appareillage).

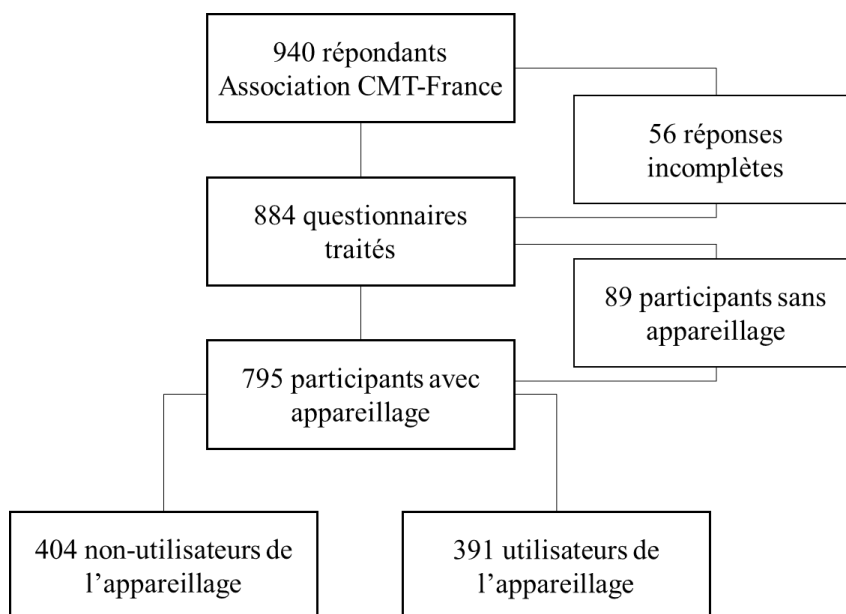


Figure 50. Flow chart d'inclusion des répondants

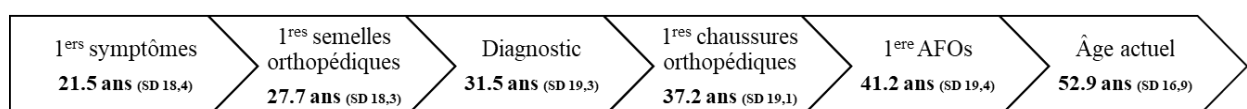


Figure 51. Chronologie relative au besoin d'appareillage

Au total, 795 participants avaient eu une prescription et/ou reçus au moins un appareillage, et 404 des 795 participants (50,8%) ont déclaré avoir cessé d'utiliser leur appareillage (Figure 50). Leur âge moyen (50,5 [SD 16,4] ans) différait significativement de l'âge moyen des 391 participants qui continuaient à utiliser leurs appareillages (55,5 [17,0] ans) ( $p < 0,0001$ ).

### **3.2 Évaluation des déformations du pied**

L'évaluation des déformations du pied comprenait une évaluation des points d'appui (avec ou sans dispositif de mesure technique) pour 535/795 (67,3%) participants, une évaluation qualitative de la marche pour 439/795 (55,2%), une évaluation de la force musculaire pour 346/795 (43,5%) et des radiographies pour 205/795 (25,8%).

Le plus souvent, seuls les points d'appui du pied ont été évalués (153/795, 19,2%). L'évaluation des points d'appui était associée à une évaluation de la force musculaire et à une évaluation de la marche pour 97/795 (12,2%) des cas ; pour 95/795 (11,9%) des cas, seule une évaluation de la marche était associée. Seuls 66/795 (8,3%) ont subi une évaluation complète.

Les déformations du pied ont été réévaluées en raison de la nécessité de renouveler les orthèses plantaires (185/795, 23,3%) ou les chaussures orthopédiques/AFOs (140/795, 17,6%), d'une évolution de la force musculaire (102/795, 12,8%), d'une évolution des déformations (80/795, 10,1%) ou de la douleur (55/795, 6,9%). Au total, 233/795 (29,3%) participants n'ont jamais fait réévaluer leurs déformations du pied.

Un total de 256/795 (32,2%) participants avaient bénéficié d'une chirurgie du pied.

### **3.3 Praticiens consultés**

La plupart des participants ont été suivis par un neurologue (530/795, 66,7%), un kinésithérapeute (484/795, 60,9%), un médecin généraliste (475/795, 59,7%), un podologue (spécialiste des orthèses plantaires) (367/795, 46,2%), un podo-orthésiste/orthoprothésiste (317/795, 39,9%) ou un médecin MPR (225/795, 28,3%). Le tableau 9 présente les fréquences de consultation de ces praticiens.

Tableau 9. Fréquence des consultations

Spécialité	Pluri- annuelle n (%)	Annuelle n (%)	Biennale n (%)	Quinquen- nale n (%)	Total n (%)	Non consulté n (%)	Total n (%)
Neurologue	153 (19.2)	157 (19.8)	136 (17.1)	84 (10.6)	<b>530</b> <b>(66.7)</b>	265 (33.3)	795 (100.0)
Kinésithérapeute	451 (56.7)	17 (2.1)	10 (1.3)	6 (0.8)	<b>484</b> <b>(60.9)</b>	311 (39.1)	795 (100.0)
Médecin généraliste	385 (48.4)	59 (7.4)	20 (2.5)	11 (1.4)	<b>475</b> <b>(59.7)</b>	320 (40.3)	795 (100.0)
Podologue	201 (25.3)	109 (13.7)	44 (5.6)	13 (1.6)	<b>367</b> <b>(46.2)</b>	428 (53.8)	795 (100.0)
Podo-orthésiste / orthoprothésiste	133 (16.7)	137 (17.2)	37 (4.7)	10 (1.3)	<b>317</b> <b>(39.9)</b>	478 (60.1)	795 (100.0)
Médecin MPR	83 (10.4)	76 (9.6)	43 (5.4)	23 (2.9)	<b>225</b> <b>(28.3)</b>	570 (71.7)	795 (100.0)

### 3.4 Prescription, adaptation, suivi, évaluation et renouvellement

Au total, 661/795 (83,1%) participants ont bénéficié d'orthèses plantaires, 436/795 (54,8%) de chaussures orthopédiques et 364/795 (45,8%) d'AFOs.

Le tableau 10 montre les cliniciens qui ont prescrit les appareillages et le tableau 11 montre les objectifs des participants pour ces appareillages.

Une visite de suivi de l'appareillage a été effectuée pour 308/795 (38,7%) des participants et l'appareillage a été réévalué dans les mois suivant sa livraison pour 201/795 (25,3%) des participants. Les cliniciens qui ont effectué la réévaluation étaient un médecin MPR (89/795, 11,2%), un neurologue (73/795, 9,2%), un médecin généraliste (35/795, 4,4%) ou un chirurgien (16/795, 2,0%).

L'appareillage a été renouvelé pour 547/795 (68,8%) des participants. Il a été renouvelé principalement par le médecin généraliste (292/795, 36,7%), le médecin MPR (142/795, 17,9%), le neurologue (105/795, 13,2%) ou le chirurgien (36/795, 4,5%). L'appareillage a été renouvelé annuellement (348/795, 43,8%), bisannuellement (107/795, 13,4%), tous les 2 à 5 ans (57/795, 7,2%), ou  $\geq 5$  ans (35/795, 4,4%).

Tableau 10. Prescripteur de l'appareillage

Prescripteur	Orthèses plantaires	Chaussures		AFOs
	n (%)	orthopédiques	n (%)	n (%)
Médecin généraliste	286 (38.2)	78 (17.9)		57 (15.7)
Neurologue	140 (18.7)	100 (22.9)		94 (25.8)
Podologue	95 (12.7)	9 (2.1)		17 (4.7)
Médecin MPR	92 (12.3)	132 (30.3)		107 (29.4)
Chirurgien orthopédique	63 (8.4)	41 (9.4)		20 (5.5)
Aucun	72 (9.7)	76 (17.4)		69 (18.9)
Total	748 (100.0)	436 (100.0)		364 (100.0)

Tableau 11. Objectif des appareillages

Objectifs de l'individu atteint de CMT	Orthèses plantaires	Chaussures orthopédiques	AFOs
	n (%)	n (%)	n (%)
Améliorer la position du pied à la marche	361 (25.5)	107 (24.6)	101 (27.7)
Améliorer la stabilité	327 (23.2)	62 (14.2)	49 (13.5)
Prévenir l'aggravation des déformations	260 (18.4)	66 (15.1)	25 (6.9)
Prévenir les chutes	189 (13.4)	52 (11.9)	71 (19.5)
Prévenir l'accrochage des orteils	111 (7.9)	13 (3.0)	39 (10.7)
Réduire la douleur/problèmes cutanés dans les chaussures habituelles	92 (6.5)	64 (14.7)	12 (3.3)
Aucun objectif	72 (5.1)	72 (16.5)	67 (18.4)
Total	1412 (100.0)	436 (100.0)	364 (100.0)

### 3.5 Non-utilisation de l'appareillage

Les tableaux 6, 7, et 8 présentent les résultats des analyses univariées et multivariées qui expliquent les raisons de l'utilisation et de la non-utilisation des appareillages.

#### 3.5.1 Facteurs augmentant la non-utilisation

Au total, 661 individus ont reçu une prescription pour des orthèses plantaires. Parmi ces individus, 350 faisaient partie du groupe de non-utilisation (52,9%). Sur les 436 individus qui avaient eu une prescription de chaussures orthopédiques, 218 (50%) faisaient partie du groupe de non-utilisation, et sur les 364 personnes qui avaient eu une prescription d'AFOs, 178 (48,9%) faisaient partie du groupe de non-utilisation.

L'âge à l'apparition des premiers symptômes du pied (19,0 [SD 17,0] ans contre 24,1 [SD 19,6] ans) ( $p < 0,05$ ), et l'âge de diagnostic de la maladie CMT (29,6 [SD 18,6] ans contre 33,5 [SD 19,8] ans) ( $p < 0,05$ ) étaient plus bas chez les non-utilisateurs que chez les utilisateurs.

Les participants qui n'utilisaient plus d'appareillages ont indiqué un total de 681 raisons de non-utilisation, regroupées comme suit :

- mauvaise adaptation (146/681, 21,4%)
- ne s'adaptait pas aux chaussures de tous les jours (108/681, 15,9%)
- manque d'esthétique (96/681, 14,1%)
- douleurs/problèmes cutanés (86/681, 12,6%)
- manque d'efficacité perçu (76/681, 11,2%)
- n'est plus adapté (62/681, 9,1%)
- trop lourd (60/681, 8,8%)
- peur de perdre de la force musculaire à cause de l'utilisation constante (47/681, 6,9%).

Une plus grande proportion de non-utilisateurs n'ont pas subi d'évaluation de suivi de leurs déformations du pied (132/391, 32,7%) par rapport aux utilisateurs (101/391, 25,8%) ( $p < 0,05$ ).

Les participants qui n'ont pas utilisé leurs appareillages ont eu moins de rendez-vous de contrôle (125/404, 30,9% contre 183/391, 46,8%) ( $p < 0,0001$ ) et de rendez-vous de réévaluation (85/404, 21,0% contre 116/391, 29,7%) ( $p < 0,05$ ).

Les non-utilisateurs de chaussures orthopédiques avaient une prescription à un âge plus jeune que les utilisateurs (34,7 ans contre 39,6 ans) ( $p < 0,05$ ) ; c'était également le cas pour les AFOs (37,8 ans contre 44,2 ans) ( $p < 0,05$ ).

La prise en charge globale était plus souvent qualifiée de mauvaise (71/404, 17,6% contre 15/391, 3,8%) et moins souvent qualifiée de bonne (29,5% contre 40,9%) par les non-utilisateurs ( $p < 0,0001$ ).

L'amélioration de la prise en charge générale et du suivi de leur maladie a été plus souvent déclarée nécessaire par les non-utilisateurs (207/404, 51,2% contre 169/391, 43,2%) ( $p < 0,05$ ).

Les régressions logistiques univariées ont révélé 5 facteurs importants associés à la non-utilisation. Parmi les différents types de symptômes initiaux, les entorses de la cheville étaient les plus fortement associées au risque de non-utilisation (OR=1,395 ;  $p < 0,20$ ). L'absence de suivi annuel était associée à un risque de non-utilisation (OR=1,459 ;  $p < 0,05$ ). La réévaluation par le chirurgien orthopédique était quelque peu liée à la non-utilisation (OR=2,161 ;  $p < 0,20$ ). Lorsque les orthèses plantaires étaient prescrites pour gérer la position du pied pendant la



marche, la non-utilisation était plus probable (OR=1,372 ;  $p < 0,05$ ). Le renouvellement quinquennal des appareillages était lié à la non-utilisation (OR=2,901 ;  $p < 0,05$ ).

Le modèle de régression logistique multivariée a mis en évidence plusieurs déterminants de la non-utilisation. Les rendez-vous sporadiques en kinésithérapie (OR=10,455 ;  $p < 0,05$ ) et les visites multiples chez le médecin généraliste au cours de l'année étaient des déterminants importants de la non-utilisation (OR=1,694 ;  $p < 0,001$ ). La prescription d'orthèses plantaires par un neurologue était liée à la non-utilisation (OR=1,756 ;  $p < 0,05$ ).

### **3.5.2 Facteurs réduisant la non-utilisation**

La force musculaire (en rapport avec les déformations du pied) a été évaluée significativement plus souvent chez les utilisateurs que chez les non-utilisateurs (184/795, 47,1% contre 162/795, 40,1%) ( $p < 0,05$ ). Les déformations ont été réévaluées au moment du renouvellement des chaussures orthopédiques plus fréquemment chez les utilisateurs (88/391, 22,5%) que chez les non-utilisateurs (52/404, 12,9%) ( $p < 0,05$ ). La réévaluation par le médecin MPR était significativement plus fréquente chez les utilisateurs (56/391, 14,3%) que chez les non-utilisateurs (33/404, 8,2%) ( $p < 0,05$ ). Lorsqu'une AFO était prescrite pour prévenir l'accrochage des orteils, la non-utilisation était moins fréquente (29/391, 7,4% contre 10/404, 2,5%) ( $p < 0,05$ ).

Les consultations multiples (87/391, 22,3% contre 46/404, 11,4%) et annuelles (88/391, 22,5% contre 49/404, 12,1%) chez le podologue/orthoprothésiste étaient significativement plus fréquentes chez les utilisateurs ( $p < 0,0001$ ).

Les régressions logistiques univariées ont mis en évidence 3 facteurs importants qui réduisent la non-utilisation. Un âge moyen d'apparition des symptômes du pied plus tardif (24,1 [SD 19,6] ans) réduit le risque de non-utilisation (OR=0,985 ;  $p < 0,0001$ ). La réévaluation de l'appareillage dans les mois suivant sa remise (OR=0,632 ;  $p < 0,01$ ), en particulier par le médecin MPR, a réduit le risque de non-utilisation (OR=0,532 ;  $p < 0,01$ ).

Le modèle de régression logistique multivariée a mis en évidence plusieurs facteurs réduisant la non-utilisation. Le renouvellement de l'appareillage par le médecin traitant (OR=0,228 ;  $p < 0,0001$ ), le neurologue (OR=0,273 ;  $p < 0,0001$ ) et le médecin MPR (OR=0,347 ;  $p < 0,0001$ )

est associé à l'utilisation de l'appareillage. Le suivi par le professionnel qui a réalisé l'appareillage réduit le risque de non-utilisation (OR=0,649 ;  $p < 0,05$ ).

### **3.6 Exemple de parcours**

À partir de l'ensemble de ces résultats, nous avons élaboré le schéma d'un parcours associé à l'utilisation de l'appareillage (Figure 52), et d'un parcours associé à la non-utilisation (Figure 53).

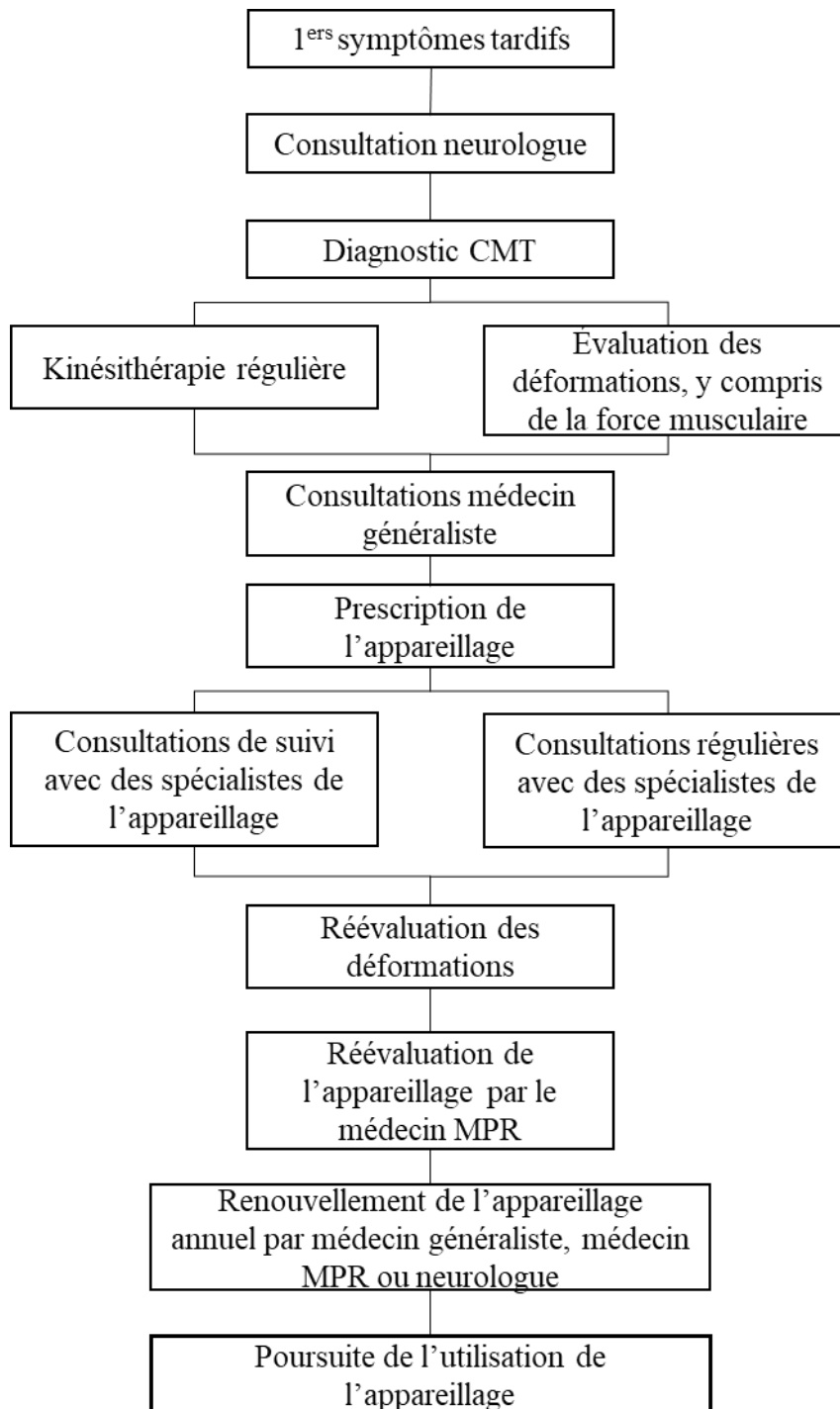


Figure 52. Exemple de parcours d'un patient associé à l'utilisation de l'appareillage

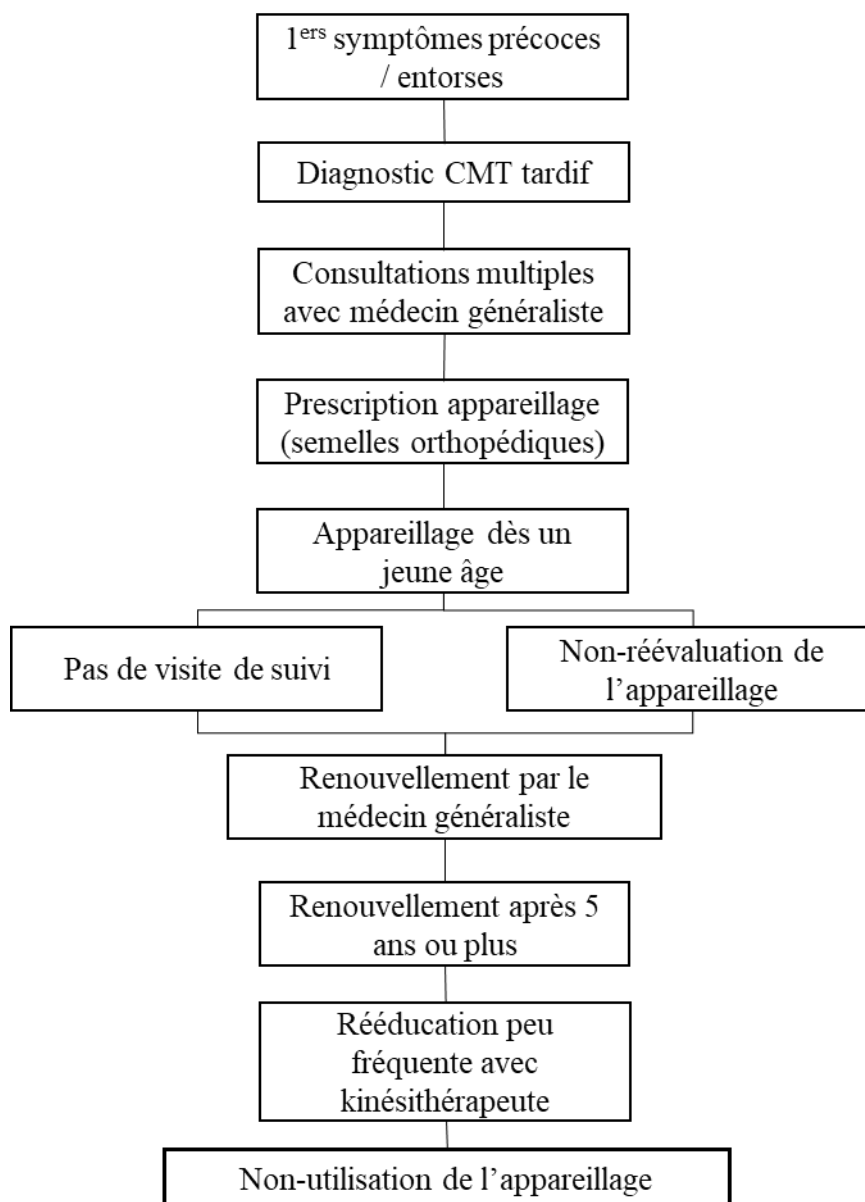


Figure 53. Exemple de parcours d'un patient associé à la non-utilisation de l'appareillage

#### 4 Discussion

Cette vaste enquête menée auprès d'individus atteints de CMT vivant en France a permis d'identifier les caractéristiques du parcours de soins liées à l'utilisation ou à la non-utilisation d'appareillage. Selon les statistiques de l'assurance maladie, l'enquête a été remplie par 3,9% des individus atteints de neuropathie héréditaire ou idiopathique en France (Assurance Maladie, 2021). Les résultats ont montré un taux de non-utilisation des appareillages de 50,8%. La raison la plus fréquente de la non-utilisation était une mauvaise adaptation. La non-utilisation était liée

au type d'appareillage, au réseau de professionnels impliqués dans la rééducation/l'appareillage et le suivi, et à la gravité du handicap causé par la maladie de CMT.

#### **4.1 Impact du parcours de soins sur l'utilisation et la non-utilisation des appareillages**

En utilisant les caractéristiques du parcours de soins liées à l'utilisation et à la non-utilisation des appareillages, des exemples de parcours ont été élaborés (Figures 52 et 53).

#### **4.2 Âge à l'apparition des symptômes et premières prescriptions**

La première caractéristique était l'âge au moment de l'apparition des symptômes. Les participants qui étaient plus jeunes au moment de l'apparition des premiers symptômes au niveau du pied ont plus souvent renoncé à l'utilisation des appareillages. Une apparition précoce de la maladie CMT indique généralement une forme plus grave de la maladie (Chung, 2006). Ces participants peuvent avoir eu plus de difficultés à s'adapter que ceux dont l'apparition est plus tardive. En outre, les orthèses plantaires peuvent avoir été rapidement insuffisantes, avec une progression nécessaire vers des chaussures orthopédiques et/ou des AFOs (Sautreuil et al., 2016; Scheffers et al., 2012).

La prescription à un jeune âge a été associée à la non-utilisation. Ces personnes peuvent avoir eu une forme plus sévère de la maladie, rendant la prise en charge plus complexe, ou elles peuvent avoir fini par se lasser d'utiliser des appareillages, notamment pour des raisons esthétiques et de mauvaise adaptation (Lahoud et al., 2021). En outre, le bénéfice perçu peut être plus important lorsque les AFOs sont prescrites plus tard, lorsque les symptômes sont plus sévères (Ramdharry, Pollard, et al., 2012). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les AFOs peuvent aider à minimiser un pied tombant devenu plus gênant, limitant ainsi la fatigue musculaire compensatoire dans les muscles proximaux (Ramdharry et al., 2009; Ramdharry, Pollard, et al., 2012). La littérature montre que malgré le fait que certains individus perçoivent une amélioration au niveau de leur marche, si les AFOs ne répondent pas aux attentes des utilisateurs, leur utilisation est réduite (Phillips et al., 2011; Vinci & Gargiulo, 2008; Zuccarino et al., 2021).

#### **4.3 Entorses**

Il est intéressant de noter que les appareillages sont plus souvent inutilisés lorsque les premiers symptômes sont des entorses de la cheville. Cela suggère que les conceptions actuelles de nombreuses orthèses sont inappropriées. Les orthèses plantaires sont principalement indiquées

pour les déformations en *pes cavus* accompagnées de douleurs (Scheffers et al., 2012), et sont surtout conçues pour répartir la pression (AFM Téléthon, 2015; Gilardeau, 2010) ; si elles ne sont pas associées à une rééducation proprioceptive ou ne prennent pas en compte les modifications de l'amplitude articulaire (réduction de la dorsiflexion de la cheville), il est peu probable qu'elles contribuent à la stabilité. La prescription d'AFOs est recommandée en cas d'aggravation des déformations du pied et des troubles de l'équilibre associés (Scheffers et al., 2012).

#### **4.4 Consultation pour le diagnostic et la prescription**

Nous avons observé que les orthèses plantaires étaient prescrites en moyenne 6 ans après les premiers symptômes du pied, et 4 ans avant le diagnostic. Le diagnostic de la maladie est posé environ 10 ans après les premiers symptômes.

L'absence de diagnostic ne permet pas aux professionnels de l'appareillage de prendre en compte les facteurs liés à la maladie, tels que l'apparition de déformations. La consultation d'un neurologue permet un diagnostic plus rapide, ce qui peut expliquer que les consultations multiples chez le médecin généraliste ne soient pas associées à l'utilisation de l'appareillage (Jani-Acsadi et al., 2008). Cependant, la prescription d'orthèses plantaires par le neurologue semble conduire à leur non-utilisation, alors que le simple renouvellement des appareillages par le neurologue ou le médecin généraliste favorise leur utilisation. Le rôle de ces deux professionnels n'est pas d'assurer un suivi à long terme des orthèses, mais ils ont un rôle important dans le renouvellement de la prescription de l'appareillage. Cela souligne donc la nécessité d'une prise en charge neuro-orthopédique spécialisée dans la maladie de CMT, en particulier pour la prescription initiale des appareillages (Küçükdeveci et al., 2019; Lazovic et al., 2021).

#### **4.5 Évaluation de la déformation du pied et rôle de la kinésithérapie**

Environ 25% des personnes atteintes de CMT ne présentent pas de déformations du pied (Laurá et al., 2018) et ne font donc pas l'objet d'une évaluation des déformations. Nos résultats montrent que les participants qui n'ont pas fait l'objet d'une évaluation formelle des déformations du pied ont utilisé leurs appareillages ; par conséquent, nous émettons l'hypothèse que ces participants n'avaient pas de déformations, mais qu'ils avaient besoin d'une prise en charge par appareillage pour soulager la douleur, aider au positionnement du pied ou réduire la chute du pied (N. Johnson et al., 2016).

Les taux de non-utilisation les plus élevés ont été observés chez les participants qui n'ont subi qu'une seule évaluation, sans évaluation de suivi. Dans le contexte de la maladie CMT, les déformations évoluent généralement avec le temps et doivent être réévaluées régulièrement (Beals & Nickisch, 2008). Nos résultats ont montré que l'évaluation multimodale des déformations du pied était rare (8,3%). Ils ont également montré que l'évaluation de la force musculaire réduisait la non-utilisation. Une évaluation approfondie de la force et de la longueur des muscles, ainsi que des forces agissant sur la cheville et le pied, est essentielle pour s'assurer que les appareillages sont bien adaptés à l'individu.

Il est intéressant de noter que des séances fréquentes de kinésithérapie ont été associées à des taux de non-utilisation plus faibles, ce qui confirme les théories relatives à la physiopathologie des déformations (Beals & Nickisch, 2008; Holmes & Hansen, 1993; Karakis et al., 2013; Krause & Iselin, 2012; Tynan et al., 1992). Le renforcement musculaire et les étirements peuvent contribuer à réduire les forces de déformation sur les articulations, augmentant ainsi l'efficacité des orthèses.

#### **4.6 Consultations de suivi**

L'absence de consultations médicales ou paramédicales annuelles est associée à la non-utilisation des appareillages. Cela peut s'expliquer par le fait que l'appareillage n'était plus adapté au pied de l'individu en raison de la progression de la maladie, de la détérioration de la démarche et de l'aggravation des déformations du pied. D'après notre expérience, dans des maladies telles que CMT, le suivi doit être régulier et tout dispositif doit être revu et adapté au moins une fois par an (AFM Téléthon, 2015; Haute Autorité de Santé, 2018). Ceci est corroboré par le fait que des consultations fréquentes avec le podologue/orthésiste/orthoprothésiste réduisent la non-utilisation. Un suivi régulier de l'individu permet de prendre en compte ses besoins expérientiels concernant l'appareillage (Lahoud et al., 2021). Ce suivi peut également mettre en évidence le besoin d'appareillages supplémentaires sur mesure (chaussures orthopédiques + orthèses plantaires ou chaussures orthopédiques + AFOs).

#### **4.7 Prescription de l'appareillage**

Les orthèses plantaires sont les appareillages les plus fréquemment prescrits, mais le taux de non-utilisation est le plus élevé en raison d'une mauvaise adaptation.

Bien que les orthèses plantaires, les chaussures orthopédiques et les AFOs puissent être prescrites pour améliorer la position du pied, certaines personnes souhaitent une correction de

la position de leur pied pour des raisons esthétiques ; les orthèses plantaires n'améliorent généralement pas les aspects esthétiques de la marche et leur utilisation peut donc être interrompue pour cette raison.

En outre, comme les orthèses plantaires sont souvent prescrites avant le diagnostic de CMT, il est peu probable que la nécessité d'un suivi et d'une surveillance réguliers ait été prise en compte à ce moment-là.

Jusqu'à 23% des personnes atteintes de différentes maladies peuvent cesser d'utiliser des chaussures orthopédiques ; 26% des individus atteints de la poliomyélite et 80% des individus atteints de CMT cessent d'utiliser leurs AFOs, en particulier pour des raisons de mauvaise adaptation et d'inconfort ; les données concernant les orthèses plantaires semblent manquer (Jannink et al., 2005; Ploeger et al., 2020; Swinnen & Kerckhofs, 2015). Ces résultats concordent avec notre étude, qui a révélé un taux de non-utilisation des appareillages de 50,8%. Nos résultats fournissent des informations importantes sur le taux de non-utilisation des appareillages, y compris les orthèses plantaires : la non-utilisation peut être liée au remboursement partiel des orthèses plantaires par l'assurance maladie française et au non-remboursement des consultations chez le podologue (*Code de La Santé Publique - Article D. 4322-1-1. Décret N°2019-835 Du 12 Août 2019.*, 2022).

Des études antérieures ont montré que les principales raisons de la non-utilisation sont l'aspect inesthétique des chaussures orthopédiques, les difficultés d'adaptation (c'est-à-dire dans les chaussures habituelles, etc.), l'inconfort et/ou la douleur, et l'absence d'amélioration de la marche (Phillips et al., 2011; Swinnen & Kerckhofs, 2015; Vinci et al., 2010; Zuccarino et al., 2021). Nos résultats confirment ces conclusions. Plus précisément, l'adaptation (immédiate et à long terme), le poids et la taille des appareillages, ainsi que la douleur et les problèmes cutanés ont été associés à la non-utilisation.

Le fait que l'inconfort (Menz & Bonanno, 2021) et l'aspect inesthétique soient des facteurs majeurs liés à la non-utilisation des appareillages souligne la complexité de la prise en charge en termes de questions neurophysiologiques et de facteurs psychologiques. La prise en charge orthétique devrait suivre les principes biopsychosociaux (Engel, 1977; McKee & Rivard, 2011), l'individu étant considéré comme un expert. Le raisonnement clinique concernant l'appareillage ne devrait plus se concentrer uniquement sur la fonction, mais intégrer les besoins des utilisateurs sur la base de leur expérience (Lahoud et al., 2021; Lobo et al., 2019).



#### **4.8 Suivi de l'appareillage**

Les résultats de cette étude suggèrent que l'utilisation de l'appareillage est étroitement liée au réseau de professionnels impliqués dans la prise en charge orthétique.

Les résultats soulignent la nécessité d'une consultation de suivi avec le podologue ou le podorthésiste/orthoprothésiste dans les semaines qui suivent la remise des orthèses et chaussures orthopédiques, afin qu'elles puissent être adaptées si nécessaire (AFM Téléthon, 2015). Nous avons constaté que l'absence d'un tel suivi était un facteur majeur de non-utilisation. De plus, l'absence de réévaluation de l'appareillage par les professionnels prescripteurs semble augmenter le risque de non-utilisation. En revanche, le suivi de l'évaluation et du renouvellement des appareillages par le médecin de MPR réduit le risque de non-utilisation. Ce professionnel est un spécialiste de la prescription de chaussures orthopédiques et d'AFOs en France (Sécurité Sociale - L'Assurance Maladie, 2022). Le suivi permet de comprendre le point de vue de l'individu (Lahoud et al., 2021) et offre ainsi la possibilité de répondre à des besoins non satisfaits en adaptant les prescriptions et les pratiques d'appareillage. En effet, dans notre expérience clinique, il peut être nécessaire d'essayer différentes solutions avant de trouver la solution optimale. L'individu peut avoir besoin d'utiliser l'appareillage pendant plusieurs semaines pour déterminer si elle lui convient et il peut être nécessaire de l'ajuster jusqu'à trois fois (AFM Téléthon, 2015). Le suivi par un médecin spécialiste semble donc important pour une utilisation correcte de l'appareillage. Ces résultats soulignent l'importance d'une prise en charge multidisciplinaire (N. Johnson et al., 2016), qui peut être entravée par la complexité des relations entre les réseaux de soins primaires et hospitaliers. Le développement de parcours de soins optimisés en neuro-orthopédie reste un défi.

#### **4.9 Limites de l'étude**

Cette étude présente plusieurs limites. Les participants ont été recrutés par l'intermédiaire de l'association CMT-France ; en général, les personnes adhèrent à l'association lorsqu'elles présentent des formes plus sévères de CMT ; les résultats sont donc probablement généralisables aux personnes présentant des formes plus sévères de la maladie.

Certains participants ont pu répondre qu'ils n'utilisaient plus leur appareillage alors qu'ils avaient simplement changé de type d'appareillage, et non pas cessé de l'utiliser, ce qui a pu fausser certains résultats. Les données relatives au renouvellement, au suivi et à la réévaluation de l'appareillage concernaient tous les différents appareillages utilisés par le participant, sans distinction entre les types d'appareillages. Ainsi, le délai moyen de renouvellement d'un an ne

reflète pas la pratique en France : les AFOs ne peuvent être renouvelées que tous les 3 ans, alors que les orthèses plantaires peuvent être renouvelées tous les ans. Ce délai correspond donc vraisemblablement au renouvellement des orthèses plantaires.

Les informations sur les déformations du pied et les évaluations réalisées sont basées sur les déclarations des participants, ce qui peut constituer une limite.

L'étude n'a pas abordé les facteurs qui limitent le suivi et la réévaluation des appareillages, tels que le remboursement. Ces facteurs devraient être évalués dans de futures études.

## **5 Conclusion**

Cette étude a montré que, dans un échantillon de 795 personnes atteintes de CMT en France, plus de la moitié n'utilisait pas l'appareillage qui leur avait été prescrit.

Le parcours de soins, la prescription et la délivrance des appareillages doivent être optimisés pour répondre aux attentes des individus atteints de la maladie CMT. L'adaptation des appareillages, les besoins de l'individu et l'évolution clinique doivent être réévalués régulièrement par les spécialistes, qu'ils soient prescripteurs ou appareilleurs, afin d'améliorer l'utilisation.

De futures études devraient évaluer les caractéristiques de chaque type d'appareillage et leur relation avec la non-utilisation chez les individus atteints de CMT.

La prise en charge par appareillage des patients en neuro-orthopédie repose notamment en routine clinique sur l'évaluation de la morphologie du pied. Le FPI-6 permet de contribuer à la création d'un langage commun relatif à l'évaluation et au diagnostic entre les différents médecins prescripteurs et les auxiliaires médicaux pouvant être à l'origine l'appareillage. L'utilisation systématisée de cet outil en France semble indispensable pour normaliser la description des déformations du pied, celui-ci paraissant être le meilleur moyen d'évaluation clinique dans le contexte de la maladie de Charcot-Marie-Tooth.

# Étude 3 : Adaptation transculturelle et fiabilité du Foot Posture Index (FPI-6) – Version française

---

Cette étude a été publiée (Annexe I) : Blouin C, Genet F, Graff W, Bonnyaud C, Perrier A (2023) Cross-cultural adaptation and reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) – French version. *Disability and Rehabilitation*. DOI: 10.1080/09638288.2023.2203524

## 1 Contexte scientifique

La morphologie du pied a un impact sur la fonction et le mouvement du pied. Comprendre les liens entre la posture statique du pied et la fonction dynamique est un défi majeur, cependant l'alignement de l'avant-pied et de l'arrière-pied fournit une indication sur la fonction globale du pied qui peut être utilisée pour guider la gestion des individus ayant des problèmes de pieds (Song et al., 1996).

La morphologie du pied est généralement évaluée en position statique. Les méthodes d'évaluation comprennent l'inspection visuelle non quantitative, les mesures anthropométriques (Brody, 1982; Jonson & Gross, 1997; Menz, 1998; Rose et al., 1985; Sell et al., 1994; D. S. Williams & McClay, 2000), les mesures d'empreintes (Cavanagh & Rodgers, 1987; Clarke, 1933; Forriol & Pascual, 1990; Goldcher, 2012, p. 202; Hawes et al., 1992; Irwin, 1937; Lelièvre, 1981; Staheli et al., 1987) ou les mesures radiographiques (Razeghi & Batt, 2002). La morphologie de chaque partie du pied est généralement décrite séparément : l'avant-pied est décrit dans le plan horizontal en fonction de l'alignement des orteils (Favreul & Mainard, 2013; Lelièvre, 1981) ; le médio-pied est décrit dans le plan sagittal en fonction de la hauteur de la voûte plantaire, et l'arrière-pied est analysé dans le plan frontal et décrit en termes de degrés de valgus ou de varus (Lelièvre, 1981; Stockley et al., 1990). Les mesures radiographiques sont considérées comme le *gold standard* (de Cesar Netto et al., 2018; K. M. Lee et al., 2010), mais elles ne fournissent que des informations structurelles uniplanaires qui peuvent ne pas correspondre à la fonction du pied (Thomas et al., 2006). En outre, les rayonnements ionisants ont des effets indésirables et la radiographie doit donc être limitée (Currey et al., 1997; Limirio et al., 2019). Les mesures cliniques, qui sont faciles et peu coûteuses à réaliser, sont souvent limitées par leur subjectivité (Cowan et al., 1994), leur manque de pertinence clinique (Hamill

et al., 1989; Hawes et al., 1992), leur focus sur un seul plan de mouvement (Langley et al., 2016), et leur faible niveau de fiabilité (Jarvis et al., 2012).

Le *Foot Posture Index* à six items (FPI-6) est un outil qui a démontré sa fiabilité et qui est également indicatif de la fonction dynamique du pied. Cet outil a été créé pour fournir un examen clinique systématique de chaque segment anatomique du pied dans les trois plans, en utilisant des critères prédéfinis (Redmond et al., 2006). C'est actuellement l'instrument le plus largement utilisé et recommandé (Banwell et al., 2018; Carrasco et al., 2021). Le FPI-6 classe la morphologie du pied en trois catégories : neutre, en pronation et en supination.

Comparé à d'autres évaluations cliniques uniplanaires couramment utilisées, le FPI-6 correspond le plus étroitement à la biomécanique de la marche (Barton et al., 2011; Buldt et al., 2013, 2015; Chuter, 2010; Cornwall & McPoil, 2011). Néanmoins, cette évaluation statique ne peut expliquer à elle seule la biomécanique de la marche et doit être considérée comme un indicateur (Buldt et al., 2015). Des études impliquant la vidéo et l'analyse du mouvement en 3D ont souligné que le FPI-6 ne peut pas prédire avec précision la dynamique du médio-pied et de l'arrière-pied (R. Nielsen et al., 2008; R. G. Nielsen et al., 2010; Paterson et al., 2015). Ces mesures doivent être utilisées comme un guide et ne sont pas destinées à prédire la fonction.

Le score FPI-6 est influencé par l'âge (Aquino et al., 2018) : des scores plus élevés ont été trouvés chez les enfants, les adolescents et chez les adultes de plus de 60 ans (Redmond et al., 2008) que chez les adultes de moins de 60 ans. Cependant, il est indépendant du sexe et de l'indice de masse corporelle (Jimenez-Cebrian et al., 2017). La fiabilité intra- et inter-évaluateurs est excellente chez les enfants (ICC intra-évaluateur = 0,87-0,91 ; ICC inter-évaluateur = 0,81-0,89) et les adultes asymptomatiques (ICC intra-évaluateur = 0,93-0,94 ; ICC inter-évaluateur = 0,85-0,86) et chez les personnes atteintes d'hémiplégie à la suite d'un accident vasculaire cérébral (ICC intra-évaluateur = 0,87-0,91 ; ICC inter-évaluateur = 0,81-0,89) (Cornwall et al., 2008; Evans et al., 2012; J. D. Lee et al., 2015; McLaughlin et al., 2016; Morrison & Ferrari, 2009), et l'outil est fiable, même lorsqu'il est utilisé par des cliniciens inexpérimentés (McLaughlin et al., 2016). Des études menées sur 619 (Redmond et al., 2008) et 930 adultes (Rokkedal-Lausch et al., 2013) et 3217 enfants (Gijon-Nogueron et al., 2019) ont trouvé des scores de +3 et +4 points, montrant une tendance à la pronation du pied dans la population générale.

Le FPI-6 semble être l'outil d'évaluation morphologique le plus pertinent pour l'analyse des déformations neurologiques et de leur impact sur la fonction du pied (Redmond et al., 2008). Il est largement utilisé dans le domaine de la neuro-orthopédie (Burns et al., 2008, 2009; Crosbie et al., 2008).

Les scores FPI-6 sont corrélés aux pressions plantaires dynamiques chez les adultes asymptomatiques et chez les enfants présentant des déformations de type *pes planus* (Buldt et al., 2018; J. S. Lee et al., 2015; Sánchez-Rodríguez et al., 2012; Teyhen et al., 2011). Les scores sont également corrélés avec les mesures radiologiques du pied chez les adultes et les enfants symptomatiques et non symptomatiques (Cho et al., 2020; J. S. Lee et al., 2015). Par conséquent, le FPI-6 semble être un outil pertinent pour standardiser la pratique clinique et évaluer l'effet des appareillages orthopédiques et de la chirurgie sur la morphologie du pied.

L'utilisation du FPI-6 en France est actuellement limitée par le fait qu'il est en anglais. De plus, les définitions de certains des termes anglais utilisés dans l'index sont variables (McDonald & Tavener, 1999) et de légères différences peuvent exister avec les définitions françaises des mêmes termes. Par conséquent, pour être utilisé dans les pays francophones, le FPI-6 doit être traduit et adapté sur le plan culturel, comme cela a été fait pour la version portugaise-brésilienne (Martinez et al., 2021).

Le premier objectif de cette étude était de traduire et d'adapter de manière transculturelle le FPI-6 pour une utilisation dans les pays francophones. Le second objectif était de déterminer la fiabilité intra- et inter-juges du FPI-6 français.

## **2 Méthode**

Cette étude a comporté deux phases : 1) traduction-retraduction et adaptation transculturelle et 2) évaluation de la fiabilité auprès de personnes asymptomatiques. L'étude a été approuvée par le Comité d'Éthique de la Recherche de l'Université Paris Saclay (référence CER-Paris-Saclay-2021-007). Nous avons obtenu la permission de l'Université de Leeds et des auteurs du FPI-6 original pour cette adaptation transculturelle.

## 2.1 Adaptation transculturelle

L'adaptation transculturelle du FPI-6 a suivi la méthode de référence décrite par Beaton et al. (Beaton et al., 2000) (Figure 54). La version originale (V0) du FPI-6 a été traduite en français par deux francophones natifs indépendamment. Les deux versions résultantes, V1 et V1', ont été revues par un comité de trois experts en orthopédie qui ont produit une version française consensuelle, V2. Cette version a ensuite été retraduite en anglais par deux traducteurs de langue maternelle anglaise (J.R. et I.N.) de façon indépendante. Les deux versions résultantes, V3 et V3', ont été comparées à V0 par le comité d'experts, qui a discuté de toute divergence avec les deux traducteurs de langue maternelle anglaise. Une version française préfinale et consensuelle, V4, a ensuite été produite.

L'adaptation transculturelle a ensuite été effectuée en soumettant V4 à 30 cliniciens francophones (Pourtier-Piotte et al., 2015; Wild et al., 2005) qui avaient chacun au moins cinq ans d'expérience dans le domaine de la réadaptation (sept chirurgiens orthopédiques, cinq médecins de médecine physique et de réadaptation, neuf podologues et neuf kinésithérapeutes). Les cliniciens ont été invités à évaluer la clarté de chaque item à l'aide d'une échelle de Likert à 7 points (Likert, 1932) sur laquelle 1 = "Pas du tout clair" et 7 = "Parfaitement clair". Tous les items notés quatre ou moins ont été soumis au comité d'experts et aux deux traducteurs de langue maternelle anglaise pour discussion et modification. Cette étape a abouti à la création de la version finale (V5).

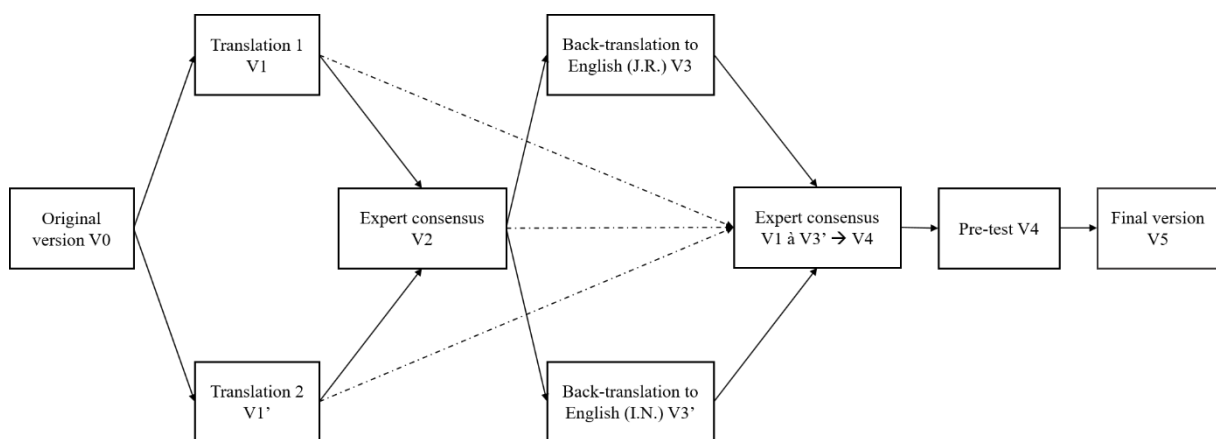


Figure 54. Processus d'adaptation transculturelle

## **2.2 Participants et évaluation du FPI-6**

La fiabilité a été testée chez des adultes asymptomatiques (Terwee et al., 2007). Les participants ont été recrutés parmi le personnel soignant de l'hôpital Raymond Poincaré, Garches, France. Les critères d'inclusion étaient les suivants : âge compris entre 18 et 59 ans, absence de douleur au pied en position debout ou à la marche, et tout type de morphologie de pied (y compris l'asymétrie gauche-droite) tant qu'aucune douleur n'était présente.

Les critères de non-inclusion étaient la présence d'une malformation (congénitale ou autre) empêchant une partie du pied de toucher le sol ; une blessure musculo-squelettique des membres inférieurs avec des lésions anatomiques du tissu osseux, musculaire ou ligamentaire (Al-Mohrej & Al-Kenani, 2016; Rodineau & Saillant, 2002) datant de moins de trois mois (Coudreuse, 2013; D'Hooghe et al., 2020; Grigoryan et al., 2003; Tassignon et al., 2019) ; une douleur dans les membres inférieurs lors de la station debout ou de la marche ; une incapacité à rester debout pendant plus de trois minutes sans aide technique ; une amputation ; des problèmes d'équilibre ; et une grossesse ou un allaitement.

On a demandé aux participants de marcher sur place avant d'adopter une position de posture détendue pour l'évaluation (Redmond et al., 2006). Les 6 items du FPI-6 ont été évalués pour chaque pied. L'évaluation complète a été effectuée sur un pied, puis sur l'autre. Deux podologues (CB et AP), ayant tous deux plus de 10 ans d'expérience dans l'utilisation du FPI-6 et experts dans l'évaluation morphologique des pieds de sujets sains et pathologiques, ont effectué les évaluations. Les deux membres inférieurs de tous les participants ont été évalués pour déterminer la fiabilité inter-évaluateurs à une heure d'intervalle, et la plupart des participants ont subi la deuxième évaluation une semaine plus tard pour déterminer la fiabilité intra-évaluateur (CB). Le membre dominant a été identifié en demandant aux participants avec quelle jambe ils tapent dans un ballon (van Melick et al., 2017).

## **2.3 Analyse statistique**

Le calcul de la taille de l'échantillon a indiqué qu'un minimum de 23 participants devait être inclus, sur la base d'un ICC bon à excellent (entre 0,70 selon l'hypothèse nulle, la corrélation minimale attendue, et 0,90) avec  $\alpha=0,05$  et une puissance de 80%. Cependant, Terwee et al. recommandent d'inclure au moins 50 participants dans les études de fiabilité pour une adaptation transculturelle (Terwee et al., 2007).

Nous avons donc prévu d'inclure au moins 50 participants.

Les données anthropométriques ont été rapportées par la moyenne et l'écart-type (Standard Deviation ou SD) et les variables catégorielles par leur distribution. La normalité a été testée à l'aide du test de Shapiro-Wilk.

Les fiabilités inter et intra-évaluateur ont été déterminées en calculant le coefficient de corrélation intra-classe (ICC). La fiabilité a été interprétée selon les recommandations publiées : faible pour  $ICC < 0,40$  ; moyenne pour  $0,40 \leq ICC \leq 0,59$  ; bonne pour  $0,60 \leq ICC \leq 0,74$  ; et excellente pour  $ICC \geq 0,75$  (Cicchetti, 1994). Des corrélations de Pearson ont été effectuées pour les évaluations inter- et intra-évaluateur pour chaque membre inférieur. Les graphiques de Bland-Altman et les Limits Of Agreement (LOA) respectives à 95% ont été utilisés pour évaluer l'accord inter- et intra-évaluateur et pour quantifier le biais systématique.

Nous avons calculé l'erreur standard de mesure (Standard Error of Measurement ou SEM) avec l'équation suivante :

$SEM = SD \cdot \sqrt{(1-ICC)}$  ; avec SD l'écart-type des scores de tous les participants (Beckerman et al., 1996).

Nous avons calculé le changement minimal détectable (*Minimal Detectable Change* ou  $MDC_{95}$ ) avec l'équation suivante :

$MDC_{95} = SEM \cdot 1,96 \cdot \sqrt{2}$  (Weir, 2005).

Le test du  $\chi^2$  a été utilisé pour comparer les distributions des variables catégorielles (pour la classification de la morphologie issue du FPI-6).

Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel R 4.1.0 et  $p < 0,05$  a été considéré comme statistiquement significatif.

### **3 Résultats**

#### **3.1 Adaptation transculturelle**

Plusieurs parties du Guide de l'utilisateur du FPI-6 (Redmond, 2014) ont été jugées ambiguës ou ont nécessité une reformulation selon le comité d'experts et les traducteurs. Plusieurs concepts ont également été définis pour faciliter l'adaptation transculturelle (Annexe J).

- Item 1 (palpation de la tête du talus) : la version originale indiquait que : " Scores are awarded for the observation of the position ". Nous avons voulu préciser que l'évaluateur doit marquer la position du talus sur la peau et s'en servir pour faciliter l'évaluation. Nous avons donc ajouté (en français) " à partir de l'observation de la position du talus marquée sur la peau ".



- Item 3 (Position du calcaneus dans le plan frontal) : nous avons ajouté une note explicative pour définir les concepts de varus/valgus et d'inversion/éversion, car ils sont sujets à confusion (McDonald & Tavener, 1999) : le varus et le valgus de l'arrière-pied sont des angles projetés en 2 dimensions, et peuvent être analogues aux termes inversion/éversion.
- Item 4 (Relief de la région de l'articulation talo-naviculaire) : nous avons ajouté une note explicative pour assurer la précision de cette mesure. Un renflement causé par la pronation doit être distingué d'une convexité plus dorsale qui pourrait indiquer une supination (éventuellement un cavus).
- Item 6 (Abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied) : nous avons ajouté une note explicative pour expliquer le signe " Too many toes "(K. A. Johnson, 1983), car nous l'avons trouvé peu détaillé dans le FPI-6 original.
- Par souci de clarté, nous avons ajouté les plans d'observation pour chaque item du FPI au début de l'instruction pour chaque item.
- Score total du FPI : la version originale faisait référence au "mouvement" et à la "fonction" du pied, malgré le fait que la relation entre les évaluations du FPI et la fonction dynamique du pied n'a pas encore été déterminée. Nous avons donc choisi de remplacer ces termes par le terme " posture ".

### **3.2 Fiabilité**

Cinquante-deux participants asymptomatiques ont été inclus, leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 12. L'âge moyen était de 30,5 (SD 10,8) ans. La fiabilité inter-évaluateurs a été déterminée à partir des données des 52 participants et la fiabilité intra-évaluateur à partir des données de 40 participants (12 participants ne se sont pas présentés à la 2<sup>e</sup> évaluation). Les scores de 288 évaluations du FPI-6 ont été analysés.

Les coefficients intra-classe pour le score total du FPI-6 pour le membre dominant et pour le membre non-dominant étaient compris entre 0,94 et 0,96 (Tableaux 13 et 14). Les corrélations étaient significatives pour les scores totaux inter-évaluateurs du FPI-6 pour les membres inférieurs dominants ( $r = 0,92$  ; 95% CI, 0,867 à 0,955 ;  $p < 0,001$ ) et non-dominants ( $r = 0,89$  ; 95% CI, 0,814 à 0,935 ;  $p < 0,001$ ), ainsi que les scores intra-évaluateur pour les membres inférieurs dominants ( $r = 0,92$  ; IC 95%, 0,856 à 0,958 ;  $p < 0,001$ ) et non dominants ( $r = 0,88$  ; IC 95%, 0,790 à 0,937 ;  $p < 0,001$ ).

Tableau 12. Caractéristiques des participants

<b>Variable</b>	<b>N=52</b>
	<b>Moyenne (SD)</b>
Âge (ans)	30.5 (10.8)
Poids (kg)	65.1 (12.4)
Taille (m)	1.68 (0.09)
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	23.1 (3.5)
	<b>n (%)</b>
<u>Sexe :</u>	
Masculin	13 (25.0)
Féminin	39 (75.0)
<u>Membre inférieur dominant :</u>	
Droit	48 (92.3)
Gauche	4 (7.7)

Tableau 13. Fiabilité inter- et intra-évaluateur du FPI-6 pour le membre inférieur dominant

	<u>Inter-évaluateur</u>			<u>Intra-évaluateur</u>		
MI Dominant						
N=52	ICC	SEM	MDC	ICC	SEM	MDC
Score total	0.96	0.68	1.58	0.95	0.75	1.76
FPI-6						
Item 1	0.84	0.32	0.75	0.83	0.34	0.78
Item 2	0.86	0.28	0.65	0.88	0.31	0.71
Item 3	0.85	0.26	0.61	0.94	0.18	0.43
Item 4	0.88	0.26	0.60	0.78	0.38	0.88
Item 5	0.89	0.25	0.59	0.85	0.28	0.66
Item 6	0.74	0.41	0.96	0.74	0.42	0.98

MI : Membre inférieur ; Item 1 : Palpation de la tête du talus ; Item 2 : Courbures au-dessus et au-dessous de la malléole latérale ; Item 3 : Inversion/éversion du calcaneus ; Item 4 : Proéminence de la région de l'articulation talo-naviculaire ; Item 5 : Forme de l'arche longitudinale médiale ; Item 6 : Abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied.

Tableau 14. Fiabilité inter- et intra-évaluateur du FPI-6 pour le membre inférieur non-dominant

MI Non-dominant N=52	Inter-évaluateur			Intra-évaluateur		
	ICC	SEM	MDC	ICC	SEM	MDC
Score total	0.94	0.71	1.67	0.94	0.78	1.82
FPI-6						
Item 1	0.84	0.30	0.70	0.81	0.31	0.72
Item 2	0.83	0.31	0.71	0.77	0.35	0.82
Item 3	0.89	0.23	0.53	0.86	0.26	0.62
Item 4	0.84	0.27	0.63	0.75	0.38	0.88
Item 5	0.91	0.21	0.48	0.92	0.20	0.47
Item 6	0.68	0.40	0.93	0.76	0.36	0.84

MI : Membre inférieur ; Item 1 : Palpation de la tête du talus ; Item 2 : Courbures au-dessus et au-dessous de la malléole latérale ; Item 3 : Inversion/éversion du calcaneus ; Item 4 : Proéminence de la région de l'articulation talo-naviculaire ; Item 5 : Forme de l'arche longitudinale médiale ; Item 6 : Abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied.

Les graphiques Bland-Altman avec la différence moyenne et les limites de l'accord à 95% (LOA) pour le niveau d'accord inter et intra-évaluateur pour les membres inférieurs dominants et non dominants sont fournis dans la Figure 55. La différence moyenne du score total FPI-6 pour la fiabilité inter-évaluateurs pour les membres inférieurs dominants et non dominants était respectivement de 0,40 et -0,15. La différence moyenne dans le score total du FPI-6 pour la fiabilité intra-évaluateur pour les membres inférieurs dominants et non-dominants était respectivement de -0,60 et 0,00.

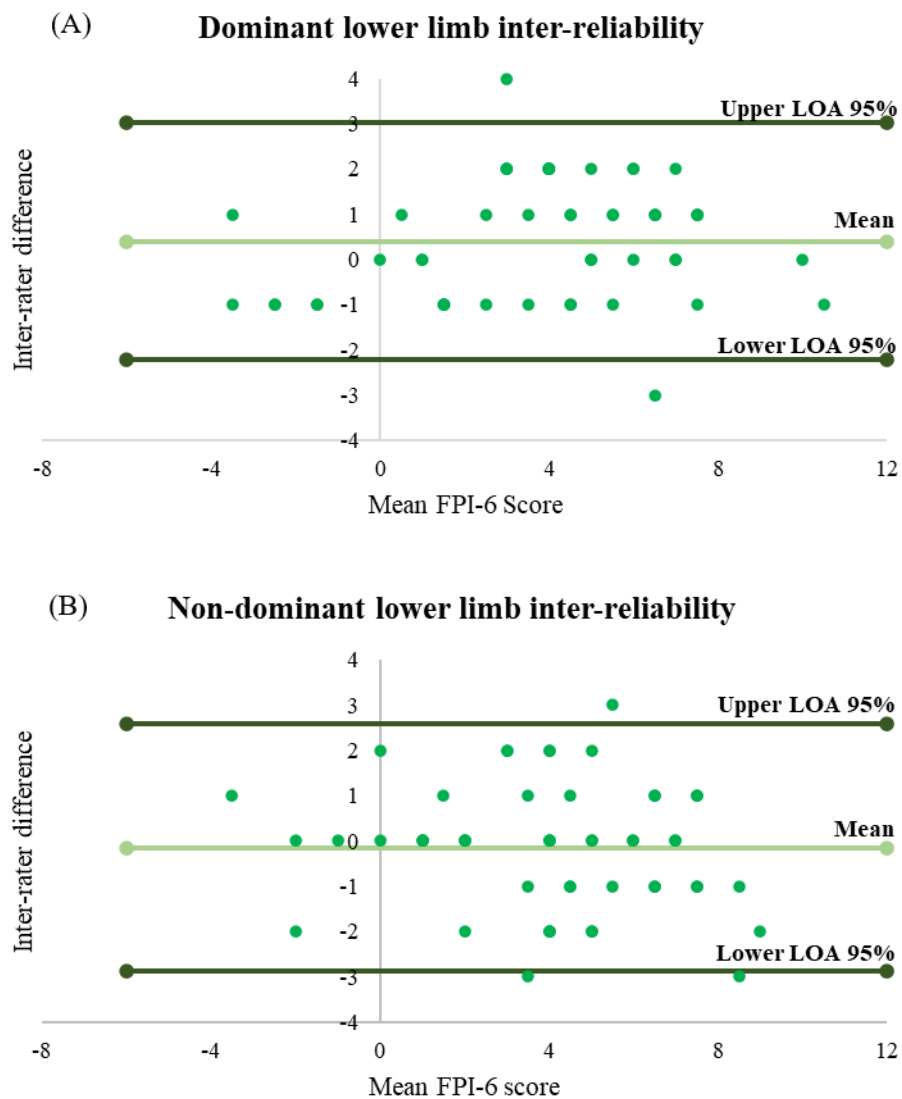
Les items 1 à 5 avaient tous des valeurs ICC excellentes. L'ICC de l'item 6 était excellent pour l'évaluation intra-évaluateur du membre non-dominant et bon ( $0,60 \leq \text{ICC} \leq 0,74$ ), pour les 3 autres évaluations.

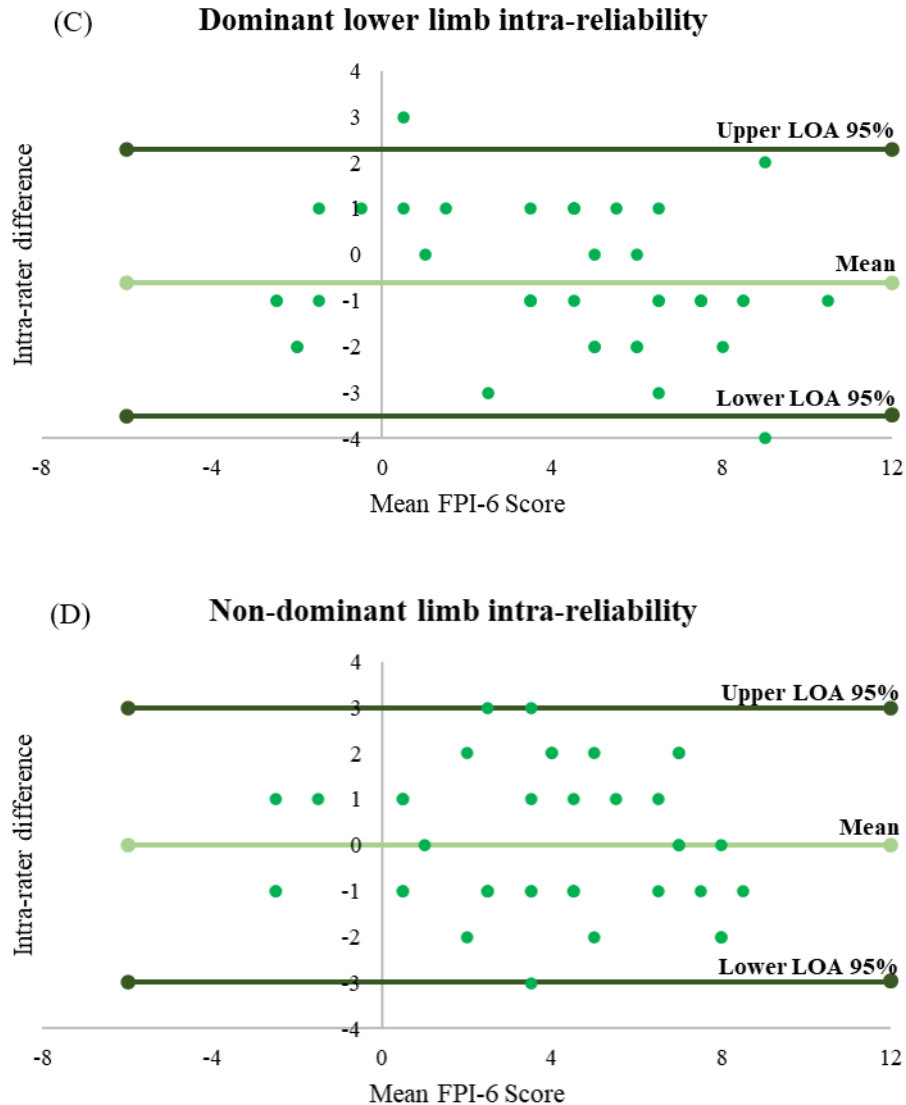
La SEM inter-évaluateur pour le score total du FPI-6 était de 0,68 pour le membre dominant et de 0,71 pour le membre non dominant ; la SEM intra-évaluateur était de 0,75 pour le membre dominant et de 0,78 pour le membre non dominant. La SEM inter-évaluateurs pour chacun des 6 items variait de 0,21 à 0,41 et la SEM intra-évaluateur variait de 0,18 à 0,42.

Le  $\text{MDC}_{95}$  pour la fiabilité inter-évaluateurs était de 1,58 pour le membre dominant et de 1,67 pour le membre non dominant ; pour la fiabilité intra-évaluateur, il était de 1,76 pour le membre dominant et de 1,82 pour le membre non dominant. Le  $\text{MDC}_{95}$  des 6 items était compris entre

0,53 et 0,96 pour la fiabilité inter-évaluateurs et entre 0,43 et 0,98 pour la fiabilité intra-évaluateur.

Figure 55. Graphiques de Bland-Altman représentant la fiabilité des scores totaux du FPI-6 dans 4 conditions : (A) fiabilité inter-évaluateurs pour le membre inférieur dominant ; (B) fiabilité inter-évaluateurs pour le membre inférieur non-dominant ; (C) fiabilité intra-évaluateur pour le membre inférieur dominant ; (D) fiabilité intra-évaluateur pour le membre inférieur non-dominant.





### 3.3 Classification morphologique par le FPI-6

Les classifications morphologiques des pieds des participants sont présentées dans le tableau 15.

La posture neutre était la plus courante (163/288 ; 56,6%), suivie de la pronation (86/288 ; 29,9%), de la supination (31/288 ; 10,7%) et de la forte pronation (8/288 ; 2,8%). Aucun pied fortement en supination n'a été trouvé.

Les classifications morphologiques différaient entre les deux évaluateurs dans 14,4% (15/104) des cas (Tableau 16). Au total, sept différences sont apparues pour le membre inférieur dominant (sept pieds classés comme en pronation par un évaluateur et neutres par l'autre), et huit différences pour le membre inférieur non dominant (cinq pieds classés comme neutres ou

en pronation, deux pieds classés comme en pronation ou fortement en pronation, et un pied classé comme neutre ou en supination).

Les classifications morphologiques différaient en intra-évaluateur dans 16,3% (13/80) des cas (Tableau 17).

Dix différences de posture ont été trouvées pour le membre inférieur dominant (six pieds classés comme neutres ou en pronation, deux comme en pronation ou fortement en pronation, deux comme neutres ou en supination) et trois différences pour le membre inférieur non-dominant (trois classés comme en pronation ou neutres).

Les désaccords concernaient les postures neutres et en pronation dans 75,0% des cas (21/28), le score de l'item 6 étant source de désaccord dans 64,3% des cas (18/28).

Il n'y avait pas de différence significative dans la classification des postures du pied entre les évaluateurs (test du Chi<sup>2</sup> p-value = 0,93 pour le membre inférieur dominant et 0,53 pour le membre inférieur non dominant) ou entre les évaluations par le même évaluateur (test du Chi<sup>2</sup> p-value = 0,59 pour le membre inférieur dominant et 0,97 pour le membre inférieur non dominant).

Tableau 15. Morphologie du pied selon le FPI-6

Morphologie	MI Dominant			MI Non-dominant			Total
	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 1	Étape 2	Étape 3	
Forte supination	0	0	0	0	0	0	0
Supination	6	6	6	4	5	4	31
Neutre	28	31	20	31	29	24	163
Pronation	16	13	12	17	16	12	86
Forte pronation	2	2	2	0	2	0	8
Total	52	52	40	52	52	40	288

Étape 1 : 1<sup>er</sup> évaluateur ; Étape 2 : 2<sup>d</sup> évaluateur ; Étape 3 : 1<sup>er</sup> évaluateur après 1 semaine ; MI : Membre Inférieur.

Tableau 16. Différences inter-évaluateurs dans la classification de la morphologie

Désaccord Évaluateur 1 / Évaluateur 2	MI Dominant	MI Non-dominant
Pronation / Neutre	3	2
Neutre / Pronation	4	3
Pronation / Forte pronation	0	2
Neutre / Supination	0	1
Total	7	8

Tableau 17. Différences intra-évaluateur dans la classification de la morphologie

Désaccord Évaluateur 1 1 <sup>re</sup> évaluation / Évaluateur 1 2 <sup>e</sup> évaluation	MI Dominant	MI Non-dominant
Pronation / Neutre	1	2
Neutre / Pronation	5	1
Pronation / Forte pronation	1	0
Neutre / Supination	2	0
Forte pronation / Pronation	1	0
Total	10	3

## 4 Discussion

Notre objectif était de permettre aux cliniciens francophones d'accéder à un outil valide, fiable et pertinent pour l'évaluation des déformations du pied afin de standardiser la pratique clinique en France. Nous avons donc traduit et adapté le FPI-6 en français, évalué la fiabilité inter- et intra-évaluateur et calculé la SEM et le MDC de la version française.

### 4.1 Adaptation transculturelle

Pour adapter le FPI-6 à la population francophone, nous avons dû ajouter quelques clarifications à la terminologie.

Certains termes diffèrent légèrement dans leur signification/compréhension entre le français et l'anglais, et sont également souvent confondus en anglais (McDonald & Tavener, 1999). L'inversion/éversion est un mouvement mixte qui combine supination/pronation, adduction/abduction, et flexion plantaire/flexion dorsale de la cheville. En revanche, le varus et le valgus de l'arrière-pied sont des postures statiques. Le valgus de l'arrière-pied est défini comme un angle vers l'intérieur du tendon d'Achille  $>5^\circ$  (Lelièvre, 1981) et le varus comme un

angle vers l'extérieur  $>2^\circ$  (Perrier, 2016). Les termes anglais "inversion/eversion" font référence au mouvement et semblent englober à la fois le varus/valgus de l'arrière-pied et la supination/pronation du pied par rapport à la cheville, comme définis en français (Foisy, 2021). Cependant, il semble y avoir une tendance générale en français à utiliser les termes anglais "inversion/eversion" pour les mouvements en chaîne ouverte et/ou les mouvements du complexe articulaire de l'arrière-pied, et "supination/pronation" pour les mouvements en chaîne fermée et/ou les mouvements de l'avant-pied (McDonald & Tavener, 1999). Nous avons donc ajouté des notes de bas de page pour clarifier la signification de ces termes dans le FPI-6.

En ce qui concerne l'évaluation du renflement de l'articulation talo-naviculaire, nous avons précisé qu'un renflement qui indique un pied en pronation doit être distingué d'une convexité plus dorsale, qui pourrait indiquer un pied en supination et/ou un *pes cavus*. La déformation en *pes cavus* correspond à un angle de Djian-Annonier (angle de l'arche médiale) inférieur à  $120^\circ$  et à un angle de Méary (entre le grand axe du talus et le grand axe du premier métatarsien (M1)) supérieur à  $5^\circ$ , ce qui indique une augmentation de la flexion plantaire du premier métatarsien (M1) sur le talus (Akoh & Phisitkul, 2019; Drapé & Guerini, 2010; Maynou et al., 2017; Meary, 1967). Cette déformation dorsale du pied ne doit pas être confondue avec un renflement talo-naviculaire médial prononcé.

Le signe "too many toes" pour l'évaluation de l'abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied n'est pas connu en France et n'était pas décrit dans la version originale du FPI-6. Par conséquent, nous avons précisé que ce test correspond à l'observation d'un trop grand nombre d'orteils latéraux (K. A. Johnson, 1983), lorsque le pied est vu de l'arrière.

Une question importante dans le domaine de la podiatrie est la distinction et la corrélation entre la posture statique du pied et la fonction dynamique du pied. La version originale du FPI-6 fait parfois référence au mouvement et à la fonction par rapport à une position statique. En outre, bien que les évaluations du FPI-6 fournissent une indication de la fonction dynamique du pied (Buldt et al., 2015; Cornwall & McPoil, 2011), la relation entre ces concepts n'a pas été correctement évaluée. Nous avons donc préféré utiliser le terme de posture.



## 4.2 Fiabilité

L'évaluation de la fiabilité inter- et intra-évaluateur de la version française du FPI-6 a montré que les deux étaient excellentes, selon l'ICC et les corrélations.

La fiabilité du score total du FPI-6 était excellente ( $ICC \geq 0,75$ ,  $r > 0,85$ ) et la fiabilité des six items du FPI-6 variait de bonne ( $0,60 \leq ICC \leq 0,74$ ) à excellente ( $ICC \geq 0,75$ ). L'excellente fiabilité intra-évaluateur du score total du FPI-6 est conforme aux résultats d'autres études portant sur des échantillons d'adultes asymptomatiques (Barton et al., 2010; Cornwall et al., 2008; Kirmizi et al., 2020; Langley et al., 2016; Martinez et al., 2021; Mentiplay et al., 2013; Motantasut et al., 2019), d'adultes atteints de pathologies musculo-squelettiques (Barton et al., 2010; Y. Wang et al., 2023; Yang et al., 2022) ou neurologiques (J. D. Lee et al., 2015), et d'enfants et d'adolescents asymptomatiques (Cain et al., 2007; Evans et al., 2012). Certains auteurs ont constaté un ICC de fiabilité intra-évaluateur plus faible chez les adultes en bonne santé et les personnes âgées (Aquino et al., 2018), ce qui pourrait être lié à des biais méthodologiques tels que des intervalles de mesure incohérents (Mishra & Samuel, 2018).

L'excellente fiabilité inter-évaluateurs du score total du FPI-6 est également en accord avec celle trouvée par de nombreuses études chez des adultes asymptomatiques (Barton et al., 2010; Fraser et al., 2017; Martinez et al., 2021; McLaughlin et al., 2016; Motantasut et al., 2019; Zuil-Escobar et al., 2019), des adultes avec des pathologies diagnostiquées (Barton et al., 2010; J. D. Lee et al., 2015; Y. Wang et al., 2023; Yang et al., 2022), et des enfants et adolescents (Cain et al., 2007; Evans et al., 2012; Morrison & Ferrari, 2009). L'ICC de fiabilité inter-évaluateurs dans la présente étude était plus élevé que celui trouvé dans certaines études (Aquino et al., 2018; Cornwall et al., 2008). Cela pourrait être lié à la différence d'expérience des évaluateurs dans l'analyse morphologique du pied à l'aide du FPI-6 (Aquino et al., 2018; Cornwall et al., 2008). De plus, certaines études ont trouvé une fiabilité inter-évaluateurs plus faible en raison d'une approximation de régionalisation anatomique dans le guide d'utilisation et manuel du FPI-6 à l'item 4 (Aquino et al., 2018; Kirmizi et al., 2020). Le fait que nous étions conscients de cette approximation, et que nous avons fourni des informations supplémentaires précisément pour l'item 4, peut expliquer le niveau de fiabilité plus élevé trouvé par nos résultats.

Seul l'ICC de la fiabilité inter-évaluateurs de l'item 6 (abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied) était plus faible, mais bon pour les membres dominants ( $ICC=0,74$ ) et non-dominants ( $ICC=0,68$ ). L'ICC de la fiabilité intra-évaluateur de cet item était également bon pour le membre dominant ( $ICC=0,74$ ), mais était excellent pour le membre inférieur non-

dominant (ICC=0,76). Ces résultats sont similaires à ceux de Martinez et al (2021) (Martinez et al., 2021) et pourraient être expliqués par la difficulté d'observer l'axe du talon et non l'axe longitudinal du pied.

Les graphiques de Bland-Altman ont révélé de faibles niveaux de biais (différence moyenne entre 2 scores FPI-6) et un excellent accord entre les évaluations (inter et intra-évaluateur). La différence moyenne et les limites d'accord du score total FPI-6 pour les évaluations inter- et intra-évaluateur des membres inférieurs dominants et non dominants trouvées dans notre étude sont très proches des résultats précédents (Y. Wang et al., 2023; Yang et al., 2022).

Les faibles valeurs SEM (Tableaux 13 et 14) indiquent un faible niveau d'erreur de mesure et sont conformes à la littérature (Kirmizi et al., 2020; Martinez et al., 2021). Les valeurs MDC indiquent que les changements dans le score total du FPI-6 au-dessus de 1,67 et 1,82 points pour la fiabilité inter- et intra-évaluateur respectivement, peuvent être considérés comme de véritables changements dans la posture du pied et non le résultat d'une erreur de mesure. Ces résultats sont similaires à ceux de Martinez et al (2021) (Martinez et al., 2021) mais légèrement supérieurs à ceux trouvés par Yang et al (2022) (Yang et al., 2022).

Les classifications de la posture différaient peu entre les évaluateurs et les évaluations (13 différences intra-évaluateur et 15 différences inter-évaluateurs). Ce résultat indique une bonne fiabilité de la classification FPI-6 d'un point de vue clinique, ce qui a déjà été démontré par d'autres études chez des adultes symptomatiques (Y. Wang et al., 2023; Yang et al., 2022). Par conséquent, nous concluons que l'adaptation transculturelle était valide et que le biais d'évaluation entre les praticiens était faible. L'évaluation de l'abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied était le plus souvent une source de désaccord. Ceci suggère que l'angle d'observation de la face postérieure à partir de l'axe du talon pourrait être une source d'erreur. Cet item nécessite une grande expérience pour distinguer les différences subtiles. Des iconographies plus spécifiques dans le guide d'utilisation et manuel du FPI-6 pourraient potentiellement être intéressantes, notamment en ce qui concerne l'observation de l'articulation talo-naviculaire et l'angle d'observation de la partie postérieure du pied.

### **4.3 Limites**

La fiabilité n'a été évaluée que chez les personnes asymptomatiques. De plus, la gamme des scores FPI-6 était réduite pour cette raison. Par exemple, aucun des participants n'avait un pied fortement supinateur. Cependant, la version originale du FPI-6 s'est avérée valide pour les personnes atteintes de la maladie de Charcot-Marie-Tooth (Burns, Ouvrier, Estilow, Shy,

Laurá, Eichinger, et al., 2012; Burns, Ouvrier, Estilow, Shy, Laurá, Pallant, et al., 2012) et après un accident vasculaire cérébral (J. D. Lee et al., 2015). La petite taille de l'échantillon pourrait apparaître comme une limitation, mais les résultats du calcul de la puissance statistique confirment la confiance dans nos résultats. Les études futures devraient évaluer la fiabilité et le MDC chez les personnes atteintes de pathologies qui affectent la posture et la fonction du pied.

## **5 Conclusion**

Cette version française du FPI-6 présente une excellente fiabilité intra- et inter-évaluateurs pour l'évaluation de la posture du pied chez les individus asymptomatiques. De plus, nous avons fourni des valeurs du MDC qui peuvent être utilisées comme référence pour les cliniciens.

Nous suggérons que cet outil soit utilisé de façon routinière dans la pratique clinique pour standardiser les évaluations de la posture du pied. Une évaluation dynamique de la fonction du pied à l'aide de la baropodométrie devrait également être effectuée, si possible, afin de fournir une compréhension complète du problème de l'individu. Si une intervention chirurgicale est prévue, des mesures radiographiques doivent également être prises.

En attendant que la fiabilité du FPI-6 français soit confirmée chez des individus symptomatiques, nous pensons que cette version peut être utilisée chez des individus présentant des pathologies affectant le pied, notamment des troubles neuro-orthopédiques, puisque la version anglaise a été validée dans plusieurs pathologies.

# Discussion générale

---

## 1 Autour de la prise en charge de l'hallux valgus

La prise en charge curative et définitive d'une déformation en hallux valgus est la chirurgie. Les techniques sont multiples et varient de techniques dites radicales ne conservant pas la fonction de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP), à des techniques plus conservatrices, en passant par l'arthroplastie totale (Horisberger et al., 2016; Laffenêtre et al., 2010; Piclet-Legré et al., 2017).

Le motif de consultation est analysé théoriquement par le chirurgien et regroupe quatre grands domaines que sont la douleur, le conflit avec le chaussage, l'esthétique et la fonction de l'articulation. Cependant, cet aspect motivationnel semble peu exploré en pratique par le corps médico-chirurgical, notamment par manque de temps lors de la consultation (Singh Ospina et al., 2019), celle-ci étant principalement dédiée au diagnostic et à l'aspect technique de la procédure chirurgicale. Par manque d'informations, le patient peut facilement supposer que l'intervention chirurgicale répondra à l'ensemble de ces attentes, et lui permettra ainsi de revenir à son état antérieur à la déformation. Ceci n'est pourtant pas possible, la chirurgie visant à réduire la déformation et permettant au patient d'être une deuxième version de lui-même.

Nous avons mis en évidence que l'ensemble des patients insatisfaits de la chirurgie dont ils avaient bénéficié n'avait pas pleinement exprimé leurs motifs objectifs comme subjectifs, lors de la consultation initiale. Ceci va ainsi à l'encontre des études établissant un lien direct entre insatisfaction liée à la chirurgie et complications post-chirurgicales (Barg et al., 2018; Barg & Saltzman, 2017; Ferrari et al., 2004; Lim et al., 2015). Notre expérience clinique auprès de patients considérés comme étant en échec de prise en charge chirurgicale a confirmé la nécessité de la création d'un outil exploratoire exhaustif des réelles motivations des patients souhaitant bénéficier d'un acte définitif pour leur déformation en hallux valgus.

Ce nouvel outil d'investigation désormais créé grâce à un consensus d'experts regroupe de nombreux items relatifs aux quatre domaines de motifs de consultation décrits dans la littérature. Une déformation pouvant demeurer fonctionnelle, la douleur est le symptôme fondamental pouvant orienter vers une chirurgie de la déformation (Piclet-Legré et al., 2017; Tai et al., 2008; Wilkinson & Maher, 2011). Elle représente notamment 31,0% des insatisfactions postopératoires (Barg et al., 2018; J. Y. Chen, 2016), ce qui est en accord avec les 30,1% de patients insatisfaits, car douloureux après actes retrouvés dans notre étude. Il est

essentiel de préciser que les cinq items issus de ce nouveau questionnaire concernant la douleur (relatifs à la topographie et aux composantes nocturne ou mécanique de la douleur) ne permettent aucunement une analyse approfondie. Ces items de notre outil ont pour vertu d'analyser le motif de consultation et de vérifier l'absence d'un contexte algique en lien avec la déformation du premier rayon, permettant d'éliminer rapidement toute indication chirurgicale. Une investigation plus précise doit être réalisée lors de la présence de douleurs au cours d'une consultation pour avis chirurgical, afin de poser un premier diagnostic et éventuellement d'identifier les étiologies. Les douleurs en lien avec l'hallux valgus peuvent être mécaniques, inflammatoires, neuropathiques, et communément en lien avec les diagnostics différentiels algiques suivants : complexe ostéo-articulaire de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP) (os sésamoïdes, plaque plantaire...), complexes ostéo-articulaires des articulations métatarso-phalangiennes (MTP) latérales, bursites sous-capito-métatarsiennes et inter-capito-métatarsiennes, compression nerveuse du nerf digital médial (Joplin), compressions nerveuses au niveau des espaces intermétatarsiens (Heuter, Hauser, Morton, Iselin) (Guerini et al., 2014; Larson et al., 2005; Lopez & Slullitel, 2019)

La motivation pour aller chercher une solution chirurgicale émane fréquemment de l'aspect chronique de la douleur. De multiples échelles d'évaluation de la douleur existent, mais ne semblent pas couramment utilisées en routine clinique par l'ensemble des praticiens. Certaines sont unidimensionnelles, et se focalisent par exemple sur l'intensité, tandis que d'autres ont une approche multidimensionnelle et cherchent entre autres à évaluer l'impact de la douleur sur l'humeur et l'anxiété, ou bien encore sont utiles au diagnostic de la typologie de la douleur. Elles peuvent être d'autoévaluation ou d'hétéroévaluation. Dans le cadre des douleurs chroniques est conseillée une évaluation par topographie des zones douloureuses, une mesure de l'intensité douloureuse, une évaluation qualitative par descripteurs verbaux, ainsi qu'une évaluation de l'anxiété et de la dépression et une évaluation du retentissement de la douleur sur le comportement (Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé, 1999). Ainsi, il semble pertinent d'utiliser certains outils permettant une approche aussi bien quantitative que qualitative de la douleur.

Trois échelles d'autoévaluation de l'intensité de la douleur unidimensionnelle sont reconnues par la Haute Autorité de Santé : l'échelle visuelle analogique (EVA), l'échelle numérique (EN) ou l'échelle verbale simple (EVS) (Jensen et al., 1994; Price et al., 1983). Ces échelles ne permettent pas de réaliser des comparaisons interindividuelles, n'apportent aucune information sur la nature de la douleur et ne permettent donc pas de préciser le diagnostic des mécanismes

sous-jacents. Elles permettent néanmoins le suivi évolutif de la douleur et renseignent facilement sur l'efficacité d'un traitement. Une évaluation selon trois temporalités permet d'apprécier les fluctuations au cours du temps (Daut et al., 1983).

Par ailleurs, le *McGill Pain Questionnaire*, échelle d'autoévaluation composée de 78 descripteurs de la douleur et issus du vocabulaire utilisé par les patients dans un but d'évaluation multidimensionnelle de la douleur, permet de décrire deux dimensions de la douleur que sont les aspects sensoriels et affectivo-émotionnels (Melzack, 1975). Le questionnaire de la douleur Saint-Antoine (QDSA) est une adaptation de ce questionnaire (Boureau et al., 1984). Autoquestionnaire réservé à l'adulte francophone qui possède un vocabulaire assez riche, il permet une évaluation qualitative de tout type de douleur chronique y compris de la douleur neuropathique. Il est un instrument essentiel de mesure de la douleur qui dépasse donc la simple notion d'intensité en permettant l'investigation des dimensions sensorielles et affectives. La dimension sensorielle participe à la discrimination entre douleurs neuropathiques et nociceptives. La dimension affective met en exergue l'aspect de temporalité de la douleur et l'aspect d'angoisse pouvant être lié. Ce questionnaire apparaît donc comme l'un des plus adaptés au modèle multidimensionnel de la douleur et présente un intérêt majeur dans les cas d'alexithymie et de difficultés à la verbalisation spontanée (Marquié et al., 2008). Le questionnaire de la douleur Saint-Antoine présente une réelle valeur d'orientation diagnostique. De plus, le questionnaire concis sur les douleurs (QCD), issu du *Brief Pain Inventory*, fait partie des échelles d'évaluations multidimensionnelles de la douleur (Brasseur, 1997; Daut et al., 1983). L'utilisation de sa forme courte permet l'évaluation relative au retentissement de la douleur sur le comportement et est recommandée (Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé, 1999).

D'autres questionnaires relatifs à la douleur neuropathique présentent généralement deux buts distincts que sont le dépistage et l'évaluation symptomatique. Ainsi, la *Neuropathic Pain Scale* fut le premier outil d'évaluation de la qualité de la douleur exclusivement dédié à son aspect neuropathique (Galer & Jensen, 1997). Le *Neuropathic Pain Symptom Inventory* créé par la suite est un questionnaire d'autoévaluation qui met en exergue les qualificatifs se rapportant à la typologie douloureuse neuropathique (Bouhassira et al., 2004). Cet outil montre la nécessité d'avoir en routine clinique un outil de dépistage de ce type de douleur par descripteurs verbaux, qui serait valable sur les douleurs neuropathiques centrales et périphériques. Ces deux questionnaires basés sur des descripteurs sensoriels ont pour utilité la mesure de symptômes des douleurs neuropathiques et la création de profils phénotypiques des patients atteints

d'affections neuropathiques. La caractérisation de ces symptômes permet notamment de surveiller les résultats d'un traitement (Attal et al., 2018). Ces questionnaires représentent un complément aux outils de dépistage.

Les questionnaires de dépistage sont une aide diagnostic pour les praticiens non spécialistes en neurologie afin d'identifier les patients souffrant de douleurs neuropathiques. Plusieurs questionnaires de dépistage existent à ce jour : *Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs* (LANSS), le *painDETECT*, Douleur Neuropathique en quatre questions (DN4) (Bennett et al., 2005; Bouhassira et al., 2005; Freynhagen et al., 2006). L'utilisation de ce dernier est recommandée en France par la Société Française de la Douleur.

Les douleurs neuropathiques nécessitant un traitement particulier (Finnerup et al., 2015), l'ensemble de ces questionnaires d'évaluation et de diagnostic permettent d'effectuer un premier profilage des patients, et permettront d'identifier les profils phénotypiques répondants aux études thérapeutiques. Il est ainsi recommandé de suivre une stratégie à deux étapes en utilisant systématiquement le DN4 comme premier outil de bilan diagnostic afin d'identifier les douleurs à caractéristique neuropathique, et dans un second temps de le compléter par un examen clinique général, représentant la partie cruciale du diagnostic et permettant d'identifier la cause potentielle.

Le nouvel outil d'analyse du motif de consultation lors d'un bilan pour primoavis chirurgical se doit d'être complété par une analyse exhaustive de la douleur, permettant ainsi d'établir le meilleur diagnostic possible. Il semblerait que les cliniciens ont une tendance à bien souvent se concentrer sur l'intensité unidimensionnelle et sensorielle de la douleur (A. C. de C. Williams & Craig, 2016). L'intégration systématique d'une approche multidimensionnelle contribuerait au meilleur diagnostic, faciliterait l'indication chirurgicale, et aurait un rôle préventif majeur sur les possibles sources d'insatisfactions de prise en charge.

Un premier bilan préchirurgical, comprenant un examen clinique, une analyse de la marche, une recherche approfondie du motif de consultation et des attentes du patient grâce au nouvel outil ici présenté, ainsi qu'un bilan de la douleur poussé, permettrait d'introduire et faciliter la consultation effectuée par le chirurgien. La prise en charge d'une déformation telle l'hallux valgus doit suivre la progressivité de l'acte le moins invasif possible vers des actes plus invasifs lorsque nécessaire, et peut donc relever d'une prise en charge paramédicale, dérivant vers une prise en charge médico-chirurgicale. Cette consultation initiale pourrait être réalisée par un pédicure-podologue.

Ce praticien a de surcroît la possibilité de proposer une prise en charge par orthèses plantaires, en amont ou en aval de la chirurgie. Peu d'études interventionnelles de qualité ont été réalisées, ceci pouvant relever des multiples facteurs impliqués dans les choix de prescription et de conception de l'appareillage, qui demeurent dépendants des professionnels. Le premier rayon pouvant être déformé, mais pour autant rester fonctionnel, le petit appareillage comprenant les orthèses plantaires n'est pas à sous-estimer dans la prise en charge (Kwan et al., 2021).

Les orthèses plantaires ne permettent aucunement une correction angulaire de la déformation, contrairement au système de contention (Moulodi et al., 2019; Reina et al., 2013; Sun et al., 2021), mais contribuent à la diminution des symptômes douloureux et favorisent une redistribution des pressions sous l'avant-pied (Farzadi et al., 2015; Torkki et al., 2001). La déformation en hallux valgus semble avoir un impact sur la cinématique de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP) principalement dans le plan sagittal, et de l'arrière-pied dans le plan frontal par augmentation de l'éversion calcanéenne (Deschamps et al., 2010). Ceci pourrait expliquer la mise en tension du tendon du muscle long fléchisseur de l'hallux (LFH) induite par l'éversion de l'arrière-pied, potentiellement corrélée à la notion d'un 4<sup>e</sup> pivot lors de la marche autour de l'articulation interphalangienne d'hallux par flexion plantaire de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP) (Ferrari-Portafaix & Perrier, 2020). La déformation peut être à l'origine d'un déficit fonctionnel du premier rayon (Waldecker, 2002; Yavuz et al., 2009).

Il n'existe actuellement pas de consensus de prise en charge orthétique spécifique à l'hallux valgus, comme il a déjà pu être proposé pour une déformation telle le *pes planus* (Banwell et al., 2014). D'autres études interventionnelles semblent indispensables pour apporter de nouvelles guidelines relatives au traitement non invasif (Menz et al., 2022). La conception de l'appareillage ne peut être simpliste et doit reposer sur un bilan exhaustif, comprenant analyse cinématique et cinétique de la marche, analyse de la posture, bilans articulaires et musculaires, analyse de la chaussure et des attentes du patient. Cependant quelques recommandations semblent émerger. Il peut être pertinent de réfléchir à la réalisation d'une extension de Morton (équivalent anglo-saxon des éléments sous-capital et sous-pulpaire du premier rayon) rigide ou semi-rigide (Ethylene-vinyl acetate), éventuellement associée à une barre rétrocapitale. Ceci permettrait de soulager l'articulation métatarso-phalangienne (MTP) en limitant ses mouvements comme dans la prise en charge de l'hallux rigidus (Rosenbloom, 2011; Sánchez-Gómez et al., 2023); de compenser le déficit fonctionnel sous la 1<sup>re</sup> tête métatarsienne engendrée par la déformation et/ou l'hypermobilité du premier rayon (Sammarco & Nichols, 2005; Waldecker, 2002); de modifier la pronosupination du médio-pied et de l'avant-pied par



changement de la position relative des têtes métatarsiennes les unes par rapport aux autres (Piclet-Legré et al., 2017); et de diminuer les pressions sous les têtes métatarsiennes notamment en traitement préventif (Sammarco & Nichols, 2005).

Toujours dans ce contexte de bilan pour avis chirurgical, il nous a semblé pertinent de se renseigner sur les antécédents d'entorses ou de fractures de la cheville et du pied. L'hallux valgus est corrélé à une modification de la cinématique du pied, à une instabilité tarso-métatarsienne, et à une déviation en valgus de l'arrière-pied et de la cheville (Deschamps et al., 2010; H. Y. Lee et al., 2022; Tanaka et al., 1999). Si une instabilité de ces articulations subsistait suite à un traumatisme, elle pourrait éventuellement être exacerbée par les changements anatomiques causés par la chirurgie. Il n'existe pourtant pas dans la littérature de rapports d'instabilité augmentée après acte chirurgical. Les experts de la prise en charge chirurgicale de l'hallux valgus considèrent l'articulation de la cheville comme anatomiquement éloignée de la 1<sup>re</sup> articulation métatarso-phalangienne (MTP), et ont donc décidé de réfuter l'idée de se renseigner sur la présence d'antécédents dans cette région. Pourtant, l'insatisfaction de certains patients nous a cliniquement paru corrélée à une marche antalgique en supination, dans un contexte de cheville et de médio-pied instables suite à des traumatismes anciens. De futures études semblent nécessaires pour établir un possible lien physiopathologique en état post-chirurgical.

Le pédicure-podologue peut être un acteur majeur de la prise en charge de la déformation en hallux valgus en amont de la chirurgie. Son rôle préventif repose sur l'analyse du motif de consultation, des douleurs et des attentes du patient relatives la chirurgie. Ceci permettra l'optimisation de la prise en charge, avec le bon traitement pour la bonne indication. Une éventuelle réalisation d'appareillage permettant la diminution des symptômes ajusterait la bonne temporalité pour l'acte chirurgical.

## **2 Autour de la prise en charge de la maladie de Charcot-Marie-Tooth**

L'appareillage représente un pilier de la prise en charge rééducationnelle des patients atteints de la maladie CMT. Orthèses suro-pédieuses, chaussures orthopédiques et orthèses plantaires (anciennement dénommé « petit appareillage ») sont couramment prescrites par le corps médical, puis réalisées par les professionnels référents. Cependant, la non-utilisation de l'appareillage de manière générale en France est massive. Les orthèses plantaires représentent

l'appareillage le plus fréquemment proposé aux patients, et sont par conséquent fortement concernées par cette non-utilisation.

L'« International Organization for Standardization » définit les orthèses plantaires comme un appareillage d'application externe utilisé pour compenser les déficiences de la structure et de la fonction des systèmes neuromusculaire et squelettique, qui englobe l'ensemble ou une partie du pied (International Organization for Standardization, 2020). En France, les orthèses plantaires doivent être amovibles, fabriquées sur mesures et potentiellement placées dans des chaussures de série. Leurs objectifs sont de corriger la statique défectueuse du pied ou une anomalie du relief plantaire ; d'envelopper et compenser les anomalies du pied ; de corriger tout déséquilibre statique et dynamique du sujet, en dessous de 20 mm ; de soulager les appuis plantaires douloureux (Article L165-1 du Code de la Sécurité Sociale).

Il ne semble pas exister de consensus pour l'ensemble des appareillages destinés aux patients atteints de la maladie CMT. Un algorithme clinique a pourtant bien été proposé pour guider la prescription de l'appareillage chez l'enfant CMT (Scheffers et al., 2012). Celui-ci précise que les orthèses suro-pédieuses sont indiquées dès lors que les patients présentent un *pes cavus* avec une dégradation importante de l'équilibre non géré par les orthèses plantaires, un pied tombant incombant des troubles de la marche, une faiblesse globale des muscles du pied et de la cheville, ou encore un équin dynamique de la cheville. Ces orthèses semblent donc indispensables lorsque le contrôle de la stabilité doit être important. Leur prescription peut suivre un gradient allant des orthèses supramalléolaires aux orthèses solides, en passant par les orthèses articulées, les orthèses à lame postérieure, les orthèses articulées à butée d'extension de cheville et les orthèses spiralées. Les différentes possibilités de lignes de coupe anté ou rétromalléolaires, de rigidité des matériaux, et de hauteur de la lame postérieure, permettent d'adapter l'effet biomécanique recherché.

Par conséquent, les indications des orthèses plantaires décrites dans cet algorithme se réduisent aux *pes cavus* douloureux et aux déficits d'équilibres peu importants (Scheffers et al., 2012). Les orthèses plantaires mentionnées (orthèses plantaires sur mesure, orthèses « Heel cup » et orthèses UCBL) possèdent le point commun d'être thermoformées, ceci afin de contenir tous les bords du calcaneus et ainsi apporter une correction de l'arrière-pied dans le plan frontal (Figure 56) (Edelstein & Bruckner, 2002). Elles peuvent éventuellement se prolonger jusqu'à la partie proximale des têtes métatarsiennes afin de contrôler l'abduction/adduction du pied dans le plan horizontal (J. J. McCarthy & Drennan, 2010).

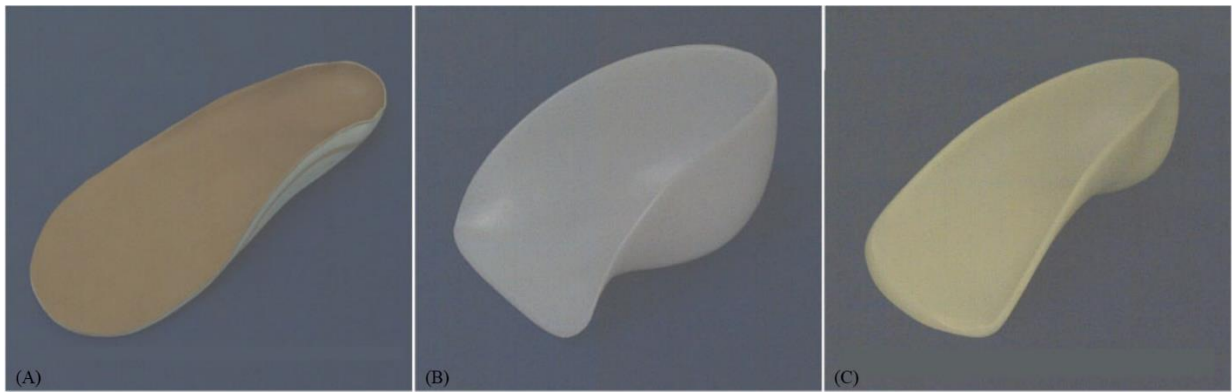


Figure 56. Orthèses plantaires semi-rigides (A), Heel cup (B), UCBL (C). Scheffers (2012)

Cette typologie d'orthèses plantaires présentant une coque talonnière moulée a été utilisée pour mettre en évidence l'efficacité des orthèses sur la diminution des douleurs et des pressions dans les régions de l'avant-pied et de l'arrière-pied dans un contexte de *pes cavus* (Burns et al., 2006). Ainsi, les techniques de thermoformage permettant d'englober le calcaneus et de répartir les pressions plantaires par un renfort de voûte (hémicoupe interne) sont couramment utilisées par les praticiens français pour réaliser les orthèses plantaires.

Pourtant, les orthèses plantaires présentant des éléments internes au niveau de l'arrière-pied, du médio-pied (tel un renfort de voûte plantaire), ou de l'avant-pied, ont pour effet de diriger latéralement la force de réaction du sol, de diminuer l'angle d'éversion de l'arrière-pied pour favoriser son inversion, de diminuer l'amplitude de rotation médiale du tibia, de reporter les pressions médiales sous l'hallux vers les rayons latéraux, et de déplacer latéralement le centre de pression du pied (Farzadi et al., 2015; Halstead et al., 2016; Jafarnejhadgero et al., 2017; C. J. Nester et al., 2003; Peng et al., 2020; X. Zhang et al., 2022). Or, il est reconnu que la morphologie du pied a un impact sur les déplacements du centre de pression au cours de la marche, les pieds en supination ayant tendance à présenter une excursion latérale de celui-ci (Wong et al., 2008).

De surcroît, d'autres recommandations relatives aux orthèses plantaires dans le contexte de la maladie de CMT avec des déformations en *pes cavovarus* ont été émises. Celles-ci sont basées sur l'évaluation de la réductibilité du varus d'arrière-pied par le test du bloc de Coleman. Si la déformation est réductible, alors le fait de laisser tomber en flexion plantaire le premier rayon peut permettre à l'arrière-pied de se corriger en position de valgus (Coleman & Chesnut, 1977). La correction de la position de l'arrière-pied passe par la correction positionnelle de l'avant-pied. À partir de ce principe biomécanique, il semble pertinent que les orthèses plantaires

contribuent à surélever l'avant-pied en latéral, et qu'elles présentent un évidement en regard de la tête du premier métatarsien (M1) permettant au premier rayon de se positionner en flexion plantaire, ceci pouvant aider à positionner l'articulation sous-talienne de manière plus neutre (Beals & Nickisch, 2008).

Les études relatives à l'appareillage au sein de la population CMT ne mettant principalement en avant que des orthèses plantaires réalisées par moulage, ces guidelines de prise en charge ne semblent pas relever d'une grande diffusion scientifique.

En effet, la réalisation d'orthèses plantaires sur moulage incombe systématiquement la présence d'un renfort de voûte, ceci pouvant largement contribuer à augmenter le varus statique et la supination dynamique des pieds dans le contexte de l'ensemble des déformations à typologie *pes cavus* décrites précédemment et rencontrées dans la maladie CMT. Ainsi, toutes orthèses plantaires présentant un renfort de voûte conséquent, réalisées sur moulage pour les patients CMT, pourraient au bénéfice de répartir les pressions plantaires, favoriser l'un des troubles majeurs de la marche chez ces patients qu'est la supination dynamique exagérée (Newman et al., 2007). Au final, peu importe la technique de réalisation utilisée, que les orthèses soient de type intercalaire ou bien thermomoulées, l'augmentation de la supination pourrait conduire à la non-utilisation de l'appareillage réalisé par inadéquation.

L'expertise clinique et les recommandations décrites précédemment permettent de présenter une série d'appareillages délaissés par les patients CMT, car inadaptés à leur dynamique de marche, ainsi que des propositions d'appareillages dont les patients tirent bénéfices (Figures 57 et 58). La réalisation de ces orthèses plantaires a reposé sur un examen clinique exhaustif comprenant les bilans suivants : motifs de consultations, antécédents (médicaux, chirurgicaux, traumatiques), douleurs, musculaires (analyse de la force et des rétractions musculaires), articulaires, sensitifs, morphologiques (*Foot Posture Index*), cutanés, posture et marche (bloc de Coleman et analyses baropodométriques). Par exemple, les orthèses plantaires présentées comportent des talonnettes permettant de compenser l'équin dynamique du pied, un coin pronateur postérieur ayant pour but de lutter contre la supination de l'arrière-pied, une barre rétrocapitale cherchant à répartir les pressions de manière homogène sous les têtes métatarsiennes, des éléments sous-antérocapitaux permettant d'induire une pronation de l'avant-pied, ainsi qu'un évidement sous la 1<sup>re</sup> tête métatarsienne ayant pour but de laisser le premier rayon plonger en pronation. Leur découpe antérieure est rétro-pulpaire afin de faciliter l'abaissement des orteils (généralement en griffes) par l'aponévrose, grâce à l'effet du mécanisme du *Windlass*.

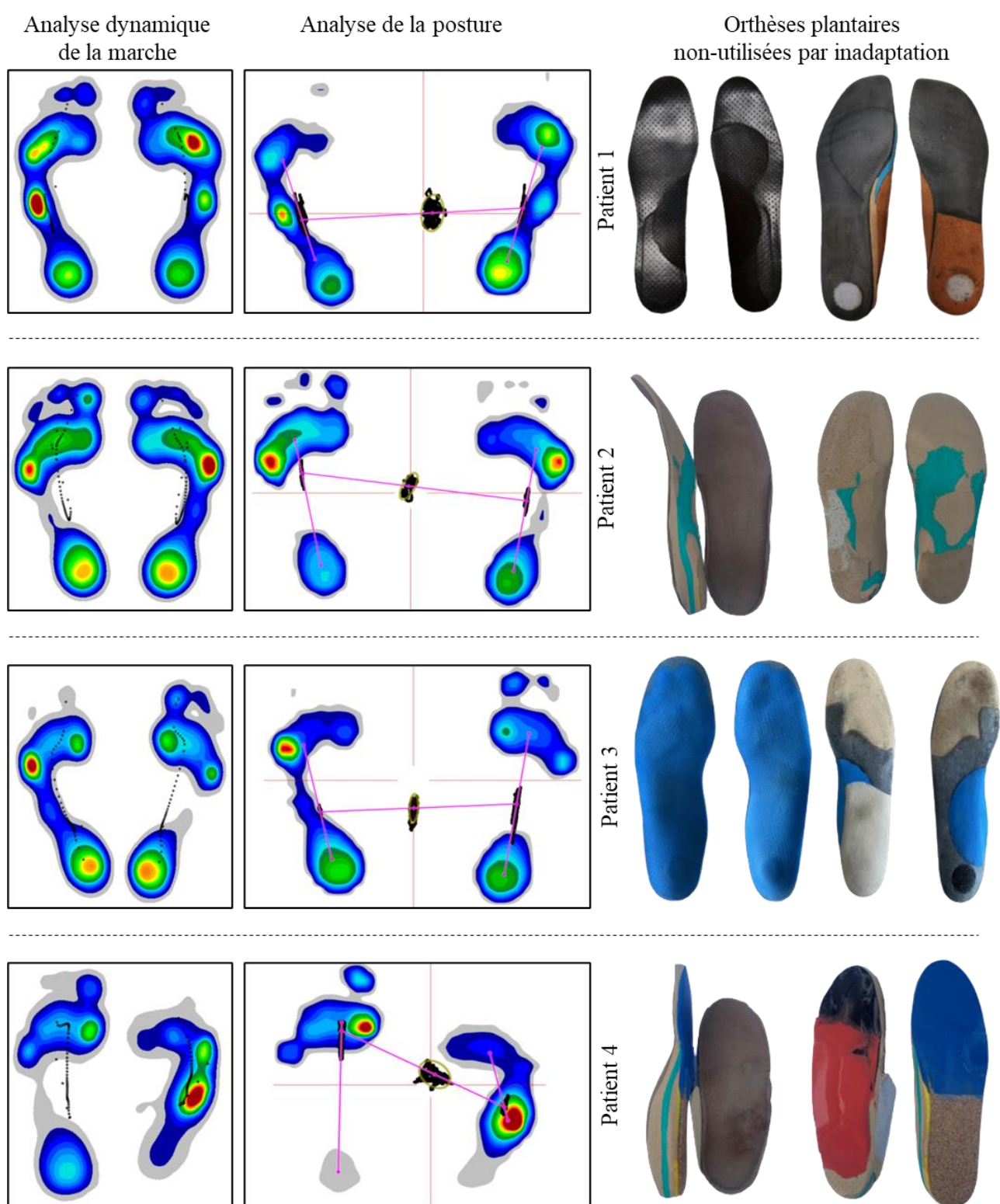


Figure 57. Orthèses plantaires non utilisées favorisant la supination du pied à la marche

Orthèses plantaires utilisées



Figure 58. Proposition d'appareillages utilisés par les patients CMT

Ces orthèses plantaires ont toujours pour objectif de répartir les pressions plantaires et de traiter les douleurs mécaniques, mais peuvent être indiquées pour prendre en charge les troubles de la marche des patients CMT, possiblement associées à l'utilisation de chaussures orthopédiques et d'orthèses suro-pédieuses.

### **3 Autour de la normalisation des évaluations des déformations neuro-orthopédiques**

Comme pour toute prise en charge médico-chirurgicale envisagée, la potentielle réalisation de l'appareillage doit reposer pleinement sur l'acte intellectuel d'évaluation du patient au préalable. Concernant l'évaluation de la déformation des pieds en routine clinique, le FPI-6 représente l'échelle la plus spécifique pour les patients atteints de CMT (Rambelli et al., 2022). Cet outil doit donc être utilisé pour quantifier les déformations du pied dès la primoévaluation, mais aussi lors du suivi de l'évolution des déformations étant donné le contexte de maladies dégénératives. Bien qu'il semble exister un manque d'études relatant de sa capacité à détecter un changement lié à une prise en charge comme un acte chirurgical, son utilisation demeure fortement conseillée pour apporter une base de quantification des déformations. Le FPI-6 répond à la nécessité de déterminer la dominance planaire d'une déformation pour proposer un traitement (E. J. Harris, 2010).

Étant donné qu'il ne semble pas exister de guidelines précises de l'examen clinique des patients CMT permettant de conduire à la prise en charge orthétique, il semble nécessaire de normaliser les pratiques d'évaluation en France. Comme précisé précédemment, le bilan clinique se doit d'être exhaustif et peut notamment s'appuyer sur des échelles validées d'analyse de la douleur, de la force musculaire, de la fonction locomotrice... L'évaluation clinique pour décision d'appareillage doit se voir ajouter l'utilisation du bloc de Coleman et du FPI-6, tous deux non intégrés dans le système d'évaluation actuel français. L'adaptation transculturelle du FPI-6 maintenant réalisée permet de fournir un outil de classification morphologique reproductible, compréhensible par l'ensemble des praticiens, et devrait faciliter son utilisation clinique et de recherche en partageant plus efficacement les données.

Le pédicure-podologue semble avoir un rôle à jouer dans le parcours de soin des patients CMT. Ce professionnel pourrait apporter son expertise d'analyse des déformations et de la marche pour aider à la décision du meilleur appareillage possible. La réalisation d'un cahier des charges

de l'appareillage pourrait faciliter la décision du choix du type d'appareillage à prescrire. En cas de nécessité d'orthèses plantaires, le pédicure-podologue pourrait éventuellement être amené à confectionner cet appareillage, en synergie avec les autres métiers dédiés au grand appareillage et sous la coordination du médecin MPR. Ce parcours aurait pour but de tenter d'augmenter la satisfaction des patients CMT, et ainsi minimiser cette non-utilisation massive. La prise en charge devant respecter la progressivité de l'acte le moins invasif possible vers l'acte plus définitif, l'amélioration qualitative des appareillages permettra de prévenir l'orientation chirurgicale précoce. En outre, l'utilisation d'un langage d'évaluation clinique commun entre prescripteurs et métiers de l'appareillage est d'autant plus nécessaire lorsque l'on traite des déformations du pied et leur impact fonctionnel. Les prescriptions orthétiques ayant pour habitude d'être basées sur la description anatomique du pied, la normalisation des données par le FPI-6 est nécessaire pour prévenir du biais de prescriptions lié à la subjectivité de l'évaluation des déformations.

Finalement, l'utilisation de l'appareillage est étroitement liée au suivi, qui incombe des réévaluations des déformations, et une réflexion d'adaptation de l'appareillage selon les observations cliniques et les attentes du patient. La prévention de la non-utilisation des orthèses plantaires devra peut-être passer par un remboursement de la part de l'assurance maladie de la consultation de contrôle de l'appareillage dans le contexte de maladie neurodégénérative telle CMT. Ceci permettrait de contraindre le praticien à vérifier l'efficacité de son travail, au patient d'exposer son expérience, et ainsi d'autoriser un acte de réflexion autour de l'appareillage pour limiter l'inutilisation massive par inadaptation à court terme.

#### **4 Raisons du retard de la profession de pédicure-podologue**

Grâce à leur formation bien plus évoluée, les professions spécialisées dans la prise en charge des pathologies du pied ont une forte tendance à se rapprocher du domaine médico-chirurgical dans les pays anglo-saxons. Par son histoire, la pédicure-podologie en France semble avoir pris du retard sur les modalités d'accès, de formation et d'élargissement des champs de compétences, y compris au sein de l'Europe. Le placement de l'enseignement de la *podiatry* sous l'égide des universités avec la possibilité de faire de la recherche financée par l'État commence à dater (D. R. Murphy et al., 2008). A contrario, l'établissement de conventions entre instituts de formation et universités à secteur santé françaises est récent, ce changement



n'ayant pas permis d'empêcher que les études soient dispensées dans des instituts spécialisés quasi exclusivement privés. De plus, le système public français n'intègre pas le pédicure-podologue dans le milieu hospitalier contrairement au modèle américain (Cook & Gutowsky, 2007; Levrio, 2009; Levy, 1990). Les exigences et les normes étant très loin d'être semblables, il est évident que le métier de pédicure-podologue diffère de ces équivalents internationaux, et que l'appel à la parité avec la médecine ou la podiatrie semble illégitime et inenvisageable à l'heure actuelle (Levy, 1996).

Le métier de pédicure-podologue en France repose historiquement sur la prise en charge par soin de pédicurie (loi du 30 avril 1946). Par la suite s'est amorcée une tendance croissante vers la prise en charge par appareillage (décret du 2 octobre 1991), qui évolue encore à ce jour. Cependant, d'autres professions permettent en France de revendiquer et d'assurer la prise en charge des patients par orthèses plantaires.

En France, l'arrêté du 21 juin 1994 fixe les critères de compétence nécessaires aux fournisseurs d'orthèses (titre II, chapitre I<sup>er</sup>) pour l'obtention d'un agrément par les organismes de prise en charge (Journal Officiel du 17 juillet 1994). L'article 1<sup>er</sup> classe les orthèses plantaires en catégorie 4 du conventionnement d'orthèses. L'article 2 mentionne les professionnels pouvant être agréés par les organismes de prise en charge concernant les orthèses plantaires, déclinés ci-dessous.

- Podo-orthésistes agréés

La formation au métier de podo-orthésiste permet l'obtention d'un Brevet de Technicien Supérieur en Podo-Orthèse (niveau bac +2). Cette profession est spécialiste de l'appareillage orthopédique sur mesure, et plus particulièrement des chaussures orthopédiques (ou chaussures thérapeutiques sur mesure), qui comprennent des orthèses plantaires (Article D4364-3 du Code de la santé publique, modifié par le décret n°2011-1432 du 3 novembre 2011 - art. 2). La pratique professionnelle correspond à la conception de l'appareillage après mesure, mais aussi au contrôle de sa tolérance et de son efficacité fonctionnelle après sa délivrance, avec donc une notion de suivi pour adaptation. La prise en charge des chaussures orthopédiques et donc des orthèses plantaires est assurée par l'assurance maladie après entente préalable, sous réserve d'une prescription médicale effectuée par un médecin spécialiste (médecine physique et réadaptation fonctionnelle, orthopédie, rhumatologie, neurochirurgie, neurologie, endocrinologie, chirurgie plastique et reconstructrice, chirurgie vasculaire, pédiatrie, dermatologie ou gériatrie).

- Pharmaciens ayant suivi avec succès une formation complémentaire en orthèses

Sont concernés les pharmaciens d'officine ayant suivi avec succès une formation complémentaire en orthèses. Ils peuvent valider un Diplôme Universitaire ou Interuniversitaire d'orthopédie, leur permettant d'acquérir la compétence de pharmacien orthésiste. Ce diplôme permet d'obtenir l'agrément pour la prise en charge et le remboursement de l'appareillage orthopédique. Seule une dizaine d'heures de formation est en moyenne consacrée à l'examen du pied, à la prise d'empreintes et à la réalisation d'orthèses plantaires.

- Orthopédistes-orthésistes

Ce métier est spécialisé dans l'appareillage orthopédique sur mesure ou de série (Article D4364-6 du Code de la santé publique modifié par le décret n°2011-1432 du 3 novembre 2011, Article 3). Cette formation dite de certification professionnelle est de durée variable selon l'établissement de formation (de 1 à 2 ans). Plusieurs personnes non titulaires du diplôme peuvent exercer la profession par équivalences et dérogations selon la reconnaissance de la compétence professionnelle (titulaires du certificat de technicien bandagiste orthopédiste petit appareillage ; titulaires du diplôme d'enseignement en orthèses de la chambre des métiers de Paris et la Chambre syndicale nationale des podo-orthésistes ; etc.) (Arrêté du 1<sup>er</sup> février 2011 relatif aux professions de prothésiste et orthésiste pour l'appareillage des personnes handicapées, Article 7, Journal Officiel n°0028 du 3 février 2011). Certains dispositifs médicaux sont exclusivement conçus par les orthopédistes-orthésistes (vêtements compressifs pour grands brûlés, ceintures médico-chirurgicales de soutien, corsets orthopédiques d'immobilisation du rachis, etc.).

- Orthoprothésistes (ou agents techniques prothésistes et orthésistes)

Leur formation est multimodale (CAP orthoprothésiste ; bac professionnel technicien en appareillage orthopédique ; BTS prothésiste-orthésiste). Plusieurs personnes non titulaires du diplôme peuvent exercer la profession (titulaires du BTS prothésiste-orthésiste ; ou professionnels dont la compétence a été reconnue par les organismes d'assurance maladie et le ministère chargé des anciens combattants et victimes de guerre) (Arrêté du 1<sup>er</sup> février 2011 relatif aux professions de prothésiste et orthésiste pour l'appareillage des personnes handicapées, Article 3, Journal Officiel n°0028 du 3 février 2011). Ils sont spécialisés dans l'appareillage orthopédique externe sur mesure, et plus particulièrement le grand appareillage. La pratique professionnelle englobe la conception de l'appareillage avec un suivi précis de l'adaptation permettant les ajustements et réparations nécessaires (Article D4364-2 du Code de la santé publique modifié par le décret n°2011-1432 du 3 novembre 2011 - art. 1).

Ainsi, les orthoprothésistes sont les seuls professionnels autorisés à concevoir les dispositifs médicaux sur mesure destinés au maintien, à la correction ou au remplacement de tout ou partie des membres supérieurs ou inférieurs, ou du tronc ; les orthèses du tronc adaptées sur mesure et personnalisées destinées à prévenir ou à corriger des déformations du rachis ; et les orthèses de positionnement du corps en position assise, debout ou couchée, adaptées sur mesure et personnalisées (Arrêté du 1<sup>er</sup> février 2011 relatif aux professions de prothésiste et orthésiste pour l'appareillage des personnes handicapées, Article 1, Journal Officiel n°0028 du 3 février 2011).

- Pédicures-Podologues

La profession de pédicure-podologue a bénéficié de la parution de nombreuses lois lui permettant d'être profession de santé inscrite dans le Code de la Santé Publique, et de réaliser des orthèses plantaires remboursées partiellement par l'assurance maladie après trois années de formation sur les pathologies de l'appareil locomoteur. Cette profession est actuellement en France la seule, parmi les professions pouvant délivrer des orthèses plantaires, à posséder le droit de diagnostic, de renouvellement et d'adaptation de la prescription initiale d'orthèse plantaire datant de moins de trois ans (Article L4322-1 du Code de la Santé Publique). Un nouvel amendement vient tout juste d'être adopté en première lecture à l'Assemblée nationale relatif à l'élargissement des compétences du pédicure-podologue, comprenant notamment la possibilité de prescription des orthèses plantaires en première intention (Ordre National des Pédicures-Podologues, 2023). Le pédicure-podologue semble ainsi être le méfier référent en France pour la prise en charge par orthèses plantaires.

Pourtant selon le Code de la Santé Publique, les professions en lien avec l'appareillage des personnes en situation de handicap (présentant amputation partielle ou totale d'un membre, déficience ostéo-articulaire, musculaire ou neurologique) sont les orthoprothésistes, les podorthésistes, les ocularistes, les épithésistes et les orthopédistes-orthésistes. Ainsi, le métier de pédicure-podologue ne semble pas spécifiquement concerné par la prise en charge d'une partie de la population nécessitant pourtant massivement la prescription d'orthèses plantaires.

Ces cinq métiers dits de l'appareillage relatifs aux personnes en situation de handicap doivent strictement exécuter la prescription médicale. Ils n'effectuent de modifications qui s'avèreraient nécessaires par rapport à la prescription initiale, qu'après avoir obtenu l'accord du médecin prescripteur (Arrêté du 1<sup>er</sup> février 2011 relatif aux professions de prothésiste et orthésiste pour l'appareillage des personnes handicapées, Article 17, Journal Officiel n°0028 du 3 février 2011).

L'exercice professionnel autour de l'appareillage des orthoprothésistes, podo-orthésistes et orthopédistes-orthésistes comprend les essais éventuels avec contrôle immédiat de l'efficacité, ainsi que les modifications nécessaires à terme (Arrêté du 1<sup>er</sup> février 2011 relatif aux professions de prothésiste et orthésiste pour l'appareillage des personnes handicapées, Article 23, Journal Officiel n°0028 du 3 février 2011).

Le métier de pédicure-podologue incombe d'effectuer les modifications nécessaires aux orthèses plantaires dans les 6 premiers mois, à titre gratuit (Article L165-1 de l'arrêté du 13 juillet 2009, Journal Officiel du 31 juillet 2009). Ceci peut avoir un double impact : la non-intégration dans la culture des professionnels du suivi du patient, et conséquemment un potentiel déficit dans la prise en charge.

Dans un contexte de pathologies évolutives ou complexes, les patients peuvent nécessiter de multiples consultations afin de tenter de trouver le bon réglage de l'appareillage. La garantie gratuite de la part du pédicure-podologue limite ces possibilités, et incombe une simplification de l'acte au détriment du patient. Le praticien peut être contraint d'adapter la semelle lors de ce premier semestre, sans réaliser de nouvel examen clinique. L'acte intellectuel semble ainsi exclu en cas d'évolution de la pathologie.

Les pédicures-podologues, spécialistes des orthèses plantaires, ne semblent donc pas assimilés à des professionnels en lien avec les individus en situation de handicap, et ne sont pas intégrés dans le milieu hospitalier. Les principales pathologies ne leur sont donc pas couramment adressées. Les patients, pouvant présenter des pathologies diverses et évolutives nécessitant l'adaptation d'orthèses plantaires, peuvent être confrontés à une certaine difficulté pour établir le parcours idéal de leur prise en charge, parmi l'ensemble des professionnels réalisant de l'appareillage.

Cependant, lors des propositions d'élargissement des compétences, jamais les pédicures-podologues ne semblent avoir revendiqué un droit de prise en charge de leur acte, pour suivi des patients. À croire que les patients nécessitant de multiples consultations, de nombreuses réflexions, des difficultés de diagnostic et de prise en charge par orthèses plantaires, ne représentent pas une priorité ? La compréhension de l'échec de l'appareillage fait-elle peur ?

Il apparaît urgent d'apporter de nouveaux éléments permettant de replacer le pédicure-podologue au centre de la prise en charge des patients neuro-orthopédiques.

## **5 Autour des modèles**

### **5.1 Modèle logique théorique**

Selon ce modèle, le modèle causal correspond au problème à corriger choisi parmi une somme de problèmes, et à ses causes. Dans le cadre de l'étude portant sur l'analyse des objectifs des patients pour une chirurgie d'hallux valgus, le travail s'intègre pleinement dans ce modèle causal. La somme des problèmes est assimilée à l'ensemble des symptômes liés à la déformation, qui conditionnent les attentes et les objectifs du patient vis-à-vis d'une chirurgie. La création du questionnaire issu de l'étude permet au patient et au praticien d'affiner la problématique parmi la multiplicité des symptômes et des objectifs. L'étude se positionne ainsi au sein du modèle avant la décision des objectifs d'interventions, correspondant ici à l'acte chirurgical de la déformation. Le questionnaire d'analyse des objectifs du patient en primoconsultation pour avis chirurgical prétend à modifier la prise de décision des objectifs d'interventions de la part du praticien, mais se place également du côté patient en l'éclaircissant sur ses réelles motivations et la réalité de prise en charge.

Dans le modèle logique théorique, le modèle opérationnel est décrit comme établissant le lien entre les structures et les processus jusqu'aux premiers résultats. Notre étude relative à l'analyse du parcours patient dans le contexte de la maladie CMT s'intègre à ce modèle. Les ressources et processus autour du patient CMT lors de sa prise en charge par appareillages, pouvant correspondre aux praticiens consultés, aux évaluations et réévaluations réalisées, aux différents appareillages prescrits, ainsi que leurs suivis, ont été analysés. Les objectifs visés par les appareillages ont également été investigués, comme le recommande le modèle opérationnel. Toutes ces données ont été mises en lien jusqu'aux résultats de continuité d'utilisation des appareillages, ou au contraire de délaissement de ceux-ci, souvent par inadaptation pour le patient. L'étude se positionne donc en amont de l'application du programme de prise en charge, mais également en aval de ce programme avec évaluation des effets attendus.

L'étude relative à l'adaptation transculturelle et la fiabilité du FPI-6 se positionne elle aussi dans le modèle logique théorique au sein du modèle causal, avant la décision des objectifs d'intervention, ainsi qu'au sein du modèle opérationnel lors de l'évaluation des effets du programme attendus. L'évaluation des déformations du pied en primoconsultation peut relever

de l'utilisation de cet outil d'analyse. En outre, toute réévaluation post-interventionnelle, qu'elle soit par appareillages, ou bien chirurgicale, doit de nouveau reposer sur cette évaluation.

En élargissant la notion de programme de réadaptation à celle de programme de prise en charge, en positionnant les déformations des pieds comme problématique majeure, et en redéfinissant le champ de l'évaluation comme primordial pour amener à une décision optimale de programme thérapeutique, il est ici proposé une adaptation du modèle logique théorique centré sur l'évaluation.

## **5.2 Evidence-Based Practice**

La pratique fondée sur les preuves (Evidence-Based Practice ou EBP) s'est développée à partir de la médecine fondée sur les données probantes (Evidence-Based Medicine ou EBM) (Dusin et al., 2023; Guyatt, 1991; Sur & Dahm, 2011). L'EBP est l'utilisation consciencieuse et judicieuse des meilleures données actuelles de la recherche clinique dans la prise en charge personnalisée de chaque patient (Sackett et al., 1996). Elle correspond à l'intégration des meilleures données issues de la recherche à l'expertise clinique et aux valeurs du patient (Sackett, 1997). L'objectif est d'améliorer les soins, les traitements et les résultats pour les patients, en se focalisant sur leurs besoins et attentes (Figure 59).

Un modèle de l'EBP en 5 étapes a initialement été créé (Sackett, 1997) :

1. Formulation d'une question clinique à partir d'un problème critique posé
2. Acquisition des meilleures données probantes par recherche dans la littérature d'articles pertinents sur la problématique
3. Évaluation critique des données probantes, de la validité et de l'intérêt des résultats trouvés
4. Application des résultats dans la pratique clinique
5. Évaluation des résultats du changement

Une autre composante de ce modèle est la valeur et les préférences du patient.



Figure 59. Evidence-Based Practice.

De nombreux modèles théoriques se sont développés afin de faciliter l'approche la plus pertinente dans la recherche et la pratique selon la spécialité, et de favoriser le dialogue interdisciplinaire (Nilsen, 2015). Leur multitude peut faire naître une confusion autour de l'outil le plus adapté. Les modèles basés sur les cinq principales étapes décrites par Sackett (Sackett, 1997) paraissent les plus pertinents.

Pour la formulation de la question clinique, les modèles reposent généralement sur le format PICO (Patient/Population Intervention Comparaison Résultat) (Iowa Model Collaborative et al., 2017; Jordan et al., 2019). Cependant, concernant l'acquisition des données probantes, seulement quatre modèles portent considération à l'utilisation des préférences et des valeurs des patients comme données probantes (Dusin et al., 2023). L'évaluation des données probantes a tendance à reposer sur des outils d'évaluation du niveau de preuve (Melnik, 2012; Newhouse et al., 2007; Rosswurm & Larrabee, 1999), tandis que leur application dans la pratique peut légitimer la nécessité d'experts en EBP pour aider à la mise en œuvre des données probantes (Iowa Model Collaborative et al., 2017). Enfin, l'évaluation des résultats du changement se base sur l'utilisation de mesures (Jordan et al., 2019; Newhouse et al., 2007).

Peu de modèles EBP se sont réellement développés autour des préférences et des valeurs du patient. Les attentes des patients et donc leurs expériences demeurent complexes à définir et doivent relever d'un bilan exhaustif.

Pourtant, cette approche demeure fondamentale pour ancrer une transformation durable des pratiques cliniques au profit du patient (Gartner et al., 2022). L'absence de décision partagée et

de soins centrés sur le patient en négligeant l'interdisciplinarité contribue à la mauvaise expérience du patient (Ocloo et al., 2020).

Finalement, parmi les modèles basés sur la pierre angulaire en cinq étapes, le modèle d'Iowa, l'*Advancing Research and Clinical practice through close Collaboration*, le modèle de Johns Hopkins et celui de Joanna Brings se sont bien ancrés (Dusin et al., 2023; Iowa Model Collaborative et al., 2017; Jordan et al., 2019; Melnyk, 2012; Newhouse et al., 2007).

L'utilisation des modèles EBP se penchant précisément sur les valeurs du patient semble les plus à même de pouvoir faire évoluer les pratiques.

En ce sens, le modèle de Joanna Brings, qui intègre pleinement les valeurs du patient, peut représenter une approche intéressante (Figure 60). La version originale conceptualise la pratique fondée sur des données probantes comme « une prise de décision clinique qui tient compte des meilleures données disponibles, du contexte dans lequel les soins sont dispensés, des préférences du patient et du jugement professionnel du professionnel de santé » (Pearson et al., 2005). Ce modèle tend à combler la lacune existante dans l'intégration de la recherche dans la pratique clinique, représentée par l'écart entre le besoin de connaissances et la découverte. Le modèle revendique une approche intégrée de la sélection des sujets, ainsi qu'une collaboration active entre ceux qui conduisent les recherches et les utilisateurs finaux de cette science (Pearson et al., 2012). Les préférences et valeurs du patient sont les fondements de « l'expérience », et le terme « expertise » peut se référer conjointement aux connaissances générées par le patient ou bien le clinicien (Jordan et al., 2019). Finalement, ces connaissances mises en commun doivent permettre une prise de décision partagée.

En outre, le nouveau modèle de Joanna Briggs met en avant la nécessité de guidelines minutieuses, devant se caractériser par l'utilisation d'une méthodologie rigoureuse, avec présentation clarifiée des recommandations liées aux données probantes.

Les travaux de cette thèse sont en adéquation avec ce modèle. D'une part, la méthode Delphi réalisée contribue pleinement à la fondation d'une expertise facilitant la prise de décision partagée. D'autre part, l'adaptation transculturelle du FPI-6 relève de la métrologie, et propose un outil dont la fiabilité a été évaluée. Finalement, l'étude sur le parcours de soins des personnes atteintes de CMT ayant bénéficié d'appareillages met en exergue l'expérience des patients. L'ensemble de ce travail est donc focalisé sur l'émergence d'expertise clinique au profit du patient. Comme le dit Sackett, « Sans expertise clinique, la pratique risque de devenir tyrannisée par les preuves, car même d'excellentes preuves peuvent être inapplicables ou inappropriées pour un patient à l'échelle individuelle » (Sackett, 1997).



La diffusion d'informations prônée par l'EBP repose sur l'élaboration de messages compréhensibles et exploitables, la prise en compte du contexte de besoins d'informations du public cible, et la diffusion des messages par des moyens rentables, sans se satisfaire d'une publication scientifique (Jordan et al., 2019). Les travaux de cette thèse ont permis l'intégration des données probantes par l'intermédiaire des associations de patients, et d'une formation professionnelle continue grâce à la diffusion d'informations lors de congrès.



Figure 60. Nouveau modèle de soins de santé fondé sur les données probantes de l'Institut Joanna Briggs, d'après Jordan (2018).

### 5.3 Modèle biopsychosocial

La loi n°2002-303 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé annonce dans l'article L. 1110-5 que « Toute personne a le droit de recevoir des soins visant à soulager sa douleur. Celle-ci doit être en toute circonstance prévenue, évaluée, prise en compte et traitée ». Depuis les premiers travaux d'Engel en 1977 d'approche multimodale de la santé, un modèle biopsychosocial dans le domaine de la douleur chronique a été développé, permettant de mettre

en avant la réelle nécessité de compréhension de la douleur dans un contexte de facteurs aussi bien sociaux que biologiques, psychologiques et physiques (Engel, 1977; Waddell, 1987, 1992) (Figure 61). Ce modèle biopsychosocial est maintenant largement accepté comme l'approche la plus heuristique de la compréhension et du traitement de la douleur chronique. Un récent guide pratique pour l'évaluation biopsychosociale des patients souffrant de douleurs chroniques a été proposé pour tenter d'établir le mécanisme dominant de la douleur, ainsi que d'évaluer les facteurs biopsychosociaux qui provoquent et perpétuent la douleur chez les patients souffrant de douleurs chroniques (Wijma et al., 2016). Cette approche multimodale représente un exemple pour le champ de l'évaluation.

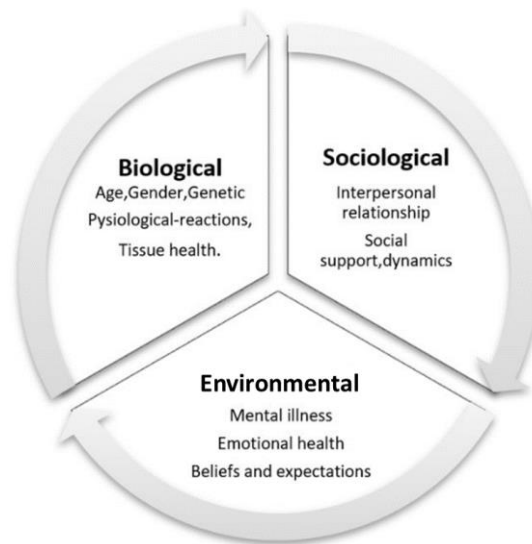


Figure 61. Modèle biopsychosocial, selon George L. Engel (1977). Source : <https://ncbi.nlm.nih.gov>.

Dans ce contexte de modèle biopsychosocial, l'association des facteurs psychosociaux avec les troubles musculo-squelettiques est en pleine émergence. L'évaluation clinique et la décision de prise en charge par orthèses plantaires qui en découle doivent désormais s'inscrire dans le cadre de la pratique fondée sur les preuves (Evidence-Based Practice), et ainsi reposer sur l'intégration des meilleures preuves disponibles, sur les connaissances et sur l'expertise du clinicien intégrant les facteurs psychosociaux, sans exclure les besoins personnalisés des patients (Lines et al., 2015). Les directives de prise en charge orthétique sont encore peu nombreuses, et peuvent refléter la prédominance d'une définition biophysique des orthèses

plantaires (The American College of Foot & Ankle Orthopedics & Medicine, 2011). Face au constat que la conception des orthèses plantaires et leurs résultats sont influencés par de multiples facteurs, leur valeur clinique a été récemment envisagée dans un continuum biopsychosocial numérique qui reflète la réalité de la pratique de l'orthèse plantaire (Deschamps et al., 2021). Ce modèle tend à refléter la nature de la pratique des soins de santé, et insiste sur les notions d'approche centrée sur la personne, d'évaluation biopsychosociale du patient, et de la nécessité du suivi.

Les travaux de cette thèse sont grandement axés sur les attentes du patient, l'optimisation de la prise en charge par standardisation et uniformisation des pratiques, et donc sur la prévention de la prise en charge. Ils impliquent des approches quantitatives, qualitatives, et holistiques des soins, centrés sur le patient, et incitent à suivre le modèle multidimensionnel biopsychosocial qui s'attaque au point de vue réductionniste de la prise en charge par appareillage. Ces travaux s'ancrent dans le modèle de l'EBP où la valeur du patient et ses préférences sont au centre de l'attention.

## Conclusion générale

---

La prise en charge de nombreuses pathologies mettant en rapport la notion de déformation du pied avec des troubles de la fonction ne semble pas inclure le pédicure-podologue. On note cependant l'émergence d'un besoin réel autour de la prise en charge des patients porteurs de déformations évolutives secondaires à une pathologie neurologique, type Charcot-Marie-Tooth, ceux-ci étant confrontés à un parcours de soin non coordonné et parcellaire ; la création d'un langage commun interprofessionnel dans les outils d'évaluation et de diagnostic ; la prise en charge préchirurgicale des déformations du pied (hallux valgus).

Cette thèse axée sur l'évaluation permet de comprendre le retard pris par la France dans la formation du professionnel de santé spécialiste du pied ; de proposer des méthodes d'évaluation du parcours patient en appareillage en neuro-orthopédie et de replacer le pédicure-podologue dans la prise en charge ; de proposer une uniformisation des bilans permettant un dialogue interprofessionnel et de replacer le pédicure-podologue dans l'évaluation des déformations ; de proposer une méthode de conception d'analyse des objectifs et du motif de consultation dans les pathologies déformantes du pied pouvant être appliquée par tous les cliniciens et enfin de replacer le pédicure-podologue en amont de la consultation chirurgicale.

Dans la continuité de ces travaux, mes perspectives sont de réaliser des études permettant de déterminer l'examen clinique type des déformations des pieds permettant de potentialiser la décision thérapeutique, notamment orthétique. J'aurai alors pour objectif de valider scientifiquement la prise en charge par appareillage des différentes affections neuro-orthopédiques, et d'évaluer de manière multimodale l'impact du traitement orthétique et chirurgical afin de faire émerger les axes de recherche nécessaires à l'amélioration de la prise en charge des patients compliqués.

## Références

---

- Abdel-Fattah, M. M., Hassanin, M. M., Felembane, F. A., & Nassaane, M. T. (2006). Flat foot among Saudi Arabian army recruits: Prevalence and risk factors. *Eastern Mediterranean Health Journal = La Revue De Sante De La Mediterranee Orientale = Al-Majallah Al-Sihhiyah Li-Sharq Al-Mutawassit*, 12(1–2), 211–217.
- Abousayed, M. M., Tartaglione, J. P., Rosenbaum, A. J., & Dipreta, J. A. (2016). Classifications in Brief: Johnson and Strom Classification of Adult-acquired Flatfoot Deformity. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 474(2), 588–593. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4581-6>
- AFM Téléthon. (2015). *La maladie de Charcot-Marie-Tooth*.
- AFM-Telethon. (2021). <https://www.afm-telethon.fr/actualites/avancees-recherche-3847>.
- Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé. (1999). *Évaluation et suivi de la douleur chronique chez l'adulte en médecine ambulatoire*.
- Agrawal, Y., Desai, A., & Mehta, J. (2011). Lateral sesamoid position in hallux valgus: Correlation with the conventional radiological assessment. *Foot and Ankle Surgery*, 17(4), 308–311. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2011.01.001>
- Akin, O. (1925). The treatment of hallux valgus -anew operative procedure and its results. *Med Sentinel*, 33, 678–683.
- Akoh, C. C., & Phisitkul, P. (2019). Clinical Examination and Radiographic Assessment of the Cavus Foot. *Foot and Ankle Clinics*, 24(2), 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.02.002>
- Alexander, M. A., & Matthews, D. J. (Eds.). (2009). *Pediatric rehabilitation: Principles and practice* (4th ed). Demos Medical.
- Al-Mohrej, O. A., & Al-Kenani, N. S. (2016). Acute ankle sprain: Conservative or surgical approach? *EFORT Open Reviews*, 1(2), 34–44. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.1.000010>
- Aminian, A., & Sangeorzan, B. J. (2008). The Anatomy of Cavus Foot Deformity. *Foot and Ankle Clinics*, 13(2), 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2008.01.004>
- AOFAS Board of Directors. (2015). *Position statement cosmetic foot and ankle surgery*. [https://www.aofas.org/docs/default-source/research-andpolicy/position\\_statement\\_on\\_cosmetic\\_foot\\_and\\_ankle\\_surgery.pdf?sfvrsn=c416380b\\_2](https://www.aofas.org/docs/default-source/research-andpolicy/position_statement_on_cosmetic_foot_and_ankle_surgery.pdf?sfvrsn=c416380b_2).
- AOFAS Board of Directors. (2018). *Position Statement Patient-Reported Outcomes Measures AOFAS Board of Directors*.
- Aparisi Gómez, M. P., Aparisi, F., Bartoloni, A., Ferrando Fons, M. A., Battista, G., Guglielmi, G., & Bazzocchi, A. (2019a). Anatomical variation in the ankle and foot: From incidental finding to inductor of pathology. Part I: ankle and hindfoot. *Insights into Imaging*, 10(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0746-2>
- Aparisi Gómez, M. P., Aparisi, F., Bartoloni, A., Ferrando Fons, M. A., Battista, G., Guglielmi, G., & Bazzocchi, A. (2019b). Anatomical variation in the ankle and foot: From incidental finding to inductor of pathology. Part II: midfoot and forefoot. *Insights into Imaging*, 10(1), 69. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0747-1>
- Aquino, M. R. C., Avelar, B. S., Silva, P. L., Ocarino, J. M., & Resende, R. A. (2018). Reliability of Foot Posture Index individual and total scores for adults and older adults. *Musculoskeletal Science and Practice*, 36, 92–95. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2018.02.002>
- Arge, A., Lenzner, A., Gapeyeva, H., & Pääsuke, M. (2012). Range of motion and pain intensity of the first metatarsophalangeal joint in women with hallux valgus

- deformation after two-month home exercise programme. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 18, 111. <https://doi.org/10.12697/akut.2012.18.12>
- Asomugha, A. L., Chukwuanukwu, T. O. G., Nwajagu, G. I., & Ukoha, U. (2005). An accessory flexor of the fifth toe. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 8(2), 130–132.
- Assurance Maladie. (2021). *Affections de Longue Durée (ALD)*. <https://assurance-maladie.ameli.fr/etudes-et-donnees/entree-par-theme/pathologies/affections-de-longue-duree-ald/affections-longue-duree-ald>
- Athavale, S. A., Geetha, G. N., & Swathi, null. (2012). Morphology of flexor digitorum accessorius muscle. *Surgical and Radiologic Anatomy: SRA*, 34(4), 367–372. <https://doi.org/10.1007/s00276-011-0909-4>
- Attal, N., Bouhassira, D., & Baron, R. (2018). Diagnosis and assessment of neuropathic pain through questionnaires. *The Lancet Neurology*, 17(5), 456–466. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30071-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30071-1)
- Austin, D. W., & Leventen, E. O. (1981). A new osteotomy for hallux valgus: A horizontally directed “V” displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus and primus varus. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 157, 25–30.
- Baca, E., Tuy, E., & Çelen, K. M. (2019). Can radiology reflect patient satisfaction after hallux valgus surgery? *Eklemler Hastalıkları Ve Cerrahisi = Joint Diseases & Related Surgery*, 30(3), 241–245. <https://doi.org/10.5606/ehc.2019.66568>
- Bahar, H., & Yildiz, K. I. (2021). Association of Visual Appearance on Outcomes After Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle International*, 42(12), 1584–1588. <https://doi.org/10.1177/10711007211019940>
- Banks, A. S. (2011). Treadway’s Lasting Contribution to Surgical Residency Training. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 50(5), 630–631. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2011.06.001>
- Banwell, H. A., Mackintosh, S., Thewlis, D., & Landorf, K. B. (2014). Consensus-based recommendations of Australian podiatrists for the prescription of foot orthoses for symptomatic flexible pes planus in adults. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s13047-014-0049-2>
- Banwell, H. A., Paris, M. E., Mackintosh, S., & Williams, C. M. (2018). Paediatric flexible flat foot: How are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*, 11(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0264-3>
- Barakat, M. J., & Gargan, M. F. (2006). Deformities of the lesser toes – how should we describe them? *The Foot*, 16(1), 16–18. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2005.10.003>
- Barg, A., Harmer, J. R., Presson, A. P., Zhang, C., Lackey, M., & Saltzman, C. L. (2018). Unfavorable Outcomes Following Surgical Treatment of Hallux Valgus Deformity: A Systematic Literature Review. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 100(18), 1563–1573. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.00975>
- Barg, A., & Saltzman, C. (2017). Outcomes Following Surgical Treatment of Hallux Valgus Deformity: A Systematic Literature Review. *Foot & Ankle Orthopaedics*, 2(3), 2473011417S0001. <https://doi.org/10.1177/2473011417S000110>
- Barouk, L. S. (1992). Notre expérience de l’ostéotomie “Scarf” des premier et cinquième métatarsiens. *Med Chir Pied*, 8, 67–84.
- Barouk, L. S. (2014). The Effect of Gastrocnemius Tightness on the Pathogenesis of Juvenile Hallux Valgus. *Foot and Ankle Clinics*, 19(4), 807–822. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2014.08.005>
- Barouk, L. S., Barouk, P., & Toullec, E. (2006). Résultats de la libération proximale des gastrocnémiens. Étude prospective. Symposium “Brièveté des gastrocnémiens.”

- Médecine et Chirurgie du Pied*, 22(2), 131–158. <https://doi.org/10.1007/s10243-006-0079-y>
- Barreto, L. C. L. S., Oliveira, F. S., Nunes, P. S., de França Costa, I. M. P., Garcez, C. A., Goes, G. M., Neves, E. L. A., de Souza Siqueira Quintans, J., & de Souza Araújo, A. A. (2016). Epidemiologic Study of Charcot-Marie-Tooth Disease: A Systematic Review. *Neuroepidemiology*, 46(3), 157–165. <https://doi.org/10.1159/000443706>
- Bartko, J. J. (1966). The Intraclass Correlation Coefficient as a Measure of Reliability. *Psychological Reports*, 19(1), 3–11. <https://doi.org/10.2466/pr0.1966.19.1.3>
- Barton, C. J., Bonanno, D., Levinger, P., & Menz, H. B. (2010). Foot and Ankle Characteristics in Patellofemoral Pain Syndrome: A Case Control and Reliability Study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(5), 286–296. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3227>
- Barton, C. J., Levinger, P., Crossley, K. M., Webster, K. E., & Menz, H. B. (2011). Relationships between the Foot Posture Index and foot kinematics during gait in individuals with and without patellofemoral pain syndrome. *Journal of Foot and Ankle Research*, 4(1), 10. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-10>
- Basmajian, J. V., & Stecko, G. (1963). The role of muscles in arch support of the foot. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 45, 1184–1190.
- Baumhauer, J. F., McIntosh, S., & Rehtine, G. (2013). Age and Sex Differences Between Patient and Physician-Derived Outcome Measures in the Foot and Ankle: *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 95(3), 209–214. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.01467>
- Beals, T. C., & Nickisch, F. (2008). Charcot-Marie-Tooth Disease and the Cavovarus Foot. *Foot and Ankle Clinics*, 13(2), 259–274. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2008.02.004>
- Bean, J., Walsh, A., & Frontera, W. (2001). Brace Modification Improves Aerobic Performance in Charcot-Marie-Tooth Disease: A Single-Subject Design. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 80(8), 578–582. <https://doi.org/10.1097/00002060-200108000-00006>
- Beaton, D. E., Bombardier, C., Guillemin, F., & Ferraz, M. B. (2000). Guidelines for the Process of Cross-Cultural Adaptation of Self-Report Measures: *Spine*, 25(24), 3186–3191. <https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00014>
- Beaudreuil, J. (2017). Orthoses for osteoarthritis: A narrative review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 60(2), 102–106. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.10.005>
- Becker, J. (1992). Curriculum at the School College. Toward mainstream medical education. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 82 (6), 300–303.
- Beckerman, H., Vogelaar, T. W., Lankhorst, G. J., & Verbeek, A. L. (1996). A criterion for stability of the motor function of the lower extremity in stroke patients using the Fugl-Meyer Assessment Scale. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 28(1), 3–7.
- Beil, F. T., Burghardt, R. D., Strahl, A., Ruether, W., & Niemeier, A. (2017). Symptomatic Os Vesalianum A Case Report and Review of the Literature. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 107(2), 162–165. <https://doi.org/10.7547/15-160>
- Bejjani, F. J., Saillard, P., & Diebold, P. (1999). Biomécanique du gros orteil. *EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Podologie*, 27-010-A-50.
- Belczyk, R., Stapleton, J. J., Grossman, J. P., & Zgonis, T. (2009). Complications and revisional hallux valgus surgery. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 26(3), 475–484, Table of Contents. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2009.04.002>
- Bellaaj, Z., Dhia, S. B., Allagui, M., Aloui, I., Othmen, Y., Zrig, M., Koubaa, M., & Abid, A. (2018). Treatments associated with scarf osteotomy for hallux valgus correction. *The*

- Pan African Medical Journal*, 31, 148.  
<https://doi.org/10.11604/pamj.2018.31.148.15993>
- Bencardino, J. T., & Rosenberg, Z. S. (2001). MR imaging and CT in the assessment of osseous abnormalities of the ankle and foot. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, 9(3), 567–578, xi.
- Bennett, M. I., Smith, B. H., Torrance, N., & Potter, J. (2005). The S-LANSS score for identifying pain of predominantly neuropathic origin: Validation for use in clinical and postal research. *The Journal of Pain*, 6(3), 149–158.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpain.2004.11.007>
- Bensoussan, L., Jouvion, A., Kerzoncuf, M., Delarque, A., Theodoridou, E., Milhe de Bovis, V., Thefenne, L., Attarian, S., & Viton, J.-M. (2016). Orthopaedic shoes along with physical therapy was effective in Charcot-Marie-Tooth patient over 10 years. *Prosthetics and Orthotics International*, 40(5), 636–642.  
<https://doi.org/10.1177/0309364615584657>
- Bertini, A., Manganelli, F., Fabrizi, G. M., Schenone, A., Santoro, L., Cavallaro, T., Tagliapietra, M., Grandis, M., Previtali, S. C., Falzone, Y. M., Allegri, I., Padua, L., Pazzaglia, C., Tramacere, I., Cavalca, E., Saveri, P., Quattrone, A., Valentino, P., Tozza, S., ... Pareyson, D. (2023). Use, tolerability, benefits and side effects of orthotic devices in Charcot-Marie-Tooth disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, jnnp-2023-332422. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2023-332422>
- Bessette, B. J., & Hodge, J. C. (1998). Diagnosis of the acute os peroneum fracture. *Singapore Medical Journal*, 39(7), 326–327.
- Bignell, J. (1993). *Curing curly toes*.
- Blauch, L. (1970). *The Podiatry Curriculum, American Association of Colleges of Podiatric Medicine, Washington, DC*.
- Block, P. (1981). Podiatric Medicine in Britain and the United States: Contrasts in Development. *Military Medicine*, 146(3), 205–210.  
<https://doi.org/10.1093/milmed/146.3.205>
- Bock, P., Kluger, R., Kristen, K.-H., Mittlböck, M., Schuh, R., & Trnka, H.-J. (2015). The Scarf Osteotomy with Minimally Invasive Lateral Release for Treatment of Hallux Valgus Deformity: Intermediate and Long-Term Results. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 97(15), 1238–1245. <https://doi.org/10.2106/JBJS.N.00971>
- BOE, Aznar Lopez, J. M. (2003). *Boletín Oficial del Estado 2003, Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de ordenación de las profesiones sanitarias*. 32.
- BOE, Garcia-Mina, J. R. (1962). *Boletín Oficial del Estado 1962, Ministerio de Educacion Nacional*. 2.
- BOE, Maravall Herrero, J. M. (1988). *Boletín Oficial del Estado 1988, Ministerio de Educacion y Ciencia*. 3.
- BOE, Vargas, J. G. (1990). *Boletín Oficial del Estado 1990, Ministerio de Sanidad y Consumo*. 2.
- Borthwick, A. (1997). A study of the professionalisation in British podiatry 1960-1997. *University of Salford, Manchester*.
- Bouhassira, D., Attal, N., Alchaar, H., Boureau, F., Brochet, B., Bruxelle, J., Cunin, G., Fermanian, J., Ginies, P., Grun-Overdyking, A., Jafari-Schluep, H., Lantéri-Minet, M., Laurent, B., Mick, G., Serrie, A., Valade, D., & Vicaut, E. (2005). Comparison of pain syndromes associated with nervous or somatic lesions and development of a new neuropathic pain diagnostic questionnaire (DN4). *Pain*, 114(1), 29–36.  
<https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.12.010>
- Bouhassira, D., Attal, N., Fermanian, J., Alchaar, H., Gautron, M., Masquelier, E., Rostaing, S., Lanteri-Minet, M., Collin, E., Grisart, J., & Boureau, F. (2004). Development and



- validation of the Neuropathic Pain Symptom Inventory. *Pain*, 108(3), 248–257.  
<https://doi.org/10.1016/j.pain.2003.12.024>
- Boulkedid, R., Abdoul, H., Loustau, M., Sibony, O., & Alberti, C. (2011). Using and Reporting the Delphi Method for Selecting Healthcare Quality Indicators: A Systematic Review. *PLoS ONE*, 6(6), e20476.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020476>
- Boureau, F., Luu, M., Doubrere, J. F., & Gay, C. (1984). Construction of a questionnaire for the self-evaluation of pain using a list of qualifiers. Comparison with Melzack's McGill Pain Questionnaire. *Thérapie*, 39(2), 119–129.
- Bourne, R. B., Chesworth, B. M., Davis, A. M., Mahomed, N. N., & Charron, K. D. J. (2010). Patient Satisfaction after Total Knee Arthroplasty: Who is Satisfied and Who is Not? *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 468(1), 57–63.  
<https://doi.org/10.1007/s11999-009-1119-9>
- Brage, M. E., Holmes, J. R., & Sangeorzan, B. J. (1994). The Influence of X-Ray Orientation on the First Metatarsocuneiform Joint Angle. *Foot & Ankle International*, 15(9), 495–497. <https://doi.org/10.1177/107110079401500907>
- Brasseur, L. (1997). *Traitement de la douleur*. Doin.
- Brody, D. M. (1982). Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *The Orthopedic Clinics of North America*, 13(3), 541–558.
- Brousselle, A. (Ed.). (2011). *L'évaluation: Concepts et méthodes* (2e édition). Les Presses de l'Université de Montréal.
- Buldt, A. K., Forghany, S., Landorf, K. B., Levinger, P., Murley, G. S., & Menz, H. B. (2018). Foot posture is associated with plantar pressure during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait & Posture*, 62, 235–240.  
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.005>
- Buldt, A. K., Murley, G. S., Butterworth, P., Levinger, P., Menz, H. B., & Landorf, K. B. (2013). The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. *Gait & Posture*, 38(3), 363–372.  
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.01.010>
- Buldt, A. K., Murley, G. S., Levinger, P., Menz, H. B., Nester, C. J., & Landorf, K. B. (2015). Are clinical measures of foot posture and mobility associated with foot kinematics when walking? *Journal of Foot and Ankle Research*, 8(1), 63.  
<https://doi.org/10.1186/s13047-015-0122-5>
- Burns, J. (2006). Pes cavus pathogenesis in Charcot-Marie-Tooth disease type 1A. *Brain*, 129(7), E50–E50. <https://doi.org/10.1093/brain/awl116>
- Burns, J., Crosbie, J., Ouvrier, R., & Hunt, A. (2006). Effective Orthotic Therapy for the Painful Cavus Foot. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 96(3), 7.
- Burns, J., Ouvrier, R., Estilow, T., Shy, R., Laurá, M., Eichinger, K., Muntoni, F., Reilly, M. M., Pareyson, D., Acsadi, G., Shy, M. E., & Finkel, R. S. (2012). Symmetry of foot alignment and ankle flexibility in paediatric Charcot–Marie–Tooth disease. *Clinical Biomechanics*, 27(7), 744–747. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2012.02.006>
- Burns, J., Ouvrier, R., Estilow, T., Shy, R., Laurá, M., Pallant, J. F., Lek, M., Muntoni, F., Reilly, M. M., Pareyson, D., Acsadi, G., Shy, M. E., & Finkel, R. S. (2012). Validation of the Charcot-Marie-Tooth disease pediatric scale as an outcome measure of disability. *Annals of Neurology*, 71(5), 642–652. <https://doi.org/10.1002/ana.23572>
- Burns, J., Ryan, M. M., & Ouvrier, R. A. (2008). Evolution of foot manifestations in children with Charcot-Marie-Tooth disease. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(S1), O5.  
<https://doi.org/10.1186/1757-1146-1-S1-O5>

- Burns, J., Ryan, M. M., & Ouvrier, R. A. (2009). Evolution of foot and ankle manifestations in children with CMT1A. *Muscle & Nerve*, 39(2), 158–166. <https://doi.org/10.1002/mus.21140>
- Burton, S. K., & Altman, M. I. (1986). Degenerative arthritis of the os peroneum. A case report. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 76(6), 343–345. <https://doi.org/10.7547/87507315-76-6-343>
- Buschmann, W. R. (1991). Congenital variations of the peroneus quartus muscle: An anatomical study by Sobel et al. *Foot & Ankle*, 11(5), 342. <https://doi.org/10.1177/107110079101100517>
- Butler, R. J., Hillstrom, H., Song, J., Richards, C. J., & Davis, I. S. (2008). Arch Height Index Measurement System. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 98(2), 102–106. <https://doi.org/10.7547/0980102>
- Cain, L. E., Nicholson, L. L., Adams, R. D., & Burns, J. (2007). Foot morphology and foot/ankle injury in indoor football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(5), 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.07.012>
- Candan, B., Torun, E., & Dikici, R. (2022). The Prevalence of Accessory Ossicles, Sesamoid Bones, and Biphalangism of the Foot and Ankle: A Radiographic Study. *Foot & Ankle Orthopaedics*, 7(1), 24730114211068792. <https://doi.org/10.1177/24730114211068792>
- Carr, J. B., Yang, S., & Lather, L. A. (2016). Pediatric Pes Planus: A State-of-the-Art Review. *Pediatrics*, 137(3), e20151230. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-1230>
- Carrasco, A. C., Silva, M. F., Guenka, L. C., Silva, C. T., Moura, F. A., & Cardoso, J. R. (2021). Non-radiographic validity and reliability measures for assessing foot types: A systematic review. *Foot and Ankle Surgery*, 27(8), 839–850. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.11.011>
- Case, D. T., Ossenberg, N. S., & Burnett, S. E. (1998). Os intermetatarsale: A heritable accessory bone of the human foot. *American Journal of Physical Anthropology*, 107(2), 199–209. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199810\)107:2<199::AID-AJPA6>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199810)107:2<199::AID-AJPA6>3.0.CO;2-Q)
- Cashmere, T., Smith, R., & Hunt, A. (1999). Medial Longitudinal Arch of the Foot: Stationary Versus Walking Measures. *Foot & Ankle International*, 20(2), 112–118. <https://doi.org/10.1177/107110079902000208>
- Cavanagh, P. R., & Rodgers, M. M. (1987). The arch index: A useful measure from footprints. *Journal of Biomechanics*, 20(5), 547–551. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90255-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90255-7)
- Cazeau, C. (2017). Connaître la biomécanique pour optimiser la chirurgie des orteils en griffes. *Revue du Podologue*, 13(75), 15–18. <https://doi.org/10.1016/j.revpod.2017.04.005>
- Cazeau, C., Stiglitz, Y., & Piat, C. (2014). Pathologie des petits orteils. *Revue du Rhumatisme Monographies*, 81(2), 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.monrhu.2014.02.007>
- Chang, C. H., Miller, F., & Schuyler, J. (2002). Dynamic Pedobarograph in Evaluation of Varus and Valgus Foot Deformities: *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 22(6), 813–818. <https://doi.org/10.1097/01241398-200211000-00023>
- Charcot, JM ; Marie, P. (1886). Sur une forme particulière d’atrophie musculaire progressive, souvent familiale, débutant par les pieds et les jambes et atteignant plus tard les mains. *Rev Med* 1886; 6:97–138. *Rev Med* 1886; 6:97-138.
- Charter, R. A. (1996). Revisiting the Standard Errors of Measurement, Estimate, and Prediction and Their Application to Test Scores. *Perceptual and Motor Skills*, 82(3\_suppl), 1139–1144. <https://doi.org/10.2466/pms.1996.82.3c.1139>

- Chastin, S. F. M., Buck, C., Freiburger, E., Murphy, M., Brug, J., Cardon, G., O'Donoghue, G., Pigeot, I., Oppert, J.-M., & DEDIPAC consortium. (2015). Systematic literature review of determinants of sedentary behaviour in older adults: A DEDIPAC study. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *12*, 127. <https://doi.org/10.1186/s12966-015-0292-3>
- Chen, J. Y. (2016). Pain Resolution After Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle Society*, *5*. <https://doi.org/10.1177/1071100716653084>
- Chen, J. Y., Lee, M. J. H., Rikhranj, K., Parmar, S., Chong, H. C., Yew, A. K. S., Koo, K. O. T., & Singh Rikhranj, I. (2015). Effect of Obesity on Outcome of Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle International*, *36*(9), 1078–1083. <https://doi.org/10.1177/1071100715581449>
- Chen, L., Lyman, S., Do, H., Karlsson, J., Adam, S. P., Young, E., Deland, J. T., & Ellis, S. J. (2012). Validation of Foot and Ankle Outcome Score for Hallux Valgus. *Foot & Ankle International*, *33*(12), 1145–1155. <https://doi.org/10.3113/FAI.2012.1145>
- Chen, Y., Yu, G., Mei, J., Zhou, J., & Wang, W. (2008). Assessment of subtalar joint neutral position: A cadaveric study: *Chinese Medical Journal*, *121*(8), 735–739. <https://doi.org/10.1097/00029330-200804020-00015>
- Cheung, Y. (2017). Normal Variants: Accessory Muscles About the Ankle. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, *25*(1), 11–26. <https://doi.org/10.1016/j.mric.2016.08.002>
- Cheung, Y. Y., Rosenberg, Z. S., Colon, E., & Jahss, M. (1999). MR imaging of flexor digitorum accessorius longus. *Skeletal Radiology*, *28*(3), 130–137. <https://doi.org/10.1007/s002560050489>
- Cho, Y. J., Lee, J. H., Kyung, M. G., Shin, M. S., Park, J. H., & Lee, D. Y. (2020). *Correlation Between Foot Posture Index and Radiographic Parameters* [Preprint]. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-40101/v1>
- Chung, K. W. (2006). Early onset severe and late-onset mild Charcot-Marie-Tooth disease with mitofusin 2 (MFN2) mutations. *Brain*, *129*(8), 2103–2118. <https://doi.org/10.1093/brain/awl174>
- Chuter, V. H. (2010). Relationships between foot type and dynamic rearfoot frontal plane motion. *Journal of Foot and Ankle Research*, *3*, 9. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-9>
- Cicchetti, D. V. (1994). Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment*, *6*(4), 284–290. <https://doi.org/10.1037/1040-3590.6.4.284>
- Cilli, F., & Akçaoğlu, M. (2005). The incidence of accessory bones of the foot and their clinical significance. *Acta Orthopaedica Et Traumatologica Turcica*, *39*(3), 243–246.
- Clarke, H. H. (1933). An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in foot examinations. *Research Quarterly. American Physical Education Association*, *4*(3). <https://doi.org/10.1080/23267402.1933.10626636>
- Code de la santé publique—Article D. 4322-1-1. Décret n°2019-835 du 12 août 2019. (2022). <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006072665/>
- Coetzee, J. C., & Rippstein, P. (2007). Surgical strategies: Scarf osteotomy for hallux valgus. *Foot & Ankle International*, *28*(4), 529–535. <https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0529>
- Coleman, S. S., & Chesnut, W. J. (1977). A simple test for hindfoot flexibility in the cavovarus foot. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, *123*, 60–62.
- Colleges of Podiatry in the United Kingdom. (1995). *Journal of British Podiatric Medicine*, *52*(2): 12.
- Cook, K. D., & Gutowsky, R. B. (2007). Teaching During Rounds. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, *24*(1), 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2006.08.005>

- Cornblath, D. R., Chaudhry, V., Carter, K., Lee, D., Seysedadr, M., Miernicki, M., & Joh, T. (1999). Total neuropathy score: Validation and reliability study. *Neurology*, *53*(8), 1660–1664. <https://doi.org/10.1212/wnl.53.8.1660>
- Cornwall, M. W., & McPoil, T. G. (2011). Relationship between static foot posture and foot mobility. *Journal of Foot and Ankle Research*, *4*(1), 4. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-4>
- Cornwall, M. W., McPoil, T. G., Lebec, M., Vicenzino, B., & Wilson, J. (2008). Reliability of the Modified Foot Posture Index. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *98*(1), 7–13. <https://doi.org/10.7547/0980007>
- Corrado, B., Ciardi, G., & Bargigli, C. (2016). Rehabilitation Management of the Charcot–Marie–Tooth Syndrome: A Systematic Review of the Literature. *Medicine*, *95*(17), e3278. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000003278>
- Corrigan, J. P., Moore, D. P., & Stephens, M. M. (1993). Effect of heel height on forefoot loading. *Foot & Ankle*, *14*(3), 148–152. <https://doi.org/10.1177/107110079301400307>
- Coskun, N., Yuksel, M., Cevener, M., Arican, R. Y., Ozdemir, H., Bircan, O., Sindel, T., Ilgi, S., & Sindel, M. (2009). Incidence of accessory ossicles and sesamoid bones in the feet: A radiographic study of the Turkish subjects. *Surgical and Radiologic Anatomy*, *31*(1), 19–24. <https://doi.org/10.1007/s00276-008-0383-9>
- Costa, J. M., Ávila, A. O. V., Kleinowski, D. N., Kroth, L. M., & Contreras, M. E. K. (2010). Osteotomia em Chevron modificada: Análise preliminar do comportamento baropodométrico. *Acta Ortopédica Brasileira*, *18*(4), 191–196. <https://doi.org/10.1590/S1413-78522010000400003>
- Cöster, M. C., Bremander, A., Rosengren, B. E., Magnusson, H., Carlsson, Å., & Karlsson, M. K. (2014). Validity, reliability, and responsiveness of the Self-reported Foot and Ankle Score (SEFAS) in forefoot, hindfoot, and ankle disorders. *Acta Orthopaedica*, *85*(2), 187–194. <https://doi.org/10.3109/17453674.2014.889979>
- Coudreuse, J.-M. (2013). Pathologies musculaires du sportif. *EMC - Traité de médecine AKOS*, *8*(1), 1–5. [https://doi.org/10.1016/S1634-6939\(12\)55701-7](https://doi.org/10.1016/S1634-6939(12)55701-7)
- Coughlin, M. J. (1995). Juvenile Hallux Valgus: Etiology and Treatment. *Foot & Ankle International*, *16*(11), 682–697. <https://doi.org/10.1177/107110079501601104>
- Coughlin, M. J. (1996). Hallux valgus. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, *78*(6), 932–966.
- Coughlin, M. J. (2000). Common causes of pain in the forefoot in adults. *The Journal of Bone & Joint Surgery Br*, *82-B*:781-90.
- Coughlin, M. J., Grebing, B. R., & Jones, C. P. (2005). Arthrodesis of the First Metatarsophalangeal Joint for Idiopathic Hallux Valgus: Intermediate Results. *Foot & Ankle International*, *26*(10), 783–792. <https://doi.org/10.1177/107110070502601001>
- Coughlin, M. J., & Jones, C. P. (2007). Hallux valgus: Demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot & Ankle International*, *28*(7), 759–777. <https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0759>
- Coughlin, M. J., Mann, R. A., & Saltzman, C. (2007). Lesser to deformities. *Surgery of the Foot and Ankle*, *1*(Ed 8), 363–464.
- Coughlin, M. J., Saltzman, C. L., & Nunley, J. A. (2002). Angular Measurements in the Evaluation of Hallux Valgus Deformities: A Report of the Ad Hoc Committee of the American Orthopaedic Foot & Ankle Society on Angular Measurements. *Foot & Ankle International*, *23*(1), 68–74. <https://doi.org/10.1177/107110070202300114>
- Coughlin, M. J., & Thompson, F. M. (1995). The high price of high-fashion footwear. *Instructional Course Lectures*, *44*, 371–377.

- Cowan, D. N., Robinson, J. R., Jones, B. H., Polly, D. W., & Berrey, B. H. (1994). Consistency of Visual Assessments of Arch Height among Clinicians. *Foot & Ankle International*, *15*(4), 213–217. <https://doi.org/10.1177/107110079401500411>
- Crosbie, J., Burns, J., & Ouvrier, R. A. (2008). Pressure characteristics in painful pes cavus feet resulting from Charcot–Marie–Tooth disease. *Gait & Posture*, *28*(4), 545–551. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.03.011>
- Currey, J. D., Foreman, J., Laketic, I., Mitchell, J., Pegg, D. E., & Reilly, G. C. (1997). Effects of ionizing radiation on the mechanical properties of human bone. *Journal of Orthopaedic Research*, *15*(1), 111–117. <https://doi.org/10.1002/jor.1100150116>
- Curry, L. (1996). Podiatric educational enhancement project. A project overview. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *86*(8), 361–363. <https://doi.org/10.7547/87507315-86-8-361>
- Curvale, G., & Rochwerger, A. (2002). Pieds creux. *Encycl Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, Tous Droits Réservés), locomoteur, 14-112-A-10, 13 p.*
- Dagnall, J. (1965). The History of Chiropodial Literature. *Chiropodist*, *20*:173-181.
- Dagnall, J. (1985). The formation of the Society of Chiropodists in 1945: Its significance in chiropodial history. *The Chiropodist*, *40*(11): 355-361.
- Dagnall, J. (1987). The start, seventy-five years ago, of British Chiropodial Professional Organisation: The foundation of the National Society of Chiropodists in 1912. *The Chiropodist*, *42*(11): 412-426.
- Dagnall, J. (1988). The London Foot Hospital. *British Journal of Chiropody*, *53*:185-199.
- Dahle, L. K., Mueller, M., Delitto, A., & Diamond, J. E. (1991). Visual Assessment of Foot Type and Relationship of Foot Type to Lower Extremity Injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *14*(2), 70–74. <https://doi.org/10.2519/jospt.1991.14.2.70>
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. *Management Science*, *9*(3), 458–467. <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.3.458>
- Dare, D. M., & Dodwell, E. R. (2014). Pediatric flatfoot: Cause, epidemiology, assessment, and treatment. *Current Opinion in Pediatrics*, *26*(1), 93–100. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000039>
- Daut, R. L., Cleland, C. S., & Flanery, R. C. (1983). Development of the Wisconsin Brief Pain Questionnaire to assess pain in cancer and other diseases: *Pain*, *17*(2), 197–210. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(83\)90143-4](https://doi.org/10.1016/0304-3959(83)90143-4)
- Davids, J. R., Gibson, T. W., & Pugh, L. I. (2005). Quantitative Segmental Analysis of Weight-Bearing Radiographs of the Foot and Ankle for Children: Normal Alignment. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, *25*(6), 769–776. <https://doi.org/10.1097/01.bpo.0000173244.74065.e4>
- Davies, M. B., & Dalal, S. (2005). Gross anatomy of the interphalangeal joint of the great toe: Implications for excision of plantar capsular accessory ossicles. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*, *18*(4), 239–244. <https://doi.org/10.1002/ca.20079>
- Dawson, J., Coffey, J., Doll, H., Lavis, G., Cooke, P., Herron, M., & Jenkinson, C. (2006). A patient-based questionnaire to assess outcomes of foot surgery: Validation in the context of surgery for hallux valgus. *Quality of Life Research*, *15*(7), 1211–1222. <https://doi.org/10.1007/s11136-006-0061-5>
- De Block, M. (2016). *Arrêté royal du 7 mars 2016—Service Public Fédéral Santé Publique, Sécurité de la Chaîne Alimentaire et Environnement.*
- de Cesar Netto, C., Kunas, G. C., Soukup, D., Marinescu, A., & Ellis, S. J. (2018). Correlation of Clinical Evaluation and Radiographic Hindfoot Alignment in Stage II

- Adult-Acquired Flatfoot Deformity. *Foot & Ankle International*, 39(7), 771–779.  
<https://doi.org/10.1177/1071100718762113>
- de Cesar Netto, C., & Richter, M. (2020). Use of Advanced Weightbearing Imaging in Evaluation of Hallux Valgus. *Foot and Ankle Clinics*, 25(1), 31–45.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.10.001>
- Deenik, A. R., Pilot, P., Brandt, S. E., van Mameren, H., Geesink, R. G. T., & Draijer, W. F. (2007). Scarf versus chevron osteotomy in hallux valgus: A randomized controlled trial in 96 patients. *Foot & Ankle International*, 28(5), 537–541.  
<https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0537>
- Deenik, A., van Mameren, H., de Visser, E., de Waal Malefijt, M., Draijer, F., & de Bie, R. (2008). Equivalent correction in scarf and chevron osteotomy in moderate and severe hallux valgus: A randomized controlled trial. *Foot & Ankle International*, 29(12), 1209–1215. <https://doi.org/10.3113/FAI.2008.1209>
- Deschamps, K., Birch, I., Desloovere, K., & Matricali, G. A. (2010). The impact of hallux valgus on foot kinematics: A cross-sectional, comparative study. *Gait & Posture*, 32(1), 102–106. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.03.017>
- Deschamps, K., Nester, C., Newton, V., Gijon-Nogueron, G., Simsek, E., & Brabants, A. (2021). The biopsychosocial-digital continuum of foot orthosis practice and research: The VALUATOR model. *Journal of Foot and Ankle Research*, 14(1), 25.  
<https://doi.org/10.1186/s13047-021-00468-6>
- Desmarchelier, R., Besse, J.-L., Fessy, M.-H., & French Association of Foot Surgery (AFCP). (2012). Scarf osteotomy versus metatarsophalangeal arthrodesis in forefoot first ray disorders: Comparison of functional outcomes. *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research: OTSR*, 98(6 Suppl), S77-84.  
<https://doi.org/10.1016/j.otsr.2012.04.016>
- D’Hooghe, P., Cruz, F., & Alkhelaifi, K. (2020). Return to Play After a Lateral Ligament Ankle Sprain. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 13(3), 281–288.  
<https://doi.org/10.1007/s12178-020-09631-1>
- Diebold, P. (1994). Ostéotomie distale épiphysio-métaphysaire en chevron dans l’hallux valgus. *Med Chir Pied*, 10, 102–107.
- Domholdt, E. (1993). *Physical therapy research: Principles and applications*. Saunders.
- Don, R., Serrao, M., Vinci, P., Ranavolo, A., Cacchio, A., Ioppolo, F., Paoloni, M., Procaccianti, R., Frascarelli, F., De Santis, F., Pierelli, F., Frascarelli, M., & Santilli, V. (2007). Foot drop and plantar flexion failure determine different gait strategies in Charcot-Marie-Tooth patients. *Clinical Biomechanics*, 22(8), 905–916.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.06.002>
- Donley, B. G., & Leyes, M. (2001). Peroneus quartus muscle. A rare cause of chronic lateral ankle pain. *The American Journal of Sports Medicine*, 29(3), 373–375.  
<https://doi.org/10.1177/03635465010290032101>
- Doty, J. F., & Coughlin, M. J. (2013). Hallux valgus and hypermobility of the first ray: Facts and fiction. *International Orthopaedics*, 37(9), 1655–1660.  
<https://doi.org/10.1007/s00264-013-1977-3>
- Drapé, J.-L., & Guerini, H. (2010). *Imagerie du pied et de la cheville*. Elsevier Masson.  
<http://site.ebrary.com/id/10538461>
- Dreher, T., Wolf, S. I., Heitzmann, D., Fremd, C., Klotz, M. C., & Wenz, W. (2014). Tibialis Posterior Tendon Transfer Corrects the Foot Drop Component of Cavovarus Foot Deformity in Charcot-Marie-Tooth Disease: *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 96(6), 456–462. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01749>
- Dufek, J. S., Neumann, E. S., Hawkins, M. C., & O’Toole, B. (2014). Functional and dynamic response characteristics of a custom composite ankle foot orthosis for Charcot–Marie–

- Tooth patients. *Gait & Posture*, 39(1), 308–313.  
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.07.121>
- Dufour, M. (2015). *Anatomie de l'appareil locomoteur. Tome 1, Membre inférieur*. Elsevier Masson.
- Dunn, J. E. (2004). Prevalence of Foot and Ankle Conditions in a Multiethnic Community Sample of Older Adults. *American Journal of Epidemiology*, 159(5), 491–498.  
<https://doi.org/10.1093/aje/kwh071>
- Dusin, J., Melanson, A., & Mische-Lawson, L. (2023). Evidence-based practice models and frameworks in the healthcare setting: A scoping review. *BMJ Open*, 13(5), e071188.  
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-071188>
- Eberle, C. F., Moran, B., & Gleason, T. (2002). The accessory flexor digitorum longus as a cause of Flexor Hallucis Syndrome. *Foot & Ankle International*, 23(1), 51–55.  
<https://doi.org/10.1177/107110070202300110>
- Edelstein, J. E., & Bruckner, J. (2002). *Orthotics: A comprehensive clinical approach*. Slack.
- Eichinger, K., Burns, J., Cornett, K., Bacon, C., Shepherd, M. L., Mountain, J., Sowden, J., Shy, R., Shy, M. E., & Herrmann, D. N. (2018). The Charcot-Marie-Tooth Functional Outcome Measure (CMT-FOM). *Neurology*, 91(15), e1381–e1384.  
<https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000006323>
- Engel, G. L. (1977). The Need for a New Medical Model: A Challenge for Biomedicine. *Science*, 196(4286), 129–136. <https://doi.org/10.1126/science.847460>
- Ersen, O., Akyildiz, F., Ozyurek, S., & Sivrioglu, A. K. (2013). Os calcaneus secundarius mimicking fracture. *BMJ Case Reports*, 2013, bcr2013009954.  
<https://doi.org/10.1136/bcr-2013-009954>
- Evans, A. M., Rome, K., & Peet, L. (2012). The foot posture index, ankle lunge test, Beighton scale and the lower limb assessment score in healthy children: A reliability study. *Journal of Foot and Ankle Research*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-5-1>
- Faber, F. W. M., Kleinrensink, G.-J., Mulder, P. G. H., & Verhaar, J. A. N. (2001). Mobility of the First Tarsometatarsal Joint in Hallux Valgus Patients: A Radiographic Analysis. *Foot & Ankle International*, 22(12), 965–969.  
<https://doi.org/10.1177/107110070102201207>
- Fadale, P. D., & Wiggins, M. E. (1994). Corticosteroid Injections: Their Use and Abuse. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 2(3), 133–140.  
<https://doi.org/10.5435/00124635-199405000-00001>
- Fakoor, M., Sarafan, N., Mohammadhoseini, P., Khorami, M., Arti, H., Mosavi, S., & Aghaeeaghdam, A. (2014). Comparison of Clinical Outcomes of Scarf and Chevron Osteotomies and the McBride Procedure in the Treatment of Hallux Valgus Deformity. *The Archives of Bone and Joint Surgery*, 2(1), 31–36.
- Faldini, C., Traina, F., Nanni, M., Mazzotti, A., Calamelli, C., Fabbri, D., Pungetti, C., & Giannini, S. (2015). Surgical Treatment of Cavus Foot in Charcot-Marie-Tooth Disease: A Review of Twenty-four Cases. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 97(6), e30. <https://doi.org/10.2106/JBJS.N.00794>
- Farndon, L. J. (2006). *The function and purpose of core podiatry: An in-depth analysis of practice*. Sheffield Hallam University (United Kingdom).
- Farzadi, M., Safaeepour, Z., Mousavi, M. E., & Saedi, H. (2015). Effect of medial arch support foot orthosis on plantar pressure distribution in females with mild-to-moderate hallux valgus after one month of follow-up. *Prosthetics & Orthotics International*, 39(2), 134–139. <https://doi.org/10.1177/0309364613518229>
- Favreul, E., & Mainard, D. (2013). *Classifications et scores en chirurgie orthopédique et traumatologie*. Springer.

- Ferrari, J., Higgins, J. P. T., & Prior, T. D. (2004). Interventions for treating hallux valgus (abductovalgus) and bunions. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1, CD000964. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000964.pub2>
- Ferrari-Portafaix, C., & Perrier, A. (2020). Hallux valgus: Traitements médical et podologiques. *Hallux valgus*, 10.
- Ferrari-Portafaix, C., Piclet-Legre, B., & Helix-Giordanino, M. (2020). *Orteils en griffes d'orteils. Physiopathologie, traitement podologique, traitement chirurgical*. 18.
- Ferreira, G. F., Borges, V. Q., Moraes, L. V. de M., & Stéfani, K. C. (2021). Percutaneous Chevron/Akin (PECA) versus open scarf/Akin (SA) osteotomy treatment for hallux valgus: A systematic review and meta-analysis. *PloS One*, 16(2), e0242496. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242496>
- Finnerup, N. B., Attal, N., Haroutounian, S., McNicol, E., Baron, R., Dworkin, R. H., Gilron, I., Haanpää, M., Hansson, P., Jensen, T. S., Kamerman, P. R., Lund, K., Moore, A., Raja, S. N., Rice, A. S. C., Rowbotham, M., Sena, E., Siddall, P., Smith, B. H., & Wallace, M. (2015). Pharmacotherapy for neuropathic pain in adults: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Neurology*, 14(2), 162–173. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70251-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70251-0)
- Finsterer, J., & Strobl, W. (2011). Orthopaedic abnormalities in primary myopathies. *Acta Orthopaedica Belgica*, 77(5), 563–582.
- Fixsen, J. A. (1996). Pes cavus. *The Foot*, 6(3), 112–115. [https://doi.org/10.1016/S0958-2592\(96\)90001-2](https://doi.org/10.1016/S0958-2592(96)90001-2)
- Flexner, A. (1910). *Medical Education in the United States and Canada. A report to the Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching*. Updike, Boston.
- Foisy, A. (2021). *Méthodologie de recherche en podologie (2/3): Outils et tests d'évaluations*. 7.
- Forriol, F., & Pascual, J. (1990). Footprint Analysis Between Three and Seventeen Years of Age. *Foot & Ankle*, 11(2), 101–104. <https://doi.org/10.1177/107110079001100208>
- Fournier, M., Saxena, A., & Maffulli, N. (2019). Hallux Valgus Surgery in the Athlete: Current Evidence. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 58(4), 641–643. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.04.003>
- Fraser, J. J., Koldenhoven, R. M., Saliba, S. A., & Hertel, J. (2017). Reliability of ankle-foot morphology, mobility, strength, and motor performance measures. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(7), 1134–1149. <https://doi.org/10.26603/ijsp20171134>
- Freyenhagen, R., Baron, R., Gockel, U., & Tölle, T. R. (2006). Pain DETECT : a new screening questionnaire to identify neuropathic components in patients with back pain. *Current Medical Research and Opinion*, 22(10), 1911–1920. <https://doi.org/10.1185/030079906X132488>
- Fridman, V., Bundy, B., Reilly, M. M., Pareyson, D., Bacon, C., Burns, J., Day, J., Feely, S., Finkel, R. S., Grider, T., Kirk, C. A., Herrmann, D. N., Laurá, M., Li, J., Lloyd, T., Sumner, C. J., Muntoni, F., Piscoquito, G., Ramchandren, S., ... Shy, M. E. (2015). CMT subtypes and disease burden in patients enrolled in the Inherited Neuropathies Consortium natural history study: A cross-sectional analysis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 86(8), 873–878. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2014-308826>
- Gagnon, C., Massie, R., Tremblay, M., Darcy, S., Martel, M., & Burns, J. (2017). Traduction française de l'échelle Charcot-Marie-Tooth Disease Pediatric Scale. *Canadian Journal of Neurological Sciences / Journal Canadien des Sciences Neurologiques*, 44(6), 740–743. <https://doi.org/10.1017/cjn.2016.435>



- Galer, B. S., & Jensen, M. P. (1997). Development and preliminary validation of a pain measure specific to neuropathic pain: The Neuropathic Pain Scale. *Neurology*, *48*(2), 332–338. <https://doi.org/10.1212/WNL.48.2.332>
- Gallardo, E., García, A., Combarros, O., & Berciano, J. (2006). Charcot–Marie–Tooth disease type 1A duplication: Spectrum of clinical and magnetic resonance imaging features in leg and foot muscles. *Brain*, *129*(2), 426–437. <https://doi.org/10.1093/brain/awh693>
- Gandek, B., Ware, J. E., Aaronson, N. K., Apolone, G., Bjorner, J. B., Brazier, J. E., Bullinger, M., Kaasa, S., Lepage, A., Prieto, L., & Sullivan, M. (1998). Cross-validation of item selection and scoring for the SF-12 Health Survey in nine countries: Results from the IQOLA Project. International Quality of Life Assessment. *Journal of Clinical Epidemiology*, *51*(11), 1171–1178. [https://doi.org/10.1016/s0895-4356\(98\)00109-7](https://doi.org/10.1016/s0895-4356(98)00109-7)
- Garrido, I. M., Rubio, E. R.-V., Bosch, M. N., González, M. S., Paz, G. B., & Llabrés, A. J. (2008). Scarf and Akin osteotomies for moderate and severe hallux valgus: Clinical and radiographic results. *Foot and Ankle Surgery: Official Journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*, *14*(4), 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2008.02.003>
- Garrow, A. P., Papageorgiou, A., Silman, A. J., Thomas, E., Jayson, M. I. V., & Macfarlane, G. J. (2001). The Grading of Hallux Valgus. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *91*(2), 74–78. <https://doi.org/10.7547/87507315-91-2-74>
- Garrow, A. P., Silman, A. J., & Macfarlane, G. J. (2004). The Cheshire Foot Pain and Disability Survey: A population survey assessing prevalence and associations. *Pain*, *110*(1), 378–384. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.04.019>
- Gartner, J.-B., Abasse, K. S., Bergeron, F., Landa, P., Lemaire, C., & Côté, A. (2022). Definition and conceptualization of the patient-centered care pathway, a proposed integrative framework for consensus: A Concept analysis and systematic review. *BMC Health Services Research*, *22*(1), 558. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-07960-0>
- Gélis, A., Coudeyre, E., Hudry, C., Pelissier, J., Revel, M., & Rannou, F. (2008). Is there an evidence-based efficacy for the use of foot orthotics in knee and hip osteoarthritis? Elaboration of French clinical practice guidelines. *Joint Bone Spine*, *75*(6), 714–720. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2008.02.013>
- Gentili, A., Masih, S., Yao, L., & Seeger, L. L. (1996). Pictorial review: Foot axes and angles. *The British Journal of Radiology*, *69*(826), 968–974. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-69-826-968>
- Geurts, A. C., Mulder, T. W., Nienhuis, B., Mars, P., & Rijken, R. A. (1992). Postural organization in patients with hereditary motor and sensory neuropathy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *73*(6), 569–572.
- Gibley, C. (1974). Podiatric education: Its history and evolutionary significance. *Journal of American Podiatry Association*, *64*: 312.
- Gijon-Nogueron, G., Martinez-Nova, A., Alfageme-Garcia, P., Montes-Alguacil, J., & Evans, A. M. (2019). International normative data for paediatric foot posture assessment: A cross-sectional investigation. *BMJ Open*, *9*(4), e023341. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-023341>
- Gilardeau, C. (2010). *Maladie de Charcot-Marie-Tooth et exercice physique, rééducation et appareillage—Principes de traitement en médecine physique*. CMT-France.
- Gilheany, M. F., Landorf, K. B., & Robinson, P. (2008). Hallux valgus and hallux rigidus: A comparison of impact on health-related quality of life in patients presenting to foot surgeons in Australia. *Journal of Foot and Ankle Research*, *1*(1), 14. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-1-14>

- Giotis, D., Paschos, N. K., Zampeli, F., Giannoulis, D., Gantsos, A., & Mantellos, G. (2016). Modified Chevron osteotomy for hallux valgus deformity in female athletes. A 2-year follow-up study. *Foot and Ankle Surgery: Official Journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*, 22(3), 181–185. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2015.07.004>
- Goh, G. S., Tay, A. Y. W., Thever, Y., & Koo, K. (2021). Effect of Age on Clinical and Radiological Outcomes of Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle International*, 42(6), 798–804. <https://doi.org/10.1177/1071100720982975>
- Goldcher, A. (2012). *Podologie*. Elsevier/Masson. <http://site.ebrary.com/id/10572593>
- Golightly, Y. M., Hannan, M. T., Dufour, A. B., Hillstrom, H. J., & Jordan, J. M. (2014). Foot Disorders Associated With Overpronated and Oversupinated Foot Function: The Johnston County Osteoarthritis Project. *Foot & Ankle International*, 35(11), 1159–1165. <https://doi.org/10.1177/1071100714543907>
- Gomes, M. D. R., Pinto, A. P., Fabián, A. A., Gomes, T. J. M., Navarro, A., & Oliva, X. M. (2020). The Os Peroneum incidence—A cadaveric study. *Foot and Ankle Surgery*, 26(3), 325–327. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2019.04.009>
- Gomez, P. F., & Morcuende, J. A. (2005). Early attempts at hip arthroplasty—1700s to 1950s. *The Iowa Orthopaedic Journal*, 25, 25–29.
- Gonera, B., Kurtys, K., Paulsen, F., Polguj, M., LaPrade, R. F., Grzelecki, D., Karauda, P., & Olewnik, Ł. (2021). The plantaris muscle - Anatomical curiosity or a structure with important clinical value? - A comprehensive review of the current literature. *Annals of Anatomy = Anatomischer Anzeiger: Official Organ of the Anatomische Gesellschaft*, 235, 151681. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2021.151681>
- Gonzalez de Aledo Linos, A. (1996). *Resultados del screening con podoscopio en 948 niños no seleccionados con especial referencia al pie cavo*. Anales Espanoles de Pediatria.
- Graff, W., Biau, D., & Manach, Q. (2014). Influence of socioprofessional category on the duration of sick leave after hallux surgery. A prospective study of 102 cases. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 100(6), S275–S279. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.05.011>
- Graham, R. C. (2006). A modified peripheral neuropathy scale: The Overall Neuropathy Limitations Scale. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 77(8), 973–976. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2005.081547>
- Grigoryan, M., Lynch, J. A., Fierlinger, A. L., Guermazi, A., Fan, B., MacLean, D. B., MacLean, A., & Genant, H. K. (2003). Quantitative and qualitative assessment of closed fracture healing using computed tomography and conventional radiography 1. *Academic Radiology*, 10(11), 1267–1273. [https://doi.org/10.1016/S1076-6332\(03\)00467-7](https://doi.org/10.1016/S1076-6332(03)00467-7)
- Guerini, H., Morvan, G., Mathieu, P., Chevrot, A., Vuillemin, V., Thévenin, F., & Drapé, J.-L. (2014). Métatarsalgies et imagerie: Algorithme diagnostique. *Revue du Rhumatisme Monographies*, 81(3), 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.monrhu.2014.04.002>
- Guillebaste, B., Calmels, P., & Rougier, P. R. (2011). Assessment of Appropriate Ankle-Foot Orthoses Models for Patients with Charcot-Marie-Tooth Disease: *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 90(8), 619–627. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31821f7172>
- Guttek, N., Schilde, S., Delank, K. S., & Arbab, D. (2020). Ätiologie, Pathogenese, Klinik, Diagnostik und konservative Therapie des adulten erworbenen Plattfußes. *Der Orthopäde*, 49(11), 942–953. <https://doi.org/10.1007/s00132-020-03995-5>
- Guyatt, G. H. (Ed.). (1991). Evidence-based medicine. *ACP Journal Club*, 114(2), A16. <https://doi.org/10.7326/ACPJC-1991-114-2-A16>

- Guyton, G. P. (2006). Current Concepts Review: Orthopaedic Aspects of Charcot-Marie-Tooth Disease. *Foot & Ankle International*, 27(11), 1003–1010. <https://doi.org/10.1177/107110070602701125>
- Guzian, M. C., Bensoussan, L., Viton, J. M., De Bovis, V. M., Ramon, J., Azulay, J. P., & Delarque, A. (2006). Orthopaedic Shoes Improve Gait in a Charcot-Marie-Tooth Patient: A Combined Clinical and Quantified Case Study. *Prosthetics and Orthotics International*, 30(1), 87–96. <https://doi.org/10.1080/03093640600585116>
- Haines, R. W., & McDougall, A. (1954). The anatomy of hallux valgus. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 36-B(2), 272–293. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.36B2.272>
- Haley, S. M., & Fragala-Pinkham, M. A. (2006). Interpreting Change Scores of Tests and Measures Used in Physical Therapy. *Physical Therapy*, 86(5), 735–743. <https://doi.org/10.1093/ptj/86.5.735>
- Halstead, J., Chapman, G. J., Gray, J. C., Grainger, A. J., Brown, S., Wilkins, R. A., Roddy, E., Helliwell, P. S., Keenan, A.-M., & Redmond, A. C. (2016). Foot orthoses in the treatment of symptomatic midfoot osteoarthritis using clinical and biomechanical outcomes: A randomised feasibility study. *Clinical Rheumatology*, 35(4), 987–996. <https://doi.org/10.1007/s10067-015-2946-6>
- Hamill, J., Bates, B. T., Knutzen, K. M., & Kirkpatrick, G. M. (1989). Relationship between selected static and dynamic lower extremity measures. *Clinical Biomechanics*, 4(4), 217–225. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(89\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0268-0033(89)90006-5)
- Hamilton, D. F., Lane, J. V., Gaston, P., Patton, J. T., MacDonald, D., Simpson, A. H. R. W., & Howie, C. R. (2013). What determines patient satisfaction with surgery? A prospective cohort study of 4709 patients following total joint replacement. *BMJ Open*, 3(4), e002525. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-002525>
- Hannan, M. T., Menz, H. B., Jordan, J. M., Cupples, L. A., Cheng, C.-H., & Hsu, Y.-H. (2013). High Heritability of Hallux Valgus and Lesser Toe Deformities in Adult Men and Women: Heritability of Hallux Valgus and Toe Deformities in Adults. *Arthritis Care & Research*, 65(9), 1515–1521. <https://doi.org/10.1002/acr.22040>
- Harding, A. E., & Thomas, P. K. (1980). The clinical features of hereditary motor and sensory neuropathy types I and II. *Brain*, 103(2), 259–280. <https://doi.org/10.1093/brain/103.2.259>
- Hardy, R. H., & Clapham, J. C. R. (1951). Observations on Hallux Valgus; based on a controlled series. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 33-B(3), 376–391. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.33B3.376>
- Hardy, R. H., & Clapham, J. C. R. (1952). Hallux valgus; predisposing anatomical causes. *Lancet (London, England)*, 1(6720), 1180–1183. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(52\)91086-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(52)91086-6)
- Harris, E. J. (2010). The Natural History and Pathophysiology of Flexible Flatfoot. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 27(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2009.09.002>
- Harris, W. H. (2009). The First 50 Years of Total Hip Arthroplasty: Lessons Learned. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 467(1), 28–31. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0467-1>
- Hatch, D. J., Santrock, R. D., Smith, B., Dayton, P., & Weil, L. (2018). Triplane Hallux Abducto Valgus Classification. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 57(5), 972–981. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.02.008>
- Hatzantonis, C., Agur, A., Naraghi, A., Gautier, S., & McKee, N. (2011). Dissecting the accessory soleus muscle: A literature review, cadaveric study, and imaging study. *Clinical Anatomy*, 24(7), 903–910. <https://doi.org/10.1002/ca.21188>

- Haute Autorité de Santé. (2010). *Elaboration de recommandations de bonne pratique: Méthode "Recommandations par consensus formalisé."*
- Haute Autorité de Santé. (2018). *Evaluation des orthèses plantaires et des coques talonnières*. Saint-Denis La Plaine : HAS ; 2018.
- Haute Autorité de Santé. (2020). Service des bonnes pratiques professionnelles—Le pied de la personne âgée, approche médicale et prise en charge en pédicurie-podologie. *Recommandation de bonne pratique*, 355.
- Hawes, M. R., Nachbauer, W., Sovak, D., & Nigg, B. M. (1992). Footprint Parameters as a Measure of Arch Height. *Foot & Ankle*, 13(1), 22–26. <https://doi.org/10.1177/107110079201300104>
- Helfand, A. E. (1998). Podiatric Medicine and Public Health. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 88(7), 7.
- Henry, J. K., Barth, K., Cororaton, A., Hummel, A., Cody, E. A., Mancuso, C. A., & Ellis, S. (2021). Association of Depression and Anxiety With Expectations and Satisfaction in Foot and Ankle Surgery. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 29(16), 714–722. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-20-01394>
- Hetherington, V. J. (Ed.). (1994). *Hallux valgus and forefoot surgery*. Churchill Livingstone.
- Hicks, J. H. (1954). The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *Journal of Anatomy*, 88(1), 25–30.
- Hinman, R. S., Nicolson, P. J. A., Dobson, F. L., & Bennell, K. L. (2015). Use of Nondrug, Nonoperative Interventions by Community-Dwelling People With Hip and Knee Osteoarthritis: Nondrug, Nonoperative Interventions in OA. *Arthritis Care & Research*, 67(2), 305–309. <https://doi.org/10.1002/acr.22395>
- Holmes, J. R., & Hansen, S. T. (1993). Foot and Ankle Manifestations of Charcot-Marie-Tooth Disease. *Foot & Ankle*, 14(8), 476–486. <https://doi.org/10.1177/107110079301400809>
- Horisberger, M., Haeni, D., Henninger, H. B., Valderrabano, V., & Barg, A. (2016). Total Arthroplasty of the Metatarsophalangeal Joint of the Hallux. *Foot & Ankle International*, 37(7), 755–765. <https://doi.org/10.1177/1071100716637901>
- Hui, H. J., Beals, T. C., & Brown, N. A. T. (2007). Influence of Tendon Transfer Site on Moment Arms of the Flexor Digitorum Longus Muscle. *Foot & Ankle International*, 28(4), 441–447. <https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0441>
- Hunt, K. J., & Hurwit, D. (2013). Use of Patient-Reported Outcome Measures in Foot and Ankle Research: *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 95(16), e118. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01476>
- Hussein, F. (1999). Podiatric Medicine in the United Kingdom. *Saudi Medical Journal*, 20(12).
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO Prosthetics and Orthotics—Foot Orthotics—Uses, functions classification and description. ISO 21064:2017*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:21064:ed-1:v1:en>
- International Organization for Standardization. (2020). *ISO Prosthetics and Orthotics—Vocabulary—Part 3: Terms relating to orthoses. ISO 8549-3:2020*. <https://www.iso.org/standard/79497.html>
- Iowa Model Collaborative, Buckwalter, K. C., Cullen, L., Hanrahan, K., Kleiber, C., McCarthy, A. M., Rakel, B., Steelman, V., Tripp-Reimer, T., Tucker, S., & Authored on behalf of the Iowa Model Collaborative. (2017). Iowa Model of Evidence-Based Practice: Revisions and Validation. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 14(3), 175–182. <https://doi.org/10.1111/wvn.12223>

- Irwin, L. W. (1937). A Study of the Tendency of School Children to Develop Flat-footedness. *Research Quarterly. American Physical Education Association*, 8(1), 46–53. <https://doi.org/10.1080/23267402.1937.10761799>
- Jafarnezhadgero, A. A., Shad, M. M., & Majlesi, M. (2017). Effect of foot orthoses on the medial longitudinal arch in children with flexible flatfoot deformity: A three-dimensional moment analysis. *Gait & Posture*, 55, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.04.011>
- Jani-Acsadi, A., Krajewski, K., & Shy, M. (2008). Charcot-Marie-Tooth Neuropathies: Diagnosis and Management. *Seminars in Neurology*, 28(2), 185–194. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1062264>
- Jannink, M. J., IJzerman, M. J., Groothuis-Oudshoorn, K., Stewart, R. E., Groothoff, J. W., & Lankhorst, G. J. (2005). Use of orthopedic shoes in patients with degenerative disorders of the foot. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(4), 687–692. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.06.069>
- Jarvis, H. L., Nester, C. J., Jones, R. K., Williams, A., & Bowden, P. D. (2012). Inter-assessor reliability of practice based biomechanical assessment of the foot and ankle. *Journal of Foot and Ankle Research*, 5(1), 14. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-5-14>
- Jensen, M. P., Turner, J. A., & Romano, J. M. (1994). What is the maximum number of levels needed in pain intensity measurement? *Pain*, 58(3), 387–392. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(94\)90133-3](https://doi.org/10.1016/0304-3959(94)90133-3)
- Ji, L., Wang, K., Ding, S., Sun, C., Sun, S., & Zhang, M. (2022). Minimally Invasive vs. Open Surgery for Hallux Valgus: A Meta-Analysis. *Frontiers in Surgery*, 9, 843410. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.843410>
- Jimenez-Cebrian, A. M., Morente-Bernal, M. F., Román-Bravo, P. D., Saucedo-Badía, J. F., Alonso-Ríos, J. A., & Montiel-Luque, A. (2017). Influence of Age, Sex, and Anthropometric Determinants on the Foot Posture Index in a Pediatric Population. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 107(2), 124–129. <https://doi.org/10.7547/14-097>
- Johnson, K. A. (1983). Tibialis posterior tendon rupture. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 177, 140–147.
- Johnson, K. A., Cofield, R. H., & Morrey, B. F. (1979). Chevron osteotomy for hallux valgus. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 142, 44–47.
- Johnson, K. A., & Strom, D. E. (1989). Tibialis posterior tendon dysfunction. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 239, 196–206.
- Johnson, N. E., Heatwole, C., Creigh, P., McDermott, M. P., Dilek, N., Hung, M., Bounsanga, J., Tang, W., Shy, M. E., & Herrmann, D. N. (2018). The Charcot-Marie-Tooth Health Index: Evaluation of a Patient-Reported Outcome: CMT Health Index. *Annals of Neurology*, 84(2), 225–233. <https://doi.org/10.1002/ana.25282>
- Johnson, N. E., Heatwole, C. R., Dilek, N., Sowden, J., Kirk, C. A., Shereff, D., Shy, M. E., & Herrmann, D. N. (2014). Quality-of-life in Charcot-Marie-Tooth disease: The patient's perspective. *Neuromuscular Disorders*, 24(11), 1018–1023. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2014.06.433>
- Johnson, N., McCorquodale, D., & Pucillo, E. (2016). Management of Charcot-Marie-Tooth disease: Improving long-term care with a multidisciplinary approach. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 7. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S69979>
- Jonson, L. S. R., & Gross, M. T. (1997). Intraexaminer Reliability, Interexaminer Reliability, and Mean Values for Nine Lower Extremity Skeletal Measures in Healthy Naval Midshipmen. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 25(4), 253–263. <https://doi.org/10.2519/jospt.1997.25.4.253>

- Jordan, Z., Lockwood, C., Munn, Z., & Aromataris, E. (2019). The updated Joanna Briggs Institute Model of Evidence-Based Healthcare. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 17(1), 58–71. <https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000155>
- Kalbouneh, H., Alajoulin, O., Shawaqfeh, J., Mustafa, A., Jaber, S., Zaben, S., Zaben, J., & Alsalem, M. (2021). Accessory Ossicles in the Region of the Foot and Ankle: An Epidemiologic Survey in a Jordanian Population. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 57(11), 1178. <https://doi.org/10.3390/medicina57111178>
- Kamina, P., Di Marino, V., Francke, J.-P., & Santini, J.-J. (2002). *Précis d'anatomie clinique*. Maloine.
- Karakis, I., Gregas, M., Darras, B. T., Kang, P. B., & Royden Jones, H. (2013). Clinical correlates of charcot-marie-tooth disease in patients with pes cavus deformities: CMT Correlates in Pes Cavus. *Muscle & Nerve*, 47(4), 488–492. <https://doi.org/10.1002/mus.23622>
- Karasick, D., & Schweitzer, M. E. (1996). The os trigonum syndrome: Imaging features. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 166(1), 125–129. <https://doi.org/10.2214/ajr.166.1.8571860>
- Karasick, D., & Wapner, K. L. (1990). Hallux valgus deformity: Preoperative radiologic assessment. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 155(1), 119–123. <https://doi.org/10.2214/ajr.155.1.2112832>
- Kaufmann, G., Dammerer, D., Heyenbrock, F., Braitto, M., Moertlbauer, L., & Liebensteiner, M. (2019). Minimally invasive versus open chevron osteotomy for hallux valgus correction: A randomized controlled trial. *International Orthopaedics*, 43(2), 343–350. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4006-8>
- Keenan, A.-M., & Bach, T. M. (2006). Clinicians' Assessment of the Hindfoot: A Study of Reliability. *Foot & Ankle International*, 27(6), 451–460. <https://doi.org/10.1177/107110070602700611>
- Kelagher, D., Mirka, G. A., & Dudziak, K. Q. (2000). Effects of semi-rigid arch-support orthotics: An investigation with potential ergonomic implications. *Applied Ergonomics*, 31(5), 515–522. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(00\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00018-1)
- Kelikian, A. S., Sarrafian, S. K., & Sarrafian, S. K. (Eds.). (2011). *Sarrafian's anatomy of the foot and ankle: Descriptive, topographical, functional* (Third Edition). Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Kendi, T. K., Erakar, A., Oktay, O., Yildiz, H. Y., & Saglik, Y. (2004). Accessory soleus muscle. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 94(6), 587–589. <https://doi.org/10.7547/0940587>
- Kenis-Coskun, O., & Matthews, D. J. (2016). Rehabilitation issues in Charcot-Marie-Tooth disease. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*, 9(1), 31–34. <https://doi.org/10.3233/PRM-160359>
- Kennedy, R. A., McGinley, J. L., Paterson, K. L., Ryan, M. M., & Carroll, K. (2018). Gait and footwear in children and adolescents with Charcot-Marie-Tooth disease: A cross-sectional, case-controlled study. *Gait & Posture*, 62, 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.029>
- Kernozeck, T. W., & Greer, N. L. (1993). Quadriceps angle and rearfoot motion: Relationships in walking. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 74(4), 407–410.
- Kharbuja, R., & Dhungel, S. (2017). *Prevalence of pes cavus and pes planus among school going children of Bhaktapur district, Nepal*. Nepal Medical College Journal.
- King, M. G., Kemp, J. L., Hon, R., Pizzari, T., Wong, J., Menz, H., Taylor, N. F., Harms, A., McClelland, J. A., & Semciw, A. I. (2022). Prefabricated contoured foot orthoses to reduce pain and increase physical activity in people with hip osteoarthritis: Protocol

- for a randomised feasibility trial. *BMJ Open*, 12(9), e062954.  
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-062954>
- Kirmizi, M., Cakiroglu, M. A., Elvan, A., Simsek, I. E., & Angin, S. (2020). Reliability of Different Clinical Techniques for Assessing Foot Posture. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 43(9), 901–908.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2020.02.002>
- Kitaoka, H. B., Alexander, I. J., Adelaar, R. S., Nunley, J. A., Myerson, M. S., & Sanders, M. (1994). Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot & Ankle International*, 15(7), 349–353.  
<https://doi.org/10.1177/107110079401500701>
- Klein, E. E., Wirt, C., Greenley, R., Weil, L. S., Weil, L., & Fleischer, A. E. (2021). Do Patient Personality Traits and Self-Reported Physical and Psychosocial Symptoms Help to Predict Hallux Valgus Surgery Outcomes? *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, S106725162100510X. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2021.12.019>
- Klenerman, L. (1991). *References Dagnall JC. A history of chiropody-podiatry*. 2.
- Klugarova, J., Hood, V., Bath-Hextall, F., Klugar, M., Mareckova, J., & Kelnarova, Z. (2017). Effectiveness of surgery for adults with hallux valgus deformity: A systematic review. *JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports*, 15(6), 1671–1710.  
<https://doi.org/10.11124/JBISRIR-2017-003422>
- Krähenbühl, N., & Weinberg, M. W. (2019). Anatomy and Biomechanics of Cavovarus Deformity. *Foot and Ankle Clinics*, 24(2), 173–181.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.02.001>
- Krajewski, K. M., Lewis, R. A., Fuerst, D. R., Turansky, C., Hinderer, S. R., Garbern, J., Kamholz, J., & Shy, M. E. (2000). *Neurological dysfunction and axonal degeneration in Charcot-Marie-Tooth disease type 1A*. 12.
- Krasny-Pacini, A., Hiebel, J., Pauly, F., Godon, S., & Chevignard, M. (2013). Goal Attainment Scaling in rehabilitation: A literature-based update. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(3), 212–230. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.02.002>
- Krause, F. G., & Iselin, L. D. (2012). Hindfoot Varus and Neurologic Disorders. *Foot and Ankle Clinics*, 17(1), 39–56. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2011.11.004>
- Küçükdeveci, A. A., Stibrant Sunnerhagen, K., Golyk, V., Delarque, A., Ivanova, G., Zampolini, M., Kiekens, C., Varela Donoso, E., & Christodoulou, N. (2019). Evidence-based position paper on Physical and Rehabilitation Medicine professional practice for persons with stroke. The European PRM position (UEMS PRM Section). *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 54(6).  
<https://doi.org/10.23736/S1973-9087.18.05501-6>
- Kuliński, P., Tomczyk, Ł., Pawik, Ł., Olech, J., & Morasiewicz, P. (2023). Radiographic Outcomes of Hallux Valgus Deformity Correction With Chevron and Scarf Osteotomies. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 62(4), 676–682.  
<https://doi.org/10.1053/j.jfas.2023.02.007>
- Kurihara, S., Adachi, Y., Wada, K., Awaki, E., Harada, H., & Nakashima, K. (2002). An Epidemiological Genetic Study of Charcot-Marie-Tooth Disease in Western Japan. *Neuroepidemiology*, 21(5), 246–250. <https://doi.org/10.1159/000065643>
- Kuwano, T., Nagamine, R., Sakaki, K., Urabe, K., & Iwamoto, Y. (2002). New Radiographic Analysis of Sesamoid Rotation in Hallux Valgus: Comparison with Conventional Evaluation Methods. *Foot & Ankle International*, 23(9), 811–817.  
<https://doi.org/10.1177/107110070202300907>
- Kwan, M.-Y., Yick, K.-L., Yip, J., & Tse, C.-Y. (2021). Hallux valgus orthosis characteristics and effectiveness: A systematic review with meta-analysis. *BMJ Open*, 11(8), e047273. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-047273>

- Laffenêtre, O., & Chauveaux, D. (2005). Insuffisance du premier rayon. *EMC - Podologie*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.emcpol.2005.01.001>
- Laffenêtre, O., & Golano, P. (2010). Introduction à la chirurgie mini-invasive du pied et de la cheville: Pourquoi, comment, quand ? *GRECMIP. E-Mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie*, 9(1), 52–60.
- Laffenêtre, O., Solofomalala, G., de Lavigne, C., & Bauer, T. (2009). Hallux valgus: Définition, physiopathologie, études clinique et radiographique, principes du traitement. *EMC - Appareil locomoteur*, 4(3), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0246-0521\(09\)51073-X](https://doi.org/10.1016/S0246-0521(09)51073-X)
- Laffenêtre, O., Solofomalala, G., de Lavigne, C., & Bauer, T. (2010). Hallux valgus: Techniques chirurgicales. *EMC - Techniques chirurgicales - Orthopédie - Traumatologie*, 5(3), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0246-0467\(10\)51076-6](https://doi.org/10.1016/S0246-0467(10)51076-6)
- Lahoud, D., Teng, C. H., Nussem, E., Burns, J., Wrigley, C., & Cheng, T. L. (2021). Content analysis of child user and carer perspectives of ankle-foot orthoses. *Prosthetics & Orthotics International*, 45(1), 12–19. <https://doi.org/10.1177/0309364620952906>
- Lakkireddy, M. (2015). Clinical and Genetic Analysis of Fibrodysplasia Ossificans Progressiva: A Case Report and Literature Review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/15160.6393>
- Lamur, K. S., Huson, A., Snijders, C. J., & Stoeckart, R. (1996). Geometric data of hallux valgus feet. *Foot & Ankle International*, 17(9), 548–554. <https://doi.org/10.1177/107110079601700907>
- Langley, B., Cramp, M., & Morrison, S. C. (2016). Clinical measures of static foot posture do not agree. *Journal of Foot and Ankle Research*, 9(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s13047-016-0180-3>
- LaPointe, S. J., Peebles, C., Nakra, A., & Hillstrom, H. (2001). The Reliability of Clinical and Caliper-Based Calcaneal Bisection Measurements. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 91(3), 121–126. <https://doi.org/10.7547/87507315-91-3-121>
- Larson, E. E., Barrett, S. L., Battiston, B., Maloney, C. T., & Dellon, A. L. (2005). Accurate Nomenclature for Forefoot Nerve Entrapment. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 95(3), 298–306. <https://doi.org/10.7547/0950298>
- Laurá, M., Singh, D., Ramdharry, G., Morrow, J., Skorupinska, M., Pareyson, D., Burns, J., Lewis, R. A., Scherer, S. S., Herrmann, D. N., Cullen, N., Bradish, C., Gaiani, L., Martinelli, N., Gibbons, P., Pfeiffer, G., Phisitkul, P., Wapner, K., Sanders, J., ... on behalf of the Inherited Neuropathies Consortium. (2018). Prevalence and orthopedic management of foot and ankle deformities in Charcot-Marie-Tooth disease: Management of CMT Foot Deformities. *Muscle & Nerve*, 57(2), 255–259. <https://doi.org/10.1002/mus.25724>
- Lawson, J. P. (1994). International Skeletal Society Lecture in honor of Howard D. Dorfman. Clinically significant radiologic anatomic variants of the skeleton. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 163(2), 249–255. <https://doi.org/10.2214/ajr.163.2.8037009>
- Lazovic, M., Nikolic, D., Boyer, F. C., Borg, K., Ceravolo, M. G., Zampolini, M., & Kiekens, C. (2021). Evidence based position paper on Physical and Rehabilitation Medicine practice for people with muscular dystrophies. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 57(6). <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.21.07121-5>
- Lee, H. Y., Lalevee, M., Mansur, N. S. B., Vandelune, C. A., Dibbern, K. N., Barg, A., Femino, J. E., & de Cesar Netto, C. (2022). Multiplanar instability of the first tarsometatarsal joint in hallux valgus and hallux rigidus patients: A case-control study. *International Orthopaedics*, 46(2), 255–263. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-05198-9>



- Lee, J. D., Kim, Y. M., Kim, K., Koh, D. H., Choi, M. S., & Lee, H. J. (2015). Reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) for Assessment of Stroke Patients. *The Journal of Korean Physical Therapy*, 27(5), 311–314. <https://doi.org/10.18857/jkpt.2015.27.5.311>
- Lee, J. S., Kim, K. B., Jeong, J. O., Kwon, N. Y., & Jeong, S. M. (2015). Correlation of Foot Posture Index With Plantar Pressure and Radiographic Measurements in Pediatric Flatfoot. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 39(1), 10. <https://doi.org/10.5535/arm.2015.39.1.10>
- Lee, K. M., Ahn, S., Chung, C. Y., Sung, K. H., & Park, M. S. (2012). Reliability and relationship of radiographic measurements in hallux valgus. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 470(9), 2613–2621. <https://doi.org/10.1007/s11999-012-2368-6>
- Lee, K. M., Chung, C. Y., Park, M. S., Lee, S. H., Cho, J. H., & Choi, I. H. (2010). Reliability and validity of radiographic measurements in hindfoot varus and valgus. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 92(13), 2319–2327. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.01150>
- Leemrijse, T., Besse, J.-L., Devos Bevernage, B., Valtin, B., Barnaud, A., & Lengelé, B. (2015). *Pathologie du pied et de la cheville* (2e éd. mise à jour). Elsevier-Masson.
- Leemrijse, T., Valtin, B., & Besse, J.-L. (2008). La chirurgie de l'hallux valgus en 2005. Chirurgie conventionnelle, mini-invasive ou percutanée ? Uni- ou bilatérale ? Hospitalisation ou ambulatoire ? *Revue de Chirurgie Orthopédique et Réparatrice de l'Appareil Moteur*, 94(2), 111–127. <https://doi.org/10.1016/j.rco.2007.04.006>
- Leeuwesteijn, A. E. E. P. M., de Visser, E., & Louwerens, J. W. K. (2010). Flexible cavovarus feet in Charcot-Marie-Tooth disease treated with first ray proximal dorsiflexion osteotomy combined with soft tissue surgery: A short-term to mid-term outcome study. *Foot and Ankle Surgery*, 16(3), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2009.10.002>
- Lehman, D. E. (2003). Salvage of complications of hallux valgus surgery. *Foot and Ankle Clinics*, 8(1), 15–35. [https://doi.org/10.1016/s1083-7515\(02\)00130-4](https://doi.org/10.1016/s1083-7515(02)00130-4)
- Lelièvre, J. (1981). *Pathologie du pied: Physiologie, clinique, traitement médical, orthopédique et chirurgical*. Masson.
- Levrio, J. (1992). The residency in podiatric medicine. A brief historical overview. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 82(11), 560–565. <https://doi.org/10.7547/87507315-82-11-560>
- Levrio, J. (2009). Podiatric Medicine: A Current Assessment. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 99(1), 65–72. <https://doi.org/10.7547/0980065>
- Levy, L. (1996). Podiatric medical education and practice. 1960s to the 21st century. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 86(8), 370–375. <https://doi.org/10.7547/87507315-86-8-370>
- Levy, L. (1990). Podiatric Medicine: The evolution of practice. *Principles and Practice of Podiatric Medicine*.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22 140, 55–55.
- Lim, J. B. T., Chou, A. C. C., Yeo, W., Lo, N. N., Chia, S.-L., Chin, P. L., Tay, D. K. J., & Yeo, S. J. (2015). Comparison of patient quality of life scores and satisfaction after common orthopedic surgical interventions. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology: Orthopedie Traumatologie*, 25(6), 1007–1012. <https://doi.org/10.1007/s00590-015-1635-0>
- Limirio, P. H. J. O., Soares, P. B. F., Emi, E. T. P., Lopes, C. de C. A., Rocha, F. S., Batista, J. D., Rabelo, G. D., & Dechichi, P. (2019). Ionizing radiation and bone quality: Time-

- dependent effects. *Radiation Oncology*, 14(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s13014-019-1219-y>
- Lin, T., Gibbons, P., Mudge, A. J., Cornett, K. M. D., Menezes, M. P., & Burns, J. (2019). Surgical outcomes of cavovarus foot deformity in children with Charcot-Marie-Tooth disease. *Neuromuscular Disorders*, 29(6), 427–436. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2019.04.004>
- Lines, L. M., Lepore, M., & Wiener, J. M. (2015). Patient-centered, Person-centered, and Person-directed Care: They are Not the Same. *Medical Care*, 53(7), 561–563. <https://doi.org/10.1097/MLR.0000000000000387>
- Lintz, F., Beldame, J., Kerhousse, G., Bernasconi, A., Brunel, H., Darcel, V., Helix-Giordanino, M., & Piclet-Legré, B. (2019). Intra- and inter-observer reliability of the AFCP classification for sagittal plane deformities of the second toe. *Foot and Ankle Surgery*, S1268773119301432. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2019.08.011>
- Lobo, M. A., Hall, M. L., Greenspan, B., Rohloff, P., Prosser, L. A., & Smith, B. A. (2019). Wearables for Pediatric Rehabilitation: How to Optimally Design and Use Products to Meet the Needs of Users. *Physical Therapy*, 99(6), 647–657. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz024>
- López, D. L. (2010). *Podología y salud. Un análisis de las representaciones sociales de las enfermedades del pie desde una perspectiva psicosocial*. 353.
- Lopez, V., & Slullitel, G. (2019). Metatarsalgia. *Foot and Ankle Clinics*, 24(4), 561–569. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.08.006>
- Lorimer, D. L. (2012). A centenary year. *The Foot*, 22(2), 55. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2012.04.006>
- Lousa, M., Vázquez-Huarte-Mendicoa, C., Gutiérrez, A. J., Saavedra, P., Navarro, B., & Tugores, A. (2019). Genetic epidemiology, demographic, and clinical characteristics of Charcot-Marie-tooth disease in the island of Gran Canaria (Spain). *Journal of the Peripheral Nervous System*, 24(1), 131–138. <https://doi.org/10.1111/jns.12299>
- Louwerens, J. W. K. (2018). Operative treatment algorithm for foot deformities in Charcot-Marie-Tooth disease. *Operative Orthopädie Und Traumatologie*, 30(2), 130–146. <https://doi.org/10.1007/s00064-018-0533-0>
- Lu, J., Zhao, H., Liang, X., & Ma, Q. (2020). Comparison of Minimally Invasive and Traditionally Open Surgeries in Correction of Hallux Valgus: A Meta-Analysis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 59(4), 801–806. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2019.03.021>
- Lusardi, M. M., Jorge, M., & Nielsen, C. C. (2013). *Orthotics & prosthetics in rehabilitation / Michelle M. Lusardi, PT, DPT, PhD, Professor Emerita, Department of Physical Therapy & Human Movement Science, College of Health Professions, Sacred Heart University, Fairfield, CT, Milagros "Millee" Jorge, PT, MA, EdD, Professor and Dean, Langston University, School of Physical Therapy, Langston, OK, Caroline Nielsen, BA, MA, Ph.D, Health Care, Education and Research Consultant, Bonita Springs, FL, Former Associate Professor and Director, Graduate Program in Allied Health, University of Connecticut, Storrs, CT* (Third edition). Elsevier/Saunders.
- MacDonald, A., Houck, J., & Baumhauer, J. F. (2020). Role of Patient-Reported Outcome Measures on Predicting Outcome of Bunion Surgery. *Foot & Ankle International*, 41(2), 133–139. <https://doi.org/10.1177/1071100719886286>
- MacMahon, A., Karbassi, J., Burket, J. C., Elliott, A. J., Levine, D. S., Roberts, M. M., Deland, J. T., O'Malley, M. J., Yu, J., Mancuso, C. A., & Ellis, S. J. (2016). Return to Sports and Physical Activities After the Modified Lapidus Procedure for Hallux Valgus in Young Patients. *Foot & Ankle International*, 37(4), 378–385. <https://doi.org/10.1177/1071100715617750>

- Maestro, M., Schramm, M., & Bonnel, F. (2018). *Anatomie et biomécanique de l'avant-pied*. 22. [https://doi.org/10.1016/S0292-062X\(18\)79342-2](https://doi.org/10.1016/S0292-062X(18)79342-2)
- Mainard, D. (2014). Hallux valgus, hallux rigidus et pathologies sésamoïdiennes. *Revue du Rhumatisme Monographies*, 81(2), 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.monrhu.2014.02.003>
- Maleki, K. (2009). *Méthodes quantitatives de consultation d'experts: Delphi, Delphi public, Abaque de Régnier et impacts croisés*. Publibook.
- Mancuso, J. E., Abramow, S. P., Landsman, M. J., Waldman, M., & Carioscia, M. (2003). The zero-plus first metatarsal and its relationship to bunion deformity. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 42(6), 319–326. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2003.09.001>
- Mandarakas, M. R., Menezes, M. P., Rose, K. J., Shy, R., Eichinger, K., Foscan, M., Estilow, T., Kennedy, R., Herbert, K., Bray, P., Refshauge, K., Ryan, M. M., Yiu, E. M., Farrar, M., Sampaio, H., Moroni, I., Pagliano, E., Pareyson, D., Yum, S. W., ... Sanmaneechai, O. (2018). Development and validation of the Charcot-Marie-Tooth Disease Infant Scale. *Brain*, 141(12), 3319–3330. <https://doi.org/10.1093/brain/awy280>
- Mann, D. C., & Hsu, J. D. (1992). Triple Arthrodesis in the Treatment of Fixed Cavovarus Deformity in Adolescent Patients with Charcot-Marie-Tooth Disease. *Foot & Ankle*, 13(1), 1–6. <https://doi.org/10.1177/107110079201300101>
- Mansur, N. S. B., & de Souza Nery, C. A. (2020). Hypermobility in Hallux Valgus. *Foot and Ankle Clinics*, 25(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.10.004>
- Mansur, N. S. B., Lalevee, M., Schmidt, E., Dibbern, K., Wagner, P., Wagner, E., de Souza Nery, C. A., & de Cesar Netto, C. (2021). Correlation between indirect radiographic parameters of first metatarsal rotation in hallux valgus and values on weight-bearing computed tomography. *International Orthopaedics*, 45(12), 3111–3118. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-05136-9>
- Marquié, L., Duarte, L.-R., Mauriès, V., Izard, P., & Pouymayou, J. (2008). Les caractéristiques psychométriques du Questionnaire de douleur de Saint-Antoine en consultation d'algologie chez les personnes atteintes de cancer. *Douleur et Analgésie*, 21(1), 52–61. <https://doi.org/10.1007/s11724-008-0083-6>
- Martin, R. L., Irrgang, J. J., Burdett, R. G., Conti, S. F., & Swearingen, J. M. V. (2005). Evidence of Validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot & Ankle International*, 26(11), 968–983. <https://doi.org/10.1177/107110070502601113>
- Martinez, B. R., Oliveira, J. C. D., Vieira, K. V. S. G., & Yi, L. C. (2021). Translation, cross-cultural adaptation, and reliability of the Foot Posture Index (FPI-6)—Brazilian version. *Physiotherapy Theory and Practice*, 37(1), 218–223. <https://doi.org/10.1080/09593985.2019.1587800>
- Martínez-Nova, A., Sánchez-Rodríguez, R., Leal-Muro, A., & Pedrera-Zamorano, J. D. (2011). Dynamic plantar pressure analysis and midterm outcomes in percutaneous correction for mild hallux valgus. *Journal of Orthopaedic Research*, 29(11), 1700–1706. <https://doi.org/10.1002/jor.21449>
- Martínez-Nova, A., Sánchez-Rodríguez, R., Pérez-Soriano, P., Llana-Belloch, S., Leal-Muro, A., & Pedrera-Zamorano, J. D. (2010). Plantar pressures determinants in mild Hallux Valgus. *Gait & Posture*, 32(3), 425–427. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.06.015>
- Martyn, C. N., & Hughes, R. A. C. (1997). *Epidemiology of peripheral neuropathy*.
- Mathis, S., Goizet, C., Tazir, M., Magdelaine, C., Lia, A.-S., Magy, L., & Vallat, J.-M. (2015). Charcot–Marie–Tooth diseases: An update and some new proposals for the

- classification. *Journal of Medical Genetics*, 52(10), 681–690.  
<https://doi.org/10.1136/jmedgenet-2015-103272>
- Matthews, M., Klein, E., Youssef, A., Weil, L., Sorensen, M., Weil, L. S., & Fleischer, A. (2018). Correlation of Radiographic Measurements With Patient-Centered Outcomes in Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle International*, 39(12), 1416–1422.  
<https://doi.org/10.1177/1071100718790255>
- Maynou, C., Szymanski, C., & Thiounn, A. (2017). The adult cavus foot. *EFORT Open Reviews*, 2(5), 221–229. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.2.160077>
- McAlister, J. E., & Urooj, U. (2021). Os Trigonum Syndrome. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 38(2), 279–290. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2020.12.011>
- McBride, E. D. (2002). A conservative operation for bunions. 1928. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 84(11), 2101. <https://doi.org/10.2106/00004623-200211000-00028>
- McCarthy, C., Rushton, A., Billis, V., Arnall, F., & Oldham, J. (2006). Development of a clinical examination in non-specific low back pain: A Delphi technique. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 38(4), 263–267.  
<https://doi.org/10.1080/16501970600632768>
- McCarthy, J. J., & Drennan, J. C. (Eds.). (2010). *Drennan's the child's foot and ankle* (2nd ed). Lippincott Williams & Wilkins.
- McCormack, A. P., Ching, R. P., & Sangeorzan, B. J. (2001). Biomechanics of procedures used in adult flatfoot deformity. *Foot and Ankle Clinics*, 6(1), 15–23.  
[https://doi.org/10.1016/S1083-7515\(03\)00072-X](https://doi.org/10.1016/S1083-7515(03)00072-X)
- McCrary, J. L., Young, M. J., Boulton, A. J. M., & Cavanagh, P. R. (1997). Arch index as a predictor of arch height. *The Foot*, 7(2), 79–81. [https://doi.org/10.1016/S0958-2592\(97\)90052-3](https://doi.org/10.1016/S0958-2592(97)90052-3)
- McDonald, S. W., & Tavener, G. (1999). Pronation and supination of the foot: Confused terminology. *The Foot*, 9(1), 6–11. <https://doi.org/10.1054/foot.1999.0502>
- McKee, P. R., & Rivard, A. (2011). Biopsychosocial Approach to Orthotic Intervention. *Journal of Hand Therapy*, 24(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2010.08.001>
- McLaughlin, P., Vaughan, B., Shanahan, J., Martin, J., & Linger, G. (2016). Inexperienced examiners and the Foot Posture Index: A reliability study. *Manual Therapy*, 26, 238–240. <https://doi.org/10.1016/j.math.2016.06.009>
- McNerney, J. E., & Johnston, W. B. (1979). Generalized ligamentous laxity, hallux abducto valgus and the first metatarsocuneiform joint. *Journal of the American Podiatry Association*, 69(1), 69–82. <https://doi.org/10.7547/87507315-69-1-69>
- McPoil, T. G., & Cornwall, M. W. (1996). Relationship Between Three Static Angles of the Rearfoot and the Pattern of Rearfoot Motion During Walking. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 23(6), 370–375.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.1996.23.6.370>
- McPoil, T. G., & Cornwall, M. W. (2005). Use of the Longitudinal Arch Angle to Predict Dynamic Foot Posture in Walking. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 95(2), 114–120. <https://doi.org/10.7547/0950114>
- McPoil, T. G., Cornwall, M. W., Medoff, L., Vicenzino, B., Forsberg, K., & Hilz, D. (2008). Arch height change during sit-to-stand: An alternative for the navicular drop test. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-1-3>
- Meary, R. (1967). On the measurement of the angle between the talus and the first metatarsal. *Rev Chir Orthop*, 53:389-91.
- Mehta, V., Gupta, V., Arora, J., Nayyar, A., Suri, R. K., & Rath, G. (2011). An atypical composition of adductor hallucis co-existent with an accessory plantar muscle and duplication of flexor digiti minimi pedis. *La Clinica Terapeutica*, 162(4), 361–363.

- Mellado, J. M., Ramos, A., Salvadó, E., Camins, A., Danús, M., & Saurí, A. (2003). Accessory ossicles and sesamoid bones of the ankle and foot: Imaging findings, clinical significance and differential diagnosis. *European Radiology*, *13 Suppl 4*, L164-177. <https://doi.org/10.1007/s00330-003-2011-8>
- Mellado, J. M., Rosenberg, Z. S., Beltran, J., & Colon, E. (1997). The peroneocalcaneus internus muscle: MR imaging features. *AJR. American Journal of Roentgenology*, *169*(2), 585–588. <https://doi.org/10.2214/ajr.169.2.9242782>
- Melnyk, B. M. (2012). Achieving a High-Reliability Organization Through Implementation of the ARCC Model for Systemwide Sustainability of Evidence-Based Practice. *Nursing Administration Quarterly*, *36*(2), 127–135. <https://doi.org/10.1097/NAQ.0b013e318249fb6a>
- Melzack, R. (1975). The McGill Pain Questionnaire: Major properties and scoring methods: *Pain*, *1*(3), 277–299. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(75\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0304-3959(75)90044-5)
- Menotti, F., Laudani, L., Damiani, A., Mignogna, T., & Macaluso, A. (2014). An anterior ankle-foot orthosis improves walking economy in Charcot–Marie–Tooth type 1A patients. *Prosthetics & Orthotics International*, *38*(5), 387–392. <https://doi.org/10.1177/0309364613506250>
- Mentiplay, B. F., Clark, R. A., Mullins, A., Bryant, A. L., Bartold, S., & Paterson, K. (2013). Reliability and validity of the Microsoft Kinect for evaluating static foot posture. *Journal of Foot and Ankle Research*, *6*(1), 14. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-6-14>
- Menz, H. B. (1995). Clinical hindfoot measurement: A critical review of the literature. *The Foot*, *5*(2), 57–64. [https://doi.org/10.1016/0958-2592\(95\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0958-2592(95)90012-8)
- Menz, H. B. (1998). Alternative techniques for the clinical assessment of foot pronation. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *88*(3), 119–129. <https://doi.org/10.7547/87507315-88-3-119>
- Menz, H. B., & Bonanno, D. R. (2021). Footwear comfort: A systematic search and narrative synthesis of the literature. *Journal of Foot and Ankle Research*, *14*(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00500-9>
- Menz, H. B., Lim, P. Q., Hurn, S. E., Mickle, K. J., Buldt, A. K., Cotchett, M. P., Roddy, E., Wluka, A. E., Erbas, B., & Munteanu, S. E. (2022). Footwear, foot orthoses and strengthening exercises for the non-surgical management of hallux valgus: Protocol for a randomised pilot and feasibility trial. *Journal of Foot and Ankle Research*, *15*(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s13047-022-00553-4>
- Menz, H. B., & Munteanu, S. E. (2005a). Radiographic validation of the Manchester scale for the classification of hallux valgus deformity. *Rheumatology*, *44*(8), 1061–1066. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keh687>
- Menz, H. B., & Munteanu, S. E. (2005b). Validity of 3 Clinical Techniques for the Measurement of Static Foot Posture in Older People. *Research Report*, *35*(8), 8.
- Menz, H. B., Roddy, E., Marshall, M., Thomas, M. J., Rathod, T., Peat, G. M., & Croft, P. R. (2016). Epidemiology of Shoe Wearing Patterns Over Time in Older Women: Associations With Foot Pain and Hallux Valgus. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *71*(12), 1682–1687. <https://doi.org/10.1093/gerona/glw004>
- Menzildzic, S., Chaudhry, N., & Petryschuk, C. (2021). Using Manchester Scale classification of Hallux Valgus as a valuable tool in determining appropriate risk categorization during initial diabetic foot screening in primary health care settings. *Foot (Edinburgh, Scotland)*, *47*, 101810. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2021.101810>
- Milczarek, M. A., Milczarek, J. J., Tomasik, B., Łaganowski, P., Nowak, K., & Domzalski, M. (2017). Being overweight has limited effect on SCARF osteotomy outcome for

- hallux valgus correction. *International Orthopaedics*, 41(4), 765–772.  
<https://doi.org/10.1007/s00264-017-3419-0>
- Miller, T. T. (2002). Painful accessory bones of the foot. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 6(2), 153–161. <https://doi.org/10.1055/s-2002-32361>
- Miller, T. T., Staron, R. B., Feldman, F., Parisien, M., Glucksman, W. J., & Gandolfo, L. H. (1995). The symptomatic accessory tarsal navicular bone: Assessment with MR imaging. *Radiology*, 195(3), 849–853.  
<https://doi.org/10.1148/radiology.195.3.7754020>
- Milnes, H. L., Kilmartin, T. E., & Dunlop, G. (2010). A pilot study to explore if the age that women undergo hallux valgus surgery influences the post-operative range of motion and level of satisfaction. *Foot (Edinburgh, Scotland)*, 20(4), 109–113.  
<https://doi.org/10.1016/j.foot.2010.08.003>
- Mishra, R., & Samuel, A. J. (2018). Letter to the Editor, “Reliability of Foot Posture Index individual and total scores for adults and older adults.” *Musculoskeletal Science and Practice*, 37, e81. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2018.06.003>
- Mizel, M. S., & Yodlowski, M. L. (1995). Disorders of the Lesser Metatarsophalangeal Joints: *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 3(3), 166–173.  
<https://doi.org/10.5435/00124635-199505000-00006>
- Mladenovic, J., Milic Rasic, V., Keckarevic Markovic, M., Romac, S., Todorovic, S., Rakocevic Stojanovic, V., Kistic Tepavcevic, D., Hofman, A., & Pekmezovic, T. (2011). Epidemiology of Charcot-Marie-Tooth Disease in the Population of Belgrade, Serbia. *Neuroepidemiology*, 36(3), 177–182. <https://doi.org/10.1159/000327029>
- Moerenhout, K., Chopra, S., & Crevoisier, X. (2019). Outcome of the modified Lapidus procedure for hallux valgus deformity during the first year following surgery: A prospective clinical and gait analysis study. *Clinical Biomechanics*, 61, 205–210.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.12.017>
- Mokkink, L. B., Terwee, C. B., Patrick, D. L., Alonso, J., Stratford, P. W., Knol, D. L., Bouter, L. M., & de Vet, H. C. W. (2010). The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. *Journal of Clinical Epidemiology*, 63(7), 737–745. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.02.006>
- Mølgaard, C., Lundbye-Christensen, S., & Simonsen, O. (2010). High prevalence of foot problems in the Danish population: A survey of causes and associations. *The Foot*, 20(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2010.03.002>
- Morley, A. J. M. (1957). Knock-knee in Children. *BMJ*, 2(5051), 976–979.  
<https://doi.org/10.1136/bmj.2.5051.976>
- Morrison, S. C., & Ferrari, J. (2009). Inter-rater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) in the assessment of the paediatric foot. *Journal of Foot and Ankle Research*, 2(1), 26.  
<https://doi.org/10.1186/1757-1146-2-26>
- Mortier, J. P., & Delagoutte, J. P. (2003). Les ostéotomies basales dans le traitement de l'hallux valgus. *Rev Chir Orthop*, 89(Suppl5), 2S102. <https://doi.org/RCOS-09-2003-89-5-0035-1040-101019-ART34>
- Mortka, K., & Lisiński, P. (2015). Hallux valgus—a case for a physiotherapist or only for a surgeon? Literature review. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(10), 3303–3307.  
<https://doi.org/10.1589/jpts.27.3303>
- Motantasut, P., Hunsawong, T., Mato, L., & Donpunha, W. (2019). Reliability of novice and experienced physiotherapists using the normalized navicular height truncated and the foot posture index-6 for classifying static foot posture in adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 31(4), 392–397. <https://doi.org/10.1589/jpts.31.392>

- Moulodi, N., Kamyab, M., & Farzadi, M. (2019). A comparison of the hallux valgus angle, range of motion, and patient satisfaction after use of dynamic and static orthoses. *The Foot*, *41*, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2019.06.002>
- Muehleman, C., Williams, J., & Bareither, M. L. (2009). A radiologic and histologic study of the os peroneum: Prevalence, morphology, and relationship to degenerative joint disease of the foot and ankle in a cadaveric sample. *Clinical Anatomy*, *22*(6), 747–754. <https://doi.org/10.1002/ca.20830>
- Mueller, M. J., Host, J. V., & Norton, B. J. (1993). Navicular drop as a composite measure of excessive pronation. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *83*(4), 198–202. <https://doi.org/10.7547/87507315-83-4-198>
- Murphy, D. R., Schneider, M. J., Seaman, D. R., Perle, S. M., & Nelson, C. F. (2008). How can chiropractic become a respected mainstream profession? The example of podiatry. *Chiropractic & Osteopathy*, *16*(1), 10. <https://doi.org/10.1186/1746-1340-16-10>
- Murphy, S. M., Herrmann, D. N., McDermott, M. P., Scherer, S. S., Shy, M. E., Reilly, M. M., & Pareyson, D. (2011). Reliability of the CMT neuropathy score (second version) in Charcot-Marie-Tooth disease. *Journal of the Peripheral Nervous System*, *16*(3), 191–198. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2011.00350.x>
- Myerson, M. S., Thordarson, D. B., Johnson, J. E., Hintermann, B., Sangeorzan, B. J., Deland, J. T., Schon, L. C., Ellis, S. J., & de Cesar Netto, C. (2020). Classification and Nomenclature: Progressive Collapsing Foot Deformity. *Foot & Ankle International*, *41*(10), 1271–1276. <https://doi.org/10.1177/1071100720950722>
- Nagai, M. K., Chan, G., Guille, J. T., Kumar, S. J., Scavina, M., & Mackenzie, W. G. (2006). Prevalence of Charcot-Marie-Tooth disease in patients who have bilateral cavovarus feet. *Journal of Pediatric Orthopedics*, *26*(4), 438–443. <https://doi.org/10.1097/01.bpo.0000226278.16449.c4>
- Napolitano, C., Walsh, S., Mahoney, L., & McCrea, J. (2000). Risk factors that may adversely modify the natural history of the pediatric pronated foot. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, *17*(3), 397–417.
- Nester, C., Graham, A., Martinez-Santos, A., Williams, A., McAdam, J., & Newton, V. (2017). National profile of foot orthotic provision in the United Kingdom, part 1: Practitioners and scope of practice. *Journal of Foot and Ankle Research*, *10*(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s13047-017-0215-4>
- Nester, C. J., Van Der Linden, M. L., & Bowker, P. (2003). Effect of foot orthoses on the kinematics and kinetics of normal walking gait. *Gait & Posture*, *17*(2), 180–187. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(02\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00065-6)
- Netter, F. H., Kamina, P., & Richer, J.-P. (2023). *Atlas Netter d'anatomie humaine* (8e éd). Elsevier Masson.
- Neuprez, A., Delcour, J.-P., Fatemi, F., Gillet, P., Crielaard, J.-M., Bruyère, O., & Reginster, J.-Y. (2016). Patients' Expectations Impact Their Satisfaction following Total Hip or Knee Arthroplasty. *PLOS ONE*, *11*(12), e0167911. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167911>
- Newhouse, R. P., Dearholt, S., Poe, S., Pugh, L. C., & White, K. M. (2007). Organizational change strategies for evidence-based practice. *The Journal of Nursing Administration*, *37*(12), 552–557. <https://doi.org/10.1097/01.NNA.0000302384.91366.8f>
- Newman, C. J., Walsh, M., O'Sullivan, R., Jenkinson, A., Bennett, D., Lynch, B., & O'Brien, T. (2007). The characteristics of gait in Charcot-Marie-Tooth disease types I and II. *Gait & Posture*, *26*(1), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.08.006>
- Nielsen, R. G., Rathleff, M. S., Moelgaard, C. M., Simonsen, O., Kaalund, S., Olesen, C. G., Christensen, F. B., & Kersting, U. G. (2010). Video based analysis of dynamic

- midfoot function and its relationship with Foot Posture Index scores. *Gait & Posture*, 31(1), 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.09.012>
- Nielsen, R., Rathleff, M., Kersting, U., Simonsen, O., Moelgaard, C., Jensen, K., Olesen, C., Lundbye-Christensen, S., & Kaalund, S. (2008). The predictive value of the foot posture index on dynamic function. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(S1), O37. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-1-S1-O37>
- Niki, H., Ching, R. P., Kiser, P., & Sangeorzan, B. J. (2001). The Effect of Posterior Tibial Tendon Dysfunction on Hindfoot Kinematics. *Foot & Ankle International*, 22(4), 292–300. <https://doi.org/10.1177/107110070102200404>
- Nilsdotter, A.-K., Cöster, M. E., Bremander, A., & Cöster, M. C. (2019). Patient-reported outcome after hallux valgus surgery—A two year follow up. *Foot and Ankle Surgery*, 25(4), 478–481. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.02.015>
- Nilsen, P. (2015). Making sense of implementation theories, models and frameworks. *Implementation Science: IS*, 10, 53. <https://doi.org/10.1186/s13012-015-0242-0>
- Nix, S. E., Vicenzino, B. T., Collins, N. J., & Smith, M. D. (2012). Characteristics of foot structure and footwear associated with hallux valgus: A systematic review. *Osteoarthritis and Cartilage*, 20(10), 1059–1074. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2012.06.007>
- Nix, S., Smith, M., & Vicenzino, B. (2010). Prevalence of hallux valgus in the general population: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot and Ankle Research*, 3(1), 21. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-21>
- Nogueira, M. P., Farcetta, F., & Zuccon, A. (2015). Cavus Foot. *Foot and Ankle Clinics*, 20(4), 645–656. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2015.07.007>
- Nonnekes, J., Benda, N., van Duijnhoven, H., Lem, F., Keijsers, N., Louwerens, J. W. K., Pieterse, A., Renzenbrink, B., Weerdesteyn, V., Burke, J., & Geurts, A. C. H. (2018). Management of Gait Impairments in Chronic Unilateral Upper Motor Neuron Lesions: A Review. *JAMA Neurology*, 75(6), 751. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2017.5041>
- Nonnekes, J., Hofstad, C., de Rotteveel, A., van Wielen, H., Gelder, J., Plaats, C., Altmann, V., Krause, F., Keijsers, N., Geurts, A., & Louwerens, J. (2021). Management of gait impairments in people with hereditary motor and sensory neuropathy: A treatment algorithm. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 0. <https://doi.org/10.2340/16501977-2831>
- Nwawka, O. K., Hayashi, D., Diaz, L. E., Goud, A. R., Arndt, W. F., Roemer, F. W., Malguria, N., & Guermazi, A. (2013). Sesamoids and accessory ossicles of the foot: Anatomical variability and related pathology. *Insights into Imaging*, 4(5), 581–593. <https://doi.org/10.1007/s13244-013-0277-1>
- Nyska, M., Liberson, A., McCabe, C., Linge, K., & Klenerman, L. (1998). Plantar foot pressure distribution in patients with Hallux valgus treated by distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. *Foot and Ankle Surgery*, 4(1), 35–41. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9584.1998.00068.x>
- Ocloo, J., Goodrich, J., Tanaka, H., Birchall-Searle, J., Dawson, D., & Farr, M. (2020). The importance of power, context and agency in improving patient experience through a patient and family centred care approach. *Health Research Policy and Systems*, 18(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s12961-019-0487-1>
- Oh, I. S., Choi, S. W., Kim, M. K., Lee, S. Y., & Lee, J. S. (2008). Clinical and Radiological Results after Modified Distal Metatarsal Osteotomy for Hallux Valgus. *Foot & Ankle International*, 29(5), 473–477. <https://doi.org/10.3113/FAI-2008-0473>
- Okafor, L., & Chen, A. F. (2019). Patient satisfaction and total hip arthroplasty: A review. *Arthroplasty*, 1(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s42836-019-0007-3>



- Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). *The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications*. 15.
- Okuda, R., Kinoshita, M., Yasuda, T., Jotoku, T., Kitano, N., & Shima, H. (2007). The shape of the lateral edge of the first metatarsal head as a risk factor for recurrence of hallux valgus. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 89(10), 2163–2172. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.01455>
- Ordre National des Pédicures-Podologues. (2023). *Ordre National des Pédicures-Podologues*. <https://www.onpp.fr/>
- Otsuka, R., Yatsuya, H., Miura, Y., Murata, C., Tamakoshi, K., Oshiro, K., Nishio, N., Ishikawa, M., Zhang, H. M., Shiozawa, M., Kobayashi, A., Ito, M., Hori, Y., Kondo, T., & Toyoshima, H. (2003). [Association of flatfoot with pain, fatigue and obesity in Japanese over sixties]. [*Nihon Koshu Eisei Zasshi*] *Japanese Journal of Public Health*, 50(10), 988–998.
- Õunpuu, S., Garibay, E., Acsadi, G., Brimacombe, M., & Pierz, K. (2021). The impact of orthoses on gait in children with Charcot-Marie-Tooth disease. *Gait & Posture*, 85, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.02.005>
- Õunpuu, S., Garibay, E., Solomito, M., Bell, K., Pierz, K., Thomson, J., Acsadi, G., & DeLuca, P. (2013). A comprehensive evaluation of the variation in ankle function during gait in children and youth with Charcot–Marie–Tooth disease. *Gait & Posture*, 38(4), 900–906. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.04.016>
- Padovano, A. G., Lalli, T., Tennant, J. N., Martin, K. D., & Santrock, R. D. (2022). The Triplanar Hallux Abducto Valgus Classification System: Is it Valid? *Foot & Ankle Orthopaedics*, 7(1), 2473011421S0038. <https://doi.org/10.1177/2473011421S00384>
- Panchbhavi, V., Cordova, J., Chen, J., & Janney, C. (2020). Does Hallux Valgus Correction Reduce the Width of the Forefoot? *Foot & Ankle Specialist*, 13(2), 112–115. <https://doi.org/10.1177/1938640019835301>
- Pareyson, D., & Marchesi, C. (2009). Diagnosis, natural history, and management of Charcot–Marie–Tooth disease. *The Lancet Neurology*, 8(7), 654–667. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(09\)70110-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(09)70110-3)
- Park, Y. H., Jeong, C. D., Choi, G. W., & Kim, H. J. (2017). Effect of Bipartite Hallucal Sesamoid on Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle International*, 38(6), 634–640. <https://doi.org/10.1177/1071100717700454>
- Parker, J., Nester, C. J., Long, A. F., & Barrie, J. (2003). The Problem with Measuring Patient Perceptions of Outcome with Existing Outcome Measures in Foot and Ankle Surgery. *Foot & Ankle International*, 24(1), 56–60. <https://doi.org/10.1177/107110070302400109>
- Parrini, M. M., Spada, A., Betti, S., Randelli, P., & Cabitza, P. (2009). Anxiety trait level and patient management in foot surgery. *Orthopaedic Proceedings*, 91-B(SUPP\_II), 271–271. [https://doi.org/10.1302/0301-620X.91BSUPP\\_II.0910271b](https://doi.org/10.1302/0301-620X.91BSUPP_II.0910271b)
- Paterson, K. L., Clark, R. A., Mullins, A., Bryant, A. L., & Mentiplay, B. F. (2015). Predicting Dynamic Foot Function From Static Foot Posture: Comparison Between Visual Assessment, Motion Analysis, and a Commercially Available Depth Camera. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(10), 789–798. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5616>
- Patnaik, S., Jones, N. J., Dojode, C., Narang, A., Lal, M., Iliopoulos, E., & Chougule, S. (2022). Minimally invasive hallux valgus correction: Is it better than open surgery? *Foot (Edinburgh, Scotland)*, 50, 101871. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2021.101871>
- Pearson, A., Jordan, Z., & Munn, Z. (2012). Translational science and evidence-based healthcare: A clarification and reconceptualization of how knowledge is generated and

- used in healthcare. *Nursing Research and Practice*, 2012, 792519.  
<https://doi.org/10.1155/2012/792519>
- Pearson, A., Wiechula, R., Court, A., & Lockwood, C. (2005). The JBI model of evidence-based healthcare. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 3(8), 207–215.  
<https://doi.org/10.1111/j.1479-6988.2005.00026.x>
- Peng, Y., Wang, Y., Wong, D. W.-C., Chen, T. L.-W., Zhang, G., Tan, Q., & Zhang, M. (2021). Extrinsic foot muscle forces and joint contact forces in flexible flatfoot adult with foot orthosis: A parametric study of tibialis posterior muscle weakness. *Gait & Posture*, 88, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.05.009>
- Peng, Y., Wong, D. W.-C., Wang, Y., Chen, T. L.-W., Tan, Q., Chen, Z., Jin, Z., & Zhang, M. (2020). Immediate Effects of Medially Posted Insoles on Lower Limb Joint Contact Forces in Adult Acquired Flatfoot: A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), E2226.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17072226>
- Perera, A. M., Mason, L., & Stephens, M. M. (2011). The pathogenesis of hallux valgus. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 93(17), 1650–1661.  
<https://doi.org/10.2106/JBJS.H.01630>
- Perrier, A. (2016). *Conception et évaluation d'un modèle biomécanique, éléments finis, patient-spécifique, du pied humain. Applications en podologie, orthopédie et diabétologie*. HAL.
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait analysis: Normal and pathological function* (2nd ed). SLACK.
- Peterson, D. A., Stinson, W., & Lairmore, J. R. (1995). The long accessory flexor muscle: An anatomical study. *Foot & Ankle International*, 16(10), 637–640.  
<https://doi.org/10.1177/107110079501601010>
- Pfeiffer, M., Kotz, R., Ledl, T., Hauser, G., & Sluga, M. (2006). Prevalence of Flat Foot in Preschool-Aged Children. *Pediatrics*, 118(2), 634–639.  
<https://doi.org/10.1542/peds.2005-2126>
- Phillips, M., Radford, K., & Wills, A. (2011). Ankle foot orthoses for people with Charcot Marie Tooth disease – views of users and orthotists on important aspects of use. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 6(6), 491–499.  
<https://doi.org/10.3109/17483107.2010.549899>
- Picciano, A. M., Rowlands, M. S., & Worrell, T. (1993). Reliability of Open and Closed Kinetic Chain Subtalar Joint Neutral Positions and Navicular Drop Test. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 18(4), 553–558.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.1993.18.4.553>
- Piclet-Legré, B., Graff, W., & Association française de chirurgie du pied. (2017). *Hallux valgus*.  
<http://ezproxy.usherbrooke.ca/login?url=http://www.sciencedirect.com/science/book/9782294750663>
- Piette, P. (2016). *Métriologie appliquée à la kinésithérapie: Mesures, tests et bilans, concepts fondamentaux*. 16.
- Pita-fernandez, S. (2017). Flat Foot in a Random Population and its Impact on Quality of Life and Functionality. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*.  
<https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/24362.9697>
- Ploeger, H. E., Bus, S. A., Brehm, M.-A., & Nollet, F. (2020). Use and usability of custom-made dorsiflexion-restricting ankle-foot orthoses for calf muscle weakness in polio survivors: A cross-sectional survey. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(5). <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.20.06020-7>

- Poncet, F., Swaine, B., & Pradat-Diehl, P. (2017). Documenter un programme de réadaptation en référence au modèle logique théorique: Un atout dans la démarche évaluative: *Santé Publique, Vol. 29*(1), 7–19. <https://doi.org/10.3917/spub.171.0007>
- Pothier, D. (2011). *Guide pratique de podologie* (2nd ed). Presses de l'Université du Québec.
- Pourghasem, M., Kamali, N., Farsi, M., & Soltanpour, N. (2016). Prevalence of flatfoot among school students and its relationship with BMI. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica, 50*(5), 554–557. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2016.03.002>
- Pourtier-Piotte, C., Pereira, B., Soubrier, M., Thomas, E., Gerbaud, L., & Coudeyre, E. (2015). French validation of the Foot Function Index (FFI). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 58*(5), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.07.003>
- Price, D. D., McGrath, P. A., Rafii, A., & Buckingham, B. (1983). The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain: *Pain, 17*(1), 45–56. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(83\)90126-4](https://doi.org/10.1016/0304-3959(83)90126-4)
- Rabin, R., & Charro, F. de. (2001). EQ-SD: A measure of health status from the EuroQol Group. *Annals of Medicine, 33*(5), 337–343. <https://doi.org/10.3109/07853890109002087>
- Raikin, S. M., Miller, A. G., & Daniel, J. (2014). Recurrence of Hallux Valgus. *Foot and Ankle Clinics, 19*(2), 259–274. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2014.02.008>
- Rambelli, C., Mazzoli, D., Galletti, M., Basini, G., Zerbinati, P., Prati, P., Mascioli, F., Masiero, S., & Merlo, A. (2022). Foot Assessment Clinical Scales in Charcot-Marie-Tooth Patients: A Scoping Review. *Frontiers in Human Neuroscience, 16*, 914340. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.914340>
- Ramdharry, G. M., Day, B. L., Reilly, M. M., & Marsden, J. F. (2009). Hip flexor fatigue limits walking in Charcot-Marie-Tooth disease: Hip Flexor Fatigue in CMT. *Muscle & Nerve, 40*(1), 103–111. <https://doi.org/10.1002/mus.21264>
- Ramdharry, G. M., Day, B. L., Reilly, M. M., & Marsden, J. F. (2012). Foot drop splints improve proximal as well as distal leg control during gait in Charcot-Marie-Tooth Disease: Ankle Foot Orthoses in CMT. *Muscle & Nerve, 46*(4), 512–519. <https://doi.org/10.1002/mus.23348>
- Ramdharry, G. M., Pollard, A. J., Marsden, J. F., & Reilly, M. M. (2012). Comparing Gait Performance of People with Charcot-Marie-Tooth Disease Who Do and Do Not Wear Ankle Foot Orthoses: Gait Performance and Orthoses in Charcot Marie-Tooth Disease. *Physiotherapy Research International, 17*(4), 191–199. <https://doi.org/10.1002/pri.531>
- Rao, U. B., & Joseph, B. (1992). The influence of footwear on the prevalence of flat foot. A survey of 2300 children. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume, 74*(4), 525–527. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.74B4.1624509>
- Rattanaprasert, U., Smith, R., Sullivan, M., & Gilleard, W. (1999). Three-dimensional kinematics of the forefoot, rearfoot, and leg without the function of tibialis posterior in comparison with normals during stance phase of walking. *Clinical Biomechanics, 14*(1), 14–23. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(98)00034-5)
- Ray, J. J., Friedmann, A. J., Hanselman, A. E., Vaida, J., Dayton, P. D., Hatch, D. J., Smith, B., & Santrock, R. D. (2019). Hallux Valgus. *Foot & Ankle Orthopaedics, 4*(2), 247301141983850. <https://doi.org/10.1177/2473011419838500>
- Razeghi, M., & Batt, M. E. (2002). Foot type classification: A critical review of current methods. *Gait & Posture, 15*(3), 282–291. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00151-5](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00151-5)
- Redmond, A. C. (2014). *The Foot Posture Index—Easy quantification of standing foot posture—Six item version FPI-6—User Guide and Manual.*

- Redmond, A. C., Crane, Y. Z., & Menz, H. B. (2008). Normative values for the Foot Posture Index. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(1), 6. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-1-6>
- Redmond, A. C., Crosbie, J., & Ouvrier, R. A. (2006). Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: The Foot Posture Index. *Clinical Biomechanics*, 21(1), 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.08.002>
- Refshauge, K. M., Raymond, J., Nicholson, G., & van den Dolder, P. A. (2006). Night splinting does not increase ankle range of motion in people with Charcot-Marie-Tooth disease: A randomised, cross-over trial. *Australian Journal of Physiotherapy*, 52(3), 193–199. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(06\)70028-9](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(06)70028-9)
- Reilly, M. M., Murphy, S. M., & Laurá, M. (2011). Charcot-Marie-Tooth disease. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 16(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2011.00324.x>
- Reina, M., Lafuente, G., & Munuera, P. V. (2013). Effect of custom-made foot orthoses in female hallux valgus after one-year follow up. *Prosthetics & Orthotics International*, 37(2), 113–119. <https://doi.org/10.1177/0309364612447097>
- Richie, D. H. (2007). Biomechanics and Clinical Analysis of the Adult Acquired Flatfoot. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 24(4), 617–644. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2007.07.003>
- Ricketts, D., Rogers, R., Roper, T., & Ge, X. (2017). Recognising and dealing with complications in orthopaedic surgery. *The Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 99(3), 185–188. <https://doi.org/10.1308/rcsann.2016.0364>
- Ridge, S. T., Olsen, M. T., Bruening, D. A., Jurgensmeier, K., Griffin, D., Davis, I. S., & Johnson, A. W. (2019). Walking in Minimalist Shoes Is Effective for Strengthening Foot Muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 104–113. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001751>
- Ringleb, S. I., Kavros, S. J., Kotajarvi, B. R., Hansen, D. K., Kitaoka, H. B., & Kaufman, K. R. (2007). Changes in gait associated with acute stage II posterior tibial tendon dysfunction. *Gait & Posture*, 25(4), 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.06.008>
- Robbins, J. M., Helfand, A. E., & Levy, L. (2018). The American Association of Colleges of Podiatric Medicine. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 108(6), 535–537. <https://doi.org/10.7547/8750-7315-108.6.535>
- Robinson, C., Bhosale, A., & Pillai, A. (2016). Footwear modification following hallux valgus surgery: The all-or-none phenomenon. *World Journal of Methodology*, 6(2), 171. <https://doi.org/10.5662/wjm.v6.i2.171>
- Rodineau, J., & Saillant, G. (2002). *Panorama en traumatologie du sport: 20e journée de traumatologie du sport de la Pitié-Salpêtrière, [9 nov. 2002]*. Masson.
- Rokkedal-Lausch, T., Lykke, M., Hansen, M. S., & Nielsen, R. O. (2013). Normative values for the foot posture index between right and left foot: A descriptive study. *Gait & Posture*, 38(4), 843–846. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.04.006>
- Romanowski, C. A., & Barrington, N. A. (1992). The accessory navicular—An important cause of medial foot pain. *Clinical Radiology*, 46(4), 261–264. [https://doi.org/10.1016/s0009-9260\(05\)80167-9](https://doi.org/10.1016/s0009-9260(05)80167-9)
- Root, M. L. (1973). Biomechanical examination of the foot. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 63(1), 28–29. <https://doi.org/10.7547/87507315-63-1-28>
- Root, M., Orien, W., Weed, G., & Hugues, R. (1971). Biomechanical examination of the foot. *Los Angeles, CA: Clinical Biomechanics Corp.*

- Rose, G., Welton, E., & Marshall, T. (1985). The diagnosis of flat foot in the child. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 67-B(1), 71–78.  
<https://doi.org/10.1302/0301-620X.67B1.3968149>
- Rosenbloom, K. B. (2011). Pathology-Designed Custom Molded Foot Orthoses. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 28(1), 171–187.  
<https://doi.org/10.1016/j.cpm.2010.11.001>
- Rossi, W. R., & Ferreira, J. C. (1992). Chevron osteotomy for hallux valgus. *Foot & Ankle*, 13(7), 378–381. <https://doi.org/10.1177/107110079201300702>
- Rosswurm, M. A., & Larrabee, J. H. (1999). A model for change to evidence-based practice. *Image--the Journal of Nursing Scholarship*, 31(4), 317–322.  
<https://doi.org/10.1111/j.1547-5069.1999.tb00510.x>
- Roukis, T. S., & Hurlless, J. S. (1996). The hallucal interphalangeal sesamoid. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 35(4), 303–308; discussion 372. [https://doi.org/10.1016/s1067-2516\(96\)80078-0](https://doi.org/10.1016/s1067-2516(96)80078-0)
- Ryu, S. M., Lee, T. K., & Lee, S. H. (2022). Prevalence of flatfoot among young Korean males and the correlation among flatfoot angles measured in weight-bearing lateral radiographs. *Medicine*, 101(30), e29720.  
<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000029720>
- Sachithanandam, V., & Joseph, B. (1995). The influence of footwear on the prevalence of flat foot. A survey of 1846 skeletally mature persons. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 77(2), 254–257.
- Sackett, D. L. (1997). Evidence-based medicine. *Seminars in Perinatology*, 21(1), 3–5.  
[https://doi.org/10.1016/s0146-0005\(97\)80013-4](https://doi.org/10.1016/s0146-0005(97)80013-4)
- Sackett, D. L., Rosenberg, W. M. C., Gray, J. A. M., Haynes, R. B., & Richardson, W. S. (1996). Evidence based medicine: What it is and what it isn't. *BMJ*, 312(7023), 71–72.  
<https://doi.org/10.1136/bmj.312.7023.71>
- Sahenk, Z., & Chen, L. (1998). *Abnormalities in the axonal cytoskeleton induced by a connexin32 mutation in nerve xenografts*. 11.
- Salinas-Torres, V. M., Salinas-Torres, R. A., Carranza-García, L. E., Herrera-Orozco, J., & Tristán-Rodríguez, J. L. (2023). Prevalence and Clinical Factors Associated With Pes Planus Among Children and Adults: A Population-Based Synthesis and Systematic Review. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 62(5), 899–903.  
<https://doi.org/10.1053/j.jfas.2023.05.007>
- Saltzman, C. L., Nawoczenski, D. A., & Talbot, K. D. (1995). Measurement of the medial longitudinal arch. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76(1), 45–49.  
[https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(95\)80041-7](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(95)80041-7)
- Sammarco, V. J., Cuttica, D. J., & Sammarco, J. G. (2010). Lasso Stitch with Peroneal Retinaculoplasty for Repair of Fractured Os Peroneum: A Report of Two Cases. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 468(4), 1012–1017.  
<https://doi.org/10.1007/s11999-009-0822-x>
- Sammarco, V. J., & Nichols, R. (2005). Orthotic Management for Disorders of the Hallux. *Foot and Ankle Clinics*, 10(1), 191–209. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2004.09.003>
- Sánchez-Gómez, R., López-Alcorocho, J. M., Núñez-Fernández, A., González Fernández, M. L., Martínez-Sebastián, C., Ortuño-Soriano, I., Zaragoza-García, I., & Gómez-Carrión, Á. (2023). Morton's Extension on Hallux Rigidus Pathology. *Prosthesis*, 5(1), 251–263. <https://doi.org/10.3390/prosthesis5010019>
- Sánchez-Rodríguez, R., Martínez-Nova, A., Escamilla-Martínez, E., & Pedrera-Zamorano, J. D. (2012). Can the Foot Posture Index or their individual criteria predict dynamic

- plantar pressures? *Gait & Posture*, 36(3), 591–595.  
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.05.024>
- Saro, C., Jensen, I., Lindgren, U., & Felländer-Tsai, L. (2007). Quality-of-life outcome after hallux valgus surgery. *Quality of Life Research*, 16(5), 731–738.  
<https://doi.org/10.1007/s11136-007-9192-6>
- Sautreuil, P., Delorme, D., Baron, A., Mane, M., Missaoui, B., & Thoumie, P. (2017). Maladie de Charcot-Marie-Tooth: Éléments de rééducation fonctionnelle, kinésithérapie, ergothérapie. *médecine/sciences*, 33, 49–54.  
<https://doi.org/10.1051/medsci/201733s110>
- Sautreuil, P., Mane, M., Missaoui, B., Bendaya, S., & Thoumie, P. (2016). Premiers chaussages orthétiques dans la maladie de Charcot-Marie-Tooth. *médecine/sciences*, 32, 17–21. <https://doi.org/10.1051/medsci/201632s206>
- Scheffers, G., Hiller, C., Refshauge, K., & Burns, J. (2012). Prescription of foot and ankle orthoses for children with Charcot–Marie–Tooth disease: A review of the evidence. *Physical Therapy Reviews*, 17(2), 79–90.  
<https://doi.org/10.1179/1743288X11Y.0000000052>
- Schnepf, J. (1979). *Le pied creux essentiel. Rappel anatomo-clinique. Méthodes et indications thérapeutiques*. Cahiers d’enseignement de la SOFCOT n°10; Paris, Expansion Scientifique Française 73-82.
- Schrier, J. C. M., Palmen, L. N., Verheyen, C. C. P. M., Jansen, J., & Koëter, S. (2015). Patient-reported outcome measures in hallux valgus surgery. A review of literature. *Foot and Ankle Surgery*, 21(1), 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2014.11.004>
- Schuh, R., Hofstaetter, S. G., Adams, S. B., Pichler, F., Kristen, K.-H., & Trnka, H.-J. (2009). Rehabilitation After Hallux Valgus Surgery: Importance of Physical Therapy to Restore Weight Bearing of the First Ray During the Stance Phase. *Physical Therapy*, 89(9), 934–945. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080375>
- Schut, H. A., & Stam, H. J. (1994). Goals in rehabilitation teamwork. *Disability and Rehabilitation*, 16(4), 223–226. <https://doi.org/10.3109/09638289409166616>
- Schwend, R. M., & Drennan, J. C. (2003). Cavus Foot Deformity in Children: *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 11(3), 201–211.  
<https://doi.org/10.5435/00124635-200305000-00007>
- Seaman, T. J., & Ball, T. A. (2022). Pes Cavus. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556016/>
- Sécurité Sociale - L’Assurance Maladie. (2022). *Liste des Produits et des Prestations (LPP) de l’Assurance Maladie*.  
[http://www.codage.ext.cnamts.fr/codif/tips//chapitre/index\\_chap.php?p\\_ref\\_menu\\_cod e=1&p\\_site=AMELI](http://www.codage.ext.cnamts.fr/codif/tips//chapitre/index_chap.php?p_ref_menu_cod e=1&p_site=AMELI)
- Seelig, W. (1953). Studies in the history of chiropody, the beginnings of chiropody in England, notes on seventeenth century chiropodists. *The Chiropodist*, 8, 381–397.
- Sell, K. E., Verity, T. M., Worrell, T. W., Pease, B. J., & Wigglesworth, J. (1994). Two Measurement Techniques for Assessing Subtalar Joint Position: A Reliability Study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 19(3), 162–167.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.1994.19.3.162>
- Seringe, R., Besse, J.-L., & Wicart, P. (2010). *Les déformations du pied de l’enfant et de l’adulte: À l’exclusion de l’avant-pied*. Elsevier Masson.
- Seymour, R. (2002). *Prosthetics and orthotics: Lower limb and spinal*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Shakkeed, R., McDonald, E., Sutton, R., Lynch, M.-K., Nicholson, K., & Raikin, S. M. (2018). Influence of Depressive Symptoms on Hallux Valgus Surgical Outcomes. *Foot & Ankle International*, 39(7), 795–800. <https://doi.org/10.1177/1071100718762137>

- Sheehan, C., & Figgins, E. (2017). A comparison of mechanical properties between different percentage layups of a single-style carbon fibre ankle foot orthosis. *Prosthetics & Orthotics International*, *41*(4), 364–372. <https://doi.org/10.1177/0309364616652015>
- Shirzad, K., Kiesau, C. D., DeOrio, J. K., & Parekh, S. G. (2011). Lesser toe deformities. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, *19*(8), 505–514. <https://doi.org/10.5435/00124635-201108000-00006>
- Shrader, J. A., Popovich, J. M., Gracey, G. C., & Danoff, J. V. (2005). Navicular Drop Measurement in People With Rheumatoid Arthritis: Interrater and Intrarater Reliability. *Physical Therapy*, *85*(7), 656–664. <https://doi.org/10.1093/ptj/85.7.656>
- Shy, M. E., Blake, J., Krajewski, K., Fuerst, D. R., Laura, M., Hahn, A. F., Li, J., Lewis, R. A., & Reilly, M. (2005). Reliability and validity of the CMT neuropathy score as a measure of disability. *Neurology*, *64*(7), 1209–1214. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000156517.00615.A3>
- Simpson, S. L., Hertzog, M. S., & Barja, R. H. (1991). The plantaris tendon graft: An ultrasound study. *The Journal of Hand Surgery*, *16*(4), 708–711. [https://doi.org/10.1016/0363-5023\(91\)90198-k](https://doi.org/10.1016/0363-5023(91)90198-k)
- Singh, M. S., Khurana, A., Kapoor, D., Katekar, S., Kumar, A., & Vishwakarma, G. (2020). Minimally invasive vs open distal metatarsal osteotomy for hallux valgus—A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, *11*(3), 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.04.016>
- Singh Ospina, N., Phillips, K. A., Rodriguez-Gutierrez, R., Castaneda-Guarderas, A., Gionfriddo, M. R., Branda, M. E., & Montori, V. M. (2019). Eliciting the Patient's Agenda- Secondary Analysis of Recorded Clinical Encounters. *Journal of General Internal Medicine*, *34*(1), 36–40. <https://doi.org/10.1007/s11606-018-4540-5>
- Sinusas, K. (2012). Osteoarthritis: Diagnosis and treatment. *American Family Physician*, *85*(1), 49–56.
- Skipper, J. K., & Hughes, J. E. (1983). Podiatry: A medical care specialty in quest of full professional status and recognition. *Social Science & Medicine*, *17*(20), 1541–1548. [https://doi.org/10.1016/0277-9536\(83\)90098-9](https://doi.org/10.1016/0277-9536(83)90098-9)
- Skou, S. T., & Roos, E. M. (2019). Physical therapy for patients with knee and hip osteoarthritis: Supervised, active treatment is current best practice. *Clinical and Experimental Rheumatology*, *37 Suppl 120*(5), 112–117.
- Skre, H. (1974). Genetic and clinical aspects of Charcot-Marie-Tooth's disease. *Clinical Genetics*, *6*(2), 98–118. <https://doi.org/10.1111/j.1399-0004.1974.tb00638.x>
- Sman, A. D., Hackett, D., Fiatarone Singh, M., Fornusek, C., Menezes, M. P., & Burns, J. (2015). Systematic review of exercise for Charcot-Marie-Tooth disease: Systematic review of exercise for Charcot-Marie-Tooth. *Journal of the Peripheral Nervous System*, *20*(4), 347–362. <https://doi.org/10.1111/jns.12116>
- Smith, R. W., Reynolds, J. C., & Stewart, M. J. (1984). Hallux Valgus Assessment: Report of Research Committee of American Orthopaedic Foot and Ankle Society. *Foot & Ankle*, *5*(2), 92–103. <https://doi.org/10.1177/107110078400500208>
- Smith, S. E., Landorf, K. B., Butterworth, P. A., & Menz, H. B. (2012). Scarf versus chevron osteotomy for the correction of 1-2 intermetatarsal angle in hallux valgus: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, *51*(4), 437–444. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2012.02.016>
- Smyth, N. A., & Aiyer, A. A. (2018). Introduction: Why Are There so Many Different Surgeries for Hallux Valgus? *Foot and Ankle Clinics*, *23*(2), 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2018.01.001>

- Sneyers, C. J. L., Lysens, R., Feys, H., & Andries, R. (1995). Influence of Malalignment of Feet on the Plantar Pressure Pattern in Running. *Foot & Ankle International*, 16(10), 624–632. <https://doi.org/10.1177/107110079501601008>
- Snijders, G., Den Broeder, A., Van Riel, P., Straten, V., De Man, F., Van Den Hoogen, F., Van Den Ende, C., & the NOAC study group. (2011). Evidence-based tailored conservative treatment of knee and hip osteoarthritis: Between knowing and doing. *Scandinavian Journal of Rheumatology*, 40(3), 225–231. <https://doi.org/10.3109/03009742.2010.530611>
- Sobel, E., & Levitz, S. (1997). Reappraisal of the negative impression cast and the subtalar joint neutral position. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 87(1), 32–33. <https://doi.org/10.7547/87507315-87-1-32>
- Sobel, E., Levitz, S., Caselli, M., Brentnall, Z., & Tran, M. Q. (1999). Natural History of the Rearfoot Angle: Preliminary Values in 150 Children. *Foot & Ankle International*, 20(2), 119–125. <https://doi.org/10.1177/107110079902000209>
- Sobel, M., Levy, M. E., & Bohne, W. H. (1990). Congenital variations of the peroneus quartus muscle: An anatomic study. *Foot & Ankle*, 11(2), 81–89. <https://doi.org/10.1177/107110079001100204>
- Sobel, M., Pavlov, H., Geppert, M. J., Thompson, F. M., DiCarlo, E. F., & Davis, W. H. (1994). Painful os peroneum syndrome: A spectrum of conditions responsible for plantar lateral foot pain. *Foot & Ankle International*, 15(3), 112–124. <https://doi.org/10.1177/107110079401500306>
- Song, J., Hillstrom, H., Secord, D., & Levitt, J. (1996). Foot type biomechanics. Comparison of planus and rectus foot types. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 86(1), 16–23. <https://doi.org/10.7547/87507315-86-1-16>
- Sookur, P. A., Naraghi, A. M., Bleakney, R. R., Jalan, R., Chan, O., & White, L. M. (2008). Accessory muscles: Anatomy, symptoms, and radiologic evaluation. *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 28(2), 481–499. <https://doi.org/10.1148/rg.282075064>
- Soroceanu, A., Ching, A., Abdu, W., & McGuire, K. (2012). Relationship Between Preoperative Expectations, Satisfaction, and Functional Outcomes in Patients Undergoing Lumbar and Cervical Spine Surgery: A Multicenter Study. *Spine*, 37(2), E103–E108. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182245c1f>
- Sorto, L. A., Balding, M. G., Weil, L. S., & Smith, S. D. (1992). Hallux abductus interphalangeus. Etiology, x-ray evaluation and treatment. 1975. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 82(2), 85–97. <https://doi.org/10.7547/87507315-82-2-85>
- Souza Júnior, E. Á., Vieira, M. C. T., Baumfeld, T. S., & Soares Baumfeld, D. (2020). Patients' perspective on the surgical treatment of hallux valgus. *Journal of the Foot & Ankle*, 14(1), 36–40. <https://doi.org/10.30795/jfootankle.2020.v14.1166>
- Spina, A. A. (2007). The plantaris muscle: Anatomy, injury, imaging, and treatment. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 51(3), 158–165.
- Spooner, S. K. (1997). *Predictors of Hallux Valgus: A study of heritability*. Doctoral Thesis - University of Leicester.
- Staheli, L. T., Chew, D. E., & Corbett, M. (1987). The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 69(3), 426–428.
- Stainsby, G. D. (1997). Pathological anatomy and dynamic effect of the displaced plantar plate and the importance of the integrity of the plantar plate-deep transverse metatarsal ligament tie-bar. *Ann R Coll Surg Engl* 1997, 79: 58-68.



- Steinberg, N., Finestone, A., Noff, M., Zeev, A., & Dar, G. (2013). Relationship between lower extremity alignment and hallux valgus in women. *Foot & Ankle International*, 34(6), 824–831. <https://doi.org/10.1177/1071100713478407>
- Stiglitz, Y. (2017). Démarche étiologique devant une griffe d'orteil. *Revue du Podologue*, 13(75), 8–11. <https://doi.org/10.1016/j.revpod.2017.04.003>
- Stockley, I., Betts, R. P., Rowley, D. I., Getty, C. J., & Duckworth, T. (1990). The importance of the valgus hindfoot in forefoot surgery in rheumatoid arthritis. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 72(4), 705–708. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.72B4.2380232>
- Strydom, A., Saragas, N. P., & Ferrao, P. N. F. (2017). A radiographic analysis of the contribution of hallux valgus interphalangeus to the total valgus deformity of the hallux. *Foot and Ankle Surgery: Official Journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*, 23(1), 27–31. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2015.12.005>
- Sun, P.-C., Shih, S.-L., Chen, Y.-Y., Lin, K.-W., & Chen, C.-S. (2021). Evaluation of Patients with Hallux Valgus Wearing a 3D-Printed Orthosis during Walking. *Applied Sciences*, 11(3), 1275. <https://doi.org/10.3390/app11031275>
- Sur, R., & Dahm, P. (2011). History of evidence-based medicine. *Indian Journal of Urology*, 27(4), 487. <https://doi.org/10.4103/0970-1591.91438>
- Swinnen, E., & Kerckhofs, E. (2015). Compliance of patients wearing an orthotic device or orthopedic shoes: A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19(4), 759–770. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2015.06.008>
- Tai, C., Ridgeway, S., Ramachandran, M., Ng, V., Devic, N., & Singh, D. (2008). Patient Expectations for Hallux Valgus Surgery. *Journal of Orthopaedic Surgery*, 16(1), 91–95. <https://doi.org/10.1177/230949900801600121>
- Talbot, K. D., & Saltzman, C. L. (1998). Assessing sesamoid subluxation: How good is the AP radiography. *Foot & Ankle International*, 19(8), 547–554. <https://doi.org/10.1177/107110079801900808>
- Tanaka, Y., Takakura, Y., Fujii, T., Kumai, T., & Sugimoto, K. (1999). Hindfoot alignment of hallux valgus evaluated by a weightbearing subtalar x-ray view. *Foot & Ankle International*, 20(10), 640–645. <https://doi.org/10.1177/107110079902001005>
- Tassignon, B., Verschueren, J., Delahunt, E., Smith, M., Vicenzino, B., Verhagen, E., & Meeusen, R. (2019). Criteria-Based Return to Sport Decision-Making Following Lateral Ankle Sprain Injury: A Systematic Review and Narrative Synthesis. *Sports Medicine*, 49(4), 601–619. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01071-3>
- Tenenbaum, S. A., Herman, A., Bruck, N., Bariteau, J. T., Thein, R., & Coifman, O. (2018). Foot Width Changes Following Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle International*, 39(11), 1272–1277. <https://doi.org/10.1177/1071100718783458>
- Tenenbaum, S., Hershkovich, O., Gordon, B., Bruck, N., Thein, R., Derazne, E., Tzur, D., Shamiss, A., & Afek, A. (2013). Flexible Pes Planus in Adolescents: Body Mass Index, Body Height, and Gender—An Epidemiological Study. *Foot & Ankle International*, 34(6), 811–817. <https://doi.org/10.1177/1071100712472327>
- Terwee, C. B., Bot, S. D. M., de Boer, M. R., van der Windt, D. A. W. M., Knol, D. L., Dekker, J., Bouter, L. M., & de Vet, H. C. W. (2007). Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. *Journal of Clinical Epidemiology*, 60(1), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2006.03.012>
- Tétrault, S., & Guillez, P. (2019). *Guide pratique de recherche en réadaptation*.
- Teyhen, D. S., Stoltenberg, B. E., Eckard, T. G., Doyle, P. M., Boland, D. M., Feldtmann, J. J., McPoil, T., Christie, D. S., Molloy, J. M., & Goffar, S. L. (2011). Static Foot Posture Associated With Dynamic Plantar Pressure Parameters. *Journal of*

- Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 41(2), 100–107.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2011.3412>
- The American College of Foot & Ankle Orthopedics & Medicine. (2011). *Prescription Custom Foot Orthoses Practice Guidelines*.
- The College of Podiatry*. (2021). <http://www.thisispodiatry.com/#/#home>
- The Project 2000 Commission. (1986). *Comprehensive Foot Care: The Report of the National Commission on Podiatric Medicine*. Washington DC, American Podiatric Medical Association.
- Theadom, A., Roxburgh, R., MacAulay, E., O’Grady, G., Burns, J., Parmar, P., Jones, K., & Rodrigues, M. (2019). Prevalence of Charcot-Marie-Tooth disease across the lifespan: A population-based epidemiological study. *BMJ Open*, 9(6), e029240.  
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-029240>
- Thomas, J. L., Kunkel, M. W., Lopez, R., & Sparks, D. (2006). Radiographic Values of the Adult Foot in a Standardized Population. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 45(1), 3–12. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2005.10.014>
- Thordarson, D. B., Rudicel, S. A., Ebramzadeh, E., & Gill, L. H. (2001). Outcome Study of Hallux Valgus Surgery—An AOFAS Multi-Center Study. *Foot & Ankle International*, 22(12), 956–959. <https://doi.org/10.1177/107110070102201205>
- Thordarson, D. B., Schmotzer, H., Chon, J., & Peters, J. (1995). Dynamic support of the human longitudinal arch. A biomechanical evaluation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 316, 165–172.
- Thordarson, D., Ebramzadeh, E., Moorthy, M., Lee, J., & Rudicel, S. (2005). Correlation of Hallux Valgus Surgical Outcome With AOFAS Forefoot Score and Radiological Parameters. *Foot & Ankle International*, 26(2), 122–127.  
<https://doi.org/10.1177/107110070502600202>
- Tong, J. W. K., & Kong, P. W. (2016). Medial Longitudinal Arch Development of Children Aged 7 to 9 Years: Longitudinal Investigation. *Physical Therapy*, 96(8), 1216–1224.  
<https://doi.org/10.2522/ptj.20150192>
- Tooth, Howard Henry. (1886). *The peroneal type of progressive muscular atrophy*.
- Torkki, M., Malmivaara, A., Seitsalo, S., Hoikka, V., Laippala, P., & Paavolainen, P. (2001). Surgery vs Orthosis vs Watchful Waiting for Hallux Valgus: A Randomized Controlled Trial. *JAMA*, 285(19), 2474. <https://doi.org/10.1001/jama.285.19.2474>
- Troiano, G., Nante, N., & Citarelli, G. L. (2017). Pes planus and pes cavus in Southern Italy: A 5 years study. *Annali Dell’Istituto Superiore Di Sanita*, 53(2), 142–145.  
[https://doi.org/10.4415/ANN\\_17\\_02\\_10](https://doi.org/10.4415/ANN_17_02_10)
- Tynan, M. C., Klenerman, L., Helliwell, T. R., Edwards, R. H. T., & Hayward, M. (1992). Investigation of Muscle Imbalance in the Leg in Symptomatic Forefoot Pes Cavus: A Multidisciplinary Study. *Foot & Ankle*, 13(9), 489–501.  
<https://doi.org/10.1177/107110079201300901>
- Vallat, J.-M., Tazir, M., Magy, L., Le Masson, G., & Mathis, S. (2018). The classification of Charcot-Marie-Tooth diseases, a never-ending story: CMT4? *Brain*.  
<https://doi.org/10.1093/brain/awy207>
- Van Boerum, D. H., & Sangeorzan, B. J. (2003). Biomechanics and pathophysiology of flat foot. *Foot and Ankle Clinics*, 8(3), 419–430. [https://doi.org/10.1016/S1083-7515\(03\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S1083-7515(03)00084-6)
- van der Worp, M. P., de Wijer, A., Staal, J. B., & Nijhuis- van der Sanden, M. W. G. (2014). Reproducibility of and sex differences in common orthopaedic ankle and foot tests in runners. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 15, 171. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-171>

- van Melick, N., Meddeler, B. M., Hoogeboom, T. J., Nijhuis-van der Sanden, M. W. G., & van Cingel, R. E. H. (2017). How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PloS One*, *12*(12), e0189876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189876>
- Vanek, J., Janda, J., Amblerova, V., & Losan, F. (1986). Freeman-Sheldon syndrome: A disorder of congenital myopathic origin? *Journal of Medical Genetics*, *23*(3), 231–236. <https://doi.org/10.1136/jmg.23.3.231>
- Verdu Roman, C., Martinez Gimenez, E., Bustamante Suarez de Puga, D., Mas Martinez, J., Morales Santias, M., & Sanz-Reig, J. (2021). Hallux valgus with and without metatarsalgia in women: A matched-cohort study of plantar pressure measurements. *Indian Journal of Orthopaedics*, *55*(S2), 436–444. <https://doi.org/10.1007/s43465-021-00416-3>
- Verdu-Roman, C., Sanz-Reig, J., Martinez-Gimenez, E., Carratala-Munuera, C., Lopez-Pineda, A., Quesada, J. A., Gil-Guillen, V. F., & Orozco-Beltran, D. (2020). Plantar pressure improvement in moderate hallux valgus with modified chevron osteotomy: Clinical and radiographic outcomes. *Foot and Ankle Surgery*, *26*(2), 205–208. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2019.02.006>
- Verdu-Roman, C., Sanz-Reig, J., Martinez-Gimenez, E., Orozco-Beltran, D., Quesada, J. A., Lopez-Pineda, A., Gil-Guillen, V. F., & Carratala-Munuera, C. (2019). Association between preoperative dynamic plantar pressures and clinical outcomes at 6 months after hallux valgus surgery. *Fuß & Sprunggelenk*, *17*(2), 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.fuspru.2019.01.001>
- Vieira, A., Monteiro, A., Nacur, F., Coutinho, R., Direito, T., & Torres, D. (2018). Prevalence and Topography of the Peroneus tertius Muscle: A Study of Human Cadavers. *Journal of Morphological Sciences*, *35*(02), 106–109. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1667314>
- Vinci, P., & Gargiulo, P. (2008). Poor compliance with ankle-foot-orthoses A in Charcot-Marie-Tooth disease. *EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICAL AND REHABILITATION MEDICINE*, *44*(1), 5.
- Vinci, P., Paoloni, M., Ioppolo, F., Gargiulo, P., & Santilli, V. (2010). Gait analysis in a patient with severe Charcot-Marie-Tooth disease: A case study with a new orthotic device for footdrop. *EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICAL AND REHABILITATION MEDICINE*, *46*(3), 7.
- Vinci, P., & Perelli, S. L. (2002). Footdrop, foot rotation, and plantarflexor failure in Charcot-Marie-Tooth disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *83*(4), 513–516. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.31174>
- Vinicombe, A., Raspovic, A., & Menz, H. B. (2001). Reliability of Navicular Displacement Measurement as a Clinical Indicator of Foot Posture. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *91*(5), 262–268. <https://doi.org/10.7547/87507315-91-5-262>
- Waddell, G. (1987). 1987 Volvo Award in Clinical Sciences: A New Clinical Model for the Treatment of Low-Back Pain: *Spine*, *12*(7), 632–644. <https://doi.org/10.1097/00007632-198709000-00002>
- Waddell, G. (1992). Biopsychosocial analysis of low back pain. *Baillière's Clinical Rheumatology*, *6*(3), 523–557. [https://doi.org/10.1016/S0950-3579\(05\)80126-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3579(05)80126-8)
- Walbran, M., Turner, K., & McDaid, A. J. (2016). Customized 3D printed ankle-foot orthosis with adaptable carbon fibre composite spring joint. *Cogent Engineering*, *3*(1), 1227022. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1227022>
- Waldecker, U. (2002). Metatarsalgia in hallux valgus deformity: A pedographic analysis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, *41*(5), 300–308. [https://doi.org/10.1016/S1067-2516\(02\)80048-5](https://doi.org/10.1016/S1067-2516(02)80048-5)

- Walker, M., & Fan, H.-J. (1998). Relationship Between Foot Pressure Pattern and Foot Type. *Foot & Ankle International*, *19*(6), 379–383. <https://doi.org/10.1177/107110079801900607>
- Wang, J., Qiao, L., Yu, L., Wang, Y., Taiar, R., Zhang, Y., & Fu, W. (2021). Effect of Customized Insoles on Gait in Post-Stroke Hemiparetic Individuals: A Randomized Controlled Trial. *Biology*, *10*(11), 1187. <https://doi.org/10.3390/biology10111187>
- Wang, Y., Chen, Z., Wu, Z., Li, J., Li, C., Yang, J., Chen, W., Ye, Z., Shen, X., Jiang, T., Liu, W., & Xu, X. (2023). Reliability of foot posture index (FPI-6) for evaluating foot posture in patients with knee osteoarthritis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *11*, 1103644. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1103644>
- Ware, J. E., & work(s):, C. D. S. R. (1992). The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36): I. Conceptual Framework and Item Selection. *Medical Care*, *30*(6), 473–483.
- Waterval, N. F. J., Brehm, M.-A., Ploeger, H. E., Nollet, F., & Harlaar, J. (2018). Compensations in lower limb joint work during walking in response to unilateral calf muscle weakness. *Gait & Posture*, *66*, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.08.016>
- Wegener, C., Wegener, K., Smith, R., Schott, K.-H., & Burns, J. (2016). Biomechanical effects of sensorimotor orthoses in adults with Charcot-Marie-Tooth disease. *Prosthetics and Orthotics International*, *40*(4), 436–446. <https://doi.org/10.1177/0309364615579318>
- Weil, L. S. (2000). Scarf osteotomy for correction of hallux valgus. Historical perspective, surgical technique, and results. *Foot and Ankle Clinics*, *5*(3), 559–580.
- Weir, J. P. (2005). Quantifying Test-Retest Reliability Using the Intraclass Correlation Coefficient and the SEM. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(1), 231. <https://doi.org/10.1519/15184.1>
- Welton, E. A. (1992). The Harris and Beath Footprint: Interpretation and Clinical Value. *Foot & Ankle*, *13*(8), 462–468. <https://doi.org/10.1177/107110079201300806>
- Wen, J., Ding, Q., Yu, Z., Sun, W., Wang, Q., & Wei, K. (2012). Adaptive changes of foot pressure in hallux valgus patients. *Gait & Posture*, *36*(3), 344–349. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.03.030>
- Wijma, A. J., Van Wilgen, C. P., Meeus, M., & Nijs, J. (2016). Clinical biopsychosocial physiotherapy assessment of patients with chronic pain: The first step in pain neuroscience education. *Physiotherapy Theory and Practice*, *32*(5), 368–384. <https://doi.org/10.1080/09593985.2016.1194651>
- Wild, D., Grove, A., Martin, M., Eremenco, S., McElroy, S., Verjee-Lorenz, A., & Erikson, P. (2005). Principles of Good Practice for the Translation and Cultural Adaptation Process for Patient-Reported Outcomes (PRO) Measures: Report of the ISPOR Task Force for Translation and Cultural Adaptation. *Value in Health*, *8*(2), 94–104. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.2005.04054.x>
- Wilkinson, A. N., & Maher, A. J. (2011). Patient expectations of podiatric surgery in the United Kingdom. *Journal of Foot and Ankle Research*, *4*(1), 27. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-27>
- Williams, A. C. de C., & Craig, K. D. (2016). Updating the definition of pain. *Pain*, *157*(11), 2420–2423. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000613>
- Williams, D. S., & McClay, I. S. (2000). Measurements Used to Characterize the Foot and the Medial Longitudinal Arch: Reliability and Validity. *Physical Therapy*, *80*(9), 864–871. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.9.864>
- Wilson, D. W. (1980). Treatment of hallux valgus and bunions. *British Journal of Hospital Medicine*, *24*(6), 548–549.

- Wirth, S. H., Renner, N., Niehaus, R., Farei-Campagna, J., Deggeller, M., Scheurer, F., Palmer, K., & Jentsch, T. (2019). The influence of obesity and gender on outcome after reversed L-shaped osteotomy for hallux valgus. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 450. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2823-6>
- Witvrouw, E., Vanden Borre, K., Willems, T. M., Huysmans, J., Broos, E., & De Clercq, D. (2006). The Significance of Peroneus Tertius Muscle in Ankle Injuries: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(7), 1159–1163. <https://doi.org/10.1177/0363546505286021>
- Woei Chyn Chu, Shin Hwa Lee, Chu, W., Tzyy-Juan Wang, & Maw-Chang Lee. (1995). The use of arch index to characterize arch height: A digital image processing approach. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 42(11), 1088–1093. <https://doi.org/10.1109/10.469375>
- Wong, L., Hunt, A., Burns, J., & Crosbie, J. (2008). Effect of Foot Morphology on Center-of-Pressure Excursion During Barefoot Walking. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 98(2), 112–117. <https://doi.org/10.7547/0980112>
- Wong-Chung, J., Arneill, M., & Lloyd, R. (2018). Beware the hallucal interphalangeal joint sesamoid in first metatarsophalangeal joint arthrodesis. *Foot and Ankle Surgery*, 24(3), e18–e22. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.04.001>
- Yammine, K. (2015). The accessory peroneal (fibular) muscles: Peroneus quartus and peroneus digiti quinti. A systematic review and meta-analysis. *Surgical and Radiologic Anatomy: SRA*, 37(6), 617–627. <https://doi.org/10.1007/s00276-015-1438-3>
- Yammine, K., & Erić, M. (2017). The Fibularis (Peroneus) Tertius Muscle in Humans: A Meta-Analysis of Anatomical Studies with Clinical and Evolutionary Implications. *BioMed Research International*, 2017, 6021707. <https://doi.org/10.1155/2017/6021707>
- Yang, J., Ou, Z., Mao, Z., Wang, Y., Zhong, Y., Dong, W., Shen, Z., & Chen, Z. (2022). Reliability and validity of Foot Posture Index (FPI-6) for evaluating foot posture in participants with low back pain. *Scientific Reports*, 12(1), 21168. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22220-1>
- Yanklowitz, B. A., & Jaworek, T. A. (1975). The frequency of the interphalangeal sesamoid of the hallux. A retrospective roentgenographic study. *Journal of the American Podiatry Association*, 65(11), 1058–1063. <https://doi.org/10.7547/87507315-65-11-1058>
- Yavuz, M., Hetherington, V. J., Botek, G., Hirschman, G. B., Bardsley, L., & Davis, B. L. (2009). Forefoot plantar shear stress distribution in hallux valgus patients. *Gait & Posture*, 30(2), 257–259. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.05.002>
- Yildirim, Y., Cabukoglu, C., Erol, B., & Esemeli, T. (2005). Effect of Metatarsophalangeal Joint Position on the Reliability of the Tangential Sesamoid View in Determining Sesamoid Position. *Foot & Ankle International*, 26(3), 247–250. <https://doi.org/10.1177/107110070502600311>
- Yiu, E. M., Burns, J., Ryan, M. M., & Ouvrier, R. A. (2008). Neurophysiologic abnormalities in children with Charcot-Marie-Tooth disease type 1A. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 13(3), 236–241. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2008.00182.x>
- Zafar, A. Q., Zamani, R., & Akrami, M. (2020). The effectiveness of foot orthoses in the treatment of medial knee osteoarthritis: A systematic review. *Gait & Posture*, 76, 238–251. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.12.016>
- Zhang, L., Wang, J., Liu, J., & Luo, J. (2020). Classification of Hallucal Sesamoid Bone Correlated with Hallux Valgus Severity. *BioMed Research International*, 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/9658916>

- Zhang, X., Lam, W.-K., & Vanwanseele, B. (2022). Dose-response effects of forefoot and arch orthotic components on the center of pressure trajectory during running in pronated feet. *Gait & Posture*, *92*, 212–217. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.11.033>
- Zuccarino, R., Anderson, K. M., Shy, M. E., & Wilken, J. M. (2021). Satisfaction with ankle foot orthoses in individuals with Charcot-Marie-Tooth disease. *Muscle & Nerve*, *63*(1), 40–45. <https://doi.org/10.1002/mus.27027>
- Zuil-Escobar, J. C., Martínez-Cepa, C. B., Martín-Urrialde, J. A., & Gómez-Conesa, A. (2018). Medial Longitudinal Arch: Accuracy, Reliability, and Correlation Between Navicular Drop Test and Footprint Parameters. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, *41*(8), 672–679. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2018.04.001>
- Zuil-Escobar, J. C., Martínez-Cepa, C. B., Martín-Urrialde, J. A., & Gómez-Conesa, A. (2019). Evaluating the Medial Longitudinal Arch of the Foot: Correlations, Reliability, and Accuracy in People With a Low Arch. *Physical Therapy*, *99*(3), 364–372. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzy149>
- Zwiers, R., Baltes, T. P. A., Opdam, K. T. M., Wiegerinck, J. I., & Van Dijk, C. N. (2018). Prevalence of Os Trigonum on CT Imaging. *Foot & Ankle International*, *39*(3), 338–342. <https://doi.org/10.1177/1071100717740937>
- Zych, D. (2007). The Journal of the American Podiatric Medical Association. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, *97*(4), 6.

# Annexes

---

## **Annexe A. Chapitre 5 : Épistémologie de la profession de « Pédicure-Podologue »**

Ce chapitre relatif à l'épistémologie de la profession a été rédigé pour répondre à une demande de l'ARS Île-De-France, qui a contribué au financement de mes travaux de recherche dans le but de faire émerger le statut d'enseignant-chercheur biappartenant pour les professionnels paramédicaux.

L'évolution historique de la profession a permis, année après année, au pédicure-podologue de légitimer son rôle à jouer dans la prise en charge des déformations du pied dans les domaines de l'orthopédie et de la neuro-orthopédie. Il peut aujourd'hui revendiquer de faire partie de l'équipe interprofessionnelle participant à l'évaluation, au diagnostic, et à la prise en charge des pathologies déformantes du pied. Il est le spécialiste de la réalisation des orthèses plantaires, dont la prescription vient de lui être récemment autorisée.

### **1. Introduction**

Les termes de « Podiatrie », « Chiropodie », « Pédicurie-Podologie », semblent à ce jour faire référence à la même profession : celle d'un spécialiste dans la prise en charge des troubles du pied. Le champ d'exercices varie cependant en fonction des pays. Cela semble fortement corrélé au niveau d'exigences des études devant être entreprises pour amener à devenir l'un de ces praticiens. Afin de comprendre les modalités d'exercice en France de la profession de pédicure-podologue, il semble nécessaire de retracer l'histoire de cette profession et d'aborder les différents modes d'exercices à l'international. La première partie s'intéressera à l'évolution de la profession aux États-Unis et au Royaume-Uni. La seconde partie portera sur l'histoire et l'évolution de la formation au métier de pédicure-podologue en France.

Historiquement, les premières références aux soins des pieds, à la pédicurie semblent dater de l'Antiquité. Des illustrations dans des tombes égyptiennes, certaines pages du papyrus Ebers rédigées entre le 15<sup>e</sup> et 16<sup>e</sup> siècle avant J.-C. (Figure 1), des vestiges de prothèses d'orteils (Figure 2) (700 av. J.-C.), la Bible, les écrits de Galien ou encore les traités d'Hippocrate témoignent de l'intérêt porté aux pathologies du pied (Block, 1981).

Le métier s'est dessiné au fil des siècles, et des dissimilitudes semblent à ce jour très nettes entre pratiques outre-Atlantique, britanniques et françaises. Dans de nombreuses régions asiatiques ou du Moyen-Orient, la profession semble ne pas s'être encore développée. Bien que

possédant un tronc commun concernant le champ de compétences, les formations apportent, en fonction du pays, différentes qualifications et de fait, une reconnaissance inégale.

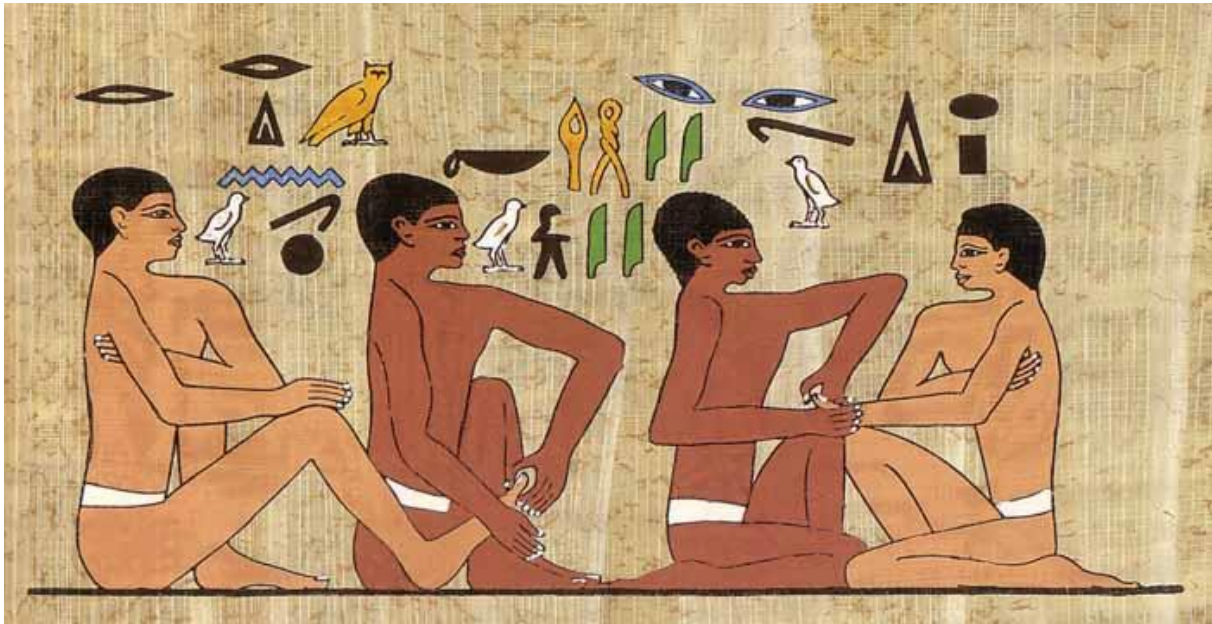


Figure 1. Papyrus Ebers



Figure 2. Prothèse Moire 1000 av. J.-C.

## 2. La formation anglophone : de la « Chiropodie à la Podiatrie »

### 2.1 Le développement de la profession au Royaume-Uni



Le terme de « chiropodiste » au Royaume-Uni daterait du 18<sup>e</sup> siècle, et ferait référence à un praticien ayant pour but le soulagement des symptômes liés aux affections de la peau et des ongles (Klenerman, 1991). Low pourrait en être à l'origine en 1785 dans la publication de son manuel de pratiques professionnelles intitulé « *Chiropodologia or, A Scientific Enquiry into the Causes of Corns, Warts, Onions, and Other Painfull or Offensive Cutaneous Excrescences* », qui ne demeure qu'une simple traduction de l'œuvre de 1781 de l'auteur français Laforest (Dagnall, 1965).

Ce terme est ainsi utilisé en 1785, trouvant sa source étymologique de chiro (main) et de pod (pied), signifiant « qui soigne le pied avec la main ». Cependant, cette appellation est concomitante avec l'apparition du terme chiropraxie (faire avec les mains) développée par Daniel David Palmer (1845-1913). Hussein associe quant à lui le terme « chiro » à chirurgie (Hussein, 1999). Il n'existe donc pas de consensus sur l'origine du terme « chiropodiste ».

En 1845 paraît un livre rédigé par Durlacher, intitulé « *A treatise on corns, bunions, the diseases of nails and the general management of feet* » (Figure 3), jugé comme fondamental pour la profession de chiropodiste. Il aurait introduit de nombreuses techniques permettant de faire de ce métier une branche médicale et chirurgicale autour du pied (Dagnall, 1987).

La chiropodie est marquée par la création en 1912 d'une association professionnelle, « *The National Society of Chiropodists* », à but de reconnaissance statutaire (Lorimer, 2012). Elle devient par la suite « *The Society of Chiropodists and Podiatrists* » en 1993, puis « *The College of Podiatry* » en 2018, actuellement la principale organisation et société savante de podiatrie au Royaume-Uni (Farndon, 2006).

Suite à la Première Guerre mondiale, des aide-soignants sont contraints de se former pour prendre en charge les blessures des pieds des soldats. L'acquisition de cette compétence les mène à exercer spécifiquement le métier de chiropodiste à la fin de la guerre, et en 1919 est ainsi créée le premier établissement d'enseignement de chiropodie, « *The School of Podiatric Medicine* », au sein du London Foot Hospital (Dagnall, 1988; Hussein, 1999). Les chiropodistes acquièrent progressivement la capacité de recevoir des patients sans orientation médicale au préalable, de diagnostic et de prescriptions de certains médicaments, et se voient référencer en 1939 au sein d'un registre des praticiens en chiropodie (Dagnall, 1985).

En 1960, le gouvernement britannique décide d'adopter de nouvelles réglementations quant aux professions paramédicales. En fonction du type d'établissement de formation fréquenté, les diplômés peuvent être agréés par l'État et se voir ouvrir les portes du secteur privé ainsi que la possibilité de travailler pour le service de santé national ; ou bien ne pas être admissible à cet

enregistrement fédéral et donc voir leur champ d'exercices limité au secteur privé (Hussein, 1999).

Dans un contexte de volonté d'ouverture des champs de compétences, l'année 1972 marque un tournant dans l'évolution de la chiropodie. Les professionnels agréés par l'État se voient ajouter le droit d'administrer des anesthésiques locaux, nécessaires à la chirurgie de la peau, l'ablation des ongles incarnés, ainsi que les matricectomies, sous condition de suivi d'une formation complémentaire (Hussein, 1999; Klenerman, 1991). Ces modifications législatives et formatives ouvrent la voie à la chirurgie podiatrique au Royaume-Uni.

En 1974 est fondée la « Podiatry Association », permettant de promouvoir des techniques chirurgicales, et offrant la possibilité de continuer à se développer en chirurgie ostéo-articulaire par formation complémentaire (Borthwick, 1997).

Cette ouverture professionnelle à l'acte chirurgical s'accompagne en 1994 d'un changement du titre professionnel. La podiatrie remplace définitivement la chiropodie (Farndon, 2006). Il s'ensuit une modification de dénomination des écoles de formation, introduisant là encore le terme de podiatrie.

Cet élargissement des champs d'actions possibles pour les professionnels a provoqué une certaine concurrence avec le corps médical, en particulier avec les chirurgiens orthopédiques et les médecins anesthésistes, ayant comme éventuelle conséquence de cloîtrer la pratique de la chirurgie podiatrique aux établissements privés (Farndon, 2006).

Grâce à une évolution politique favorable de la part du « National Health Service » du Royaume-Uni, le développement de la chirurgie podiatrique a par la suite été facilité et les praticiens podiatres ont pu intégrer le système de soins public national. L'empiétement de la podiatrie sur la spécialité de chirurgie orthopédique semble néanmoins continuer à alimenter des débats autour des limites de la profession.

À ce jour, la formation de podiatre au Royaume-Uni et en Irlande est dispensée au sein de 14 universités. Elle dure 3 ou 4 ans selon l'établissement choisi, nécessite un travail de recherche en dernière année d'étude et permet l'obtention d'un « Bachelor of Science Honours degree in Podiatry », pouvant être suivi par un « Master of Science ». Le premier stade de formation permet les chirurgies mineures de l'ongle et de la peau, nécessitant l'application d'anesthésiques locaux, en complément de la gamme thérapeutique non chirurgicale. La chirurgie complexe nécessite quant à elle une formation supplémentaire d'une durée variant entre 3 et 4 ans (Hussein, 1999). Les années d'ancienneté en tant que praticien permettent

progressivement d'obtenir des grades, tant dans la pratique publique que privée ("Colleges of Podiatry in the United Kingdom," 1995; *The College of Podiatry*, 2021).

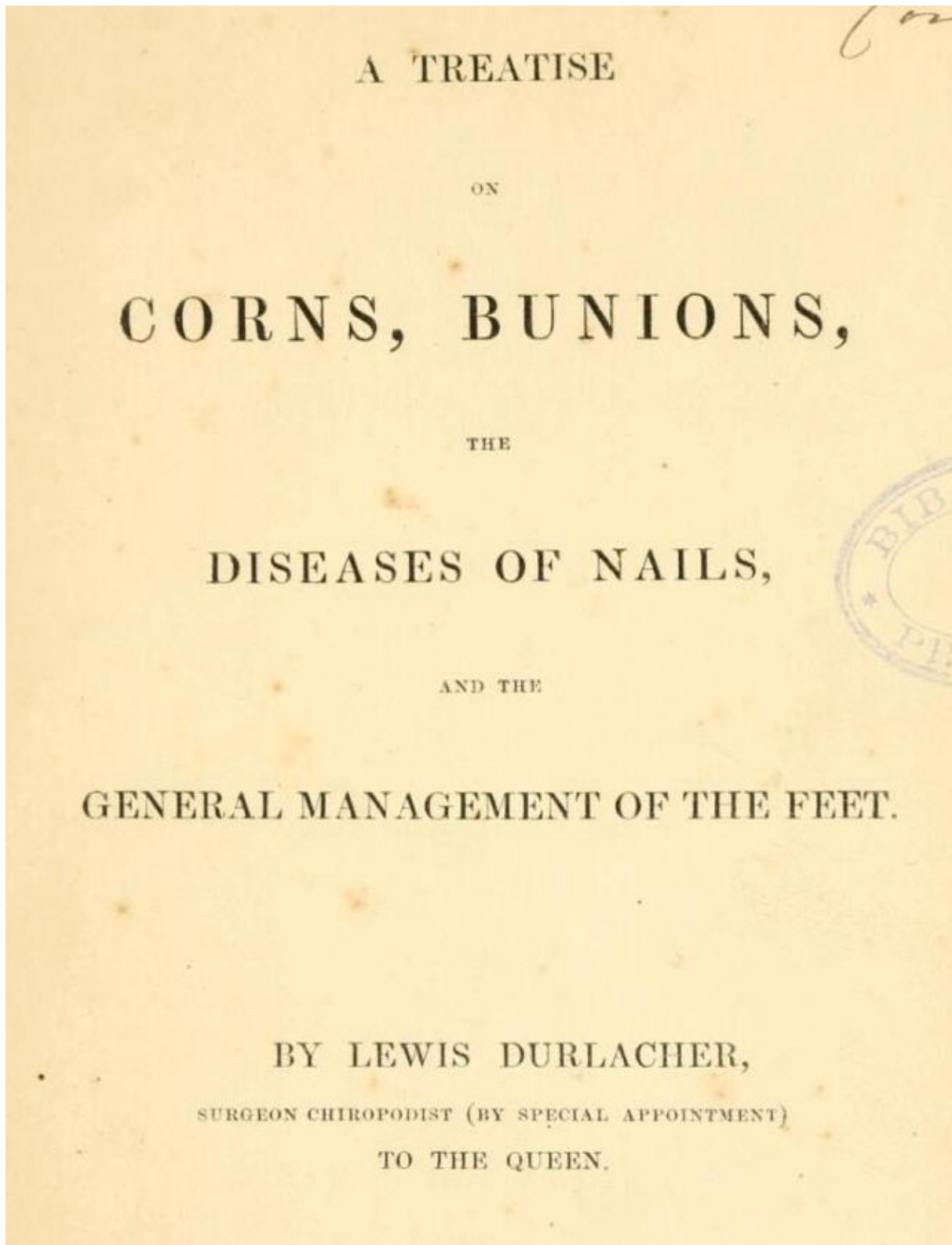


Figure 3. Livre de Durlacher, 1845

## **2.2 Le développement de la profession aux États-Unis**

À l'instar du Royaume-Uni, la chiropraxie s'est fortement développée en Amérique du Nord au cours du XX<sup>e</sup> siècle.

En 1911 est établi le premier collège de podiatrie à New York par le Dr Alfred Joseph. Il est aussi le fondateur du premier journal podiatrique au monde, « *Pedic Society Items* ». Celui-ci a pour but d'élever les normes de la profession et de créer une force unificatrice pour la population des podiatres, par la publication d'articles issus de la recherche scientifique en podiatrie (Zych, 2007). Il devient ensuite le célèbre « *Journal of the American Podiatric Medical Association* » (JAPMA) dans les années 1980, et reçoit des soumissions de publications internationales à partir de 2004, pour devenir la source d'information médicale podiatrique la plus influente au monde.

En 1912 est créée « *The National Association of Chiropodists* » lors de la signature d'une convention à Chicago (Lorimer 2012). Cependant une confusion va rapidement naître autour de la profession de chiropracteur. Le terme de « *Podiatrist* » (podiatre) est peu à peu utilisé dès 1918 pour pallier cette confusion (Skipper & Hughes, 1983). « *The National Association of Chiropodists* » devient en 1958 l'« *American Podiatry Association* » (APA), et la notion de podiatrie remplace définitivement celle de chiropraxie aux États-Unis. (Levy, 1990; Zych, 2007). Le titre de professionnel passe quant à lui de « *Doctor of Surgical Chiropody* » à « *Doctor of Podiatric Medicine* » (Gibley, 1974).

Les podiatres américains sont en lien depuis 1950 avec l'« *American Public Health Association* », organisation de santé publique la plus influente du pays, et participent ainsi à l'avancement des initiatives de santé publique (Helfand, 1998; D. R. Murphy et al., 2008). Suite à la croissance exponentielle de la médecine podiatrique, l'APA décide de créer en 1960 une commission relative à l'enseignement de la profession (Robbins et al., 2018).

L'année 1961 représente donc une date clé dans l'histoire de la médecine podiatrique outre-Atlantique. Elle correspond à l'évènement majeur qu'est la Commission Selden, relative au statut de l'enseignement au sein de la spécialité podiatrique (Levy, 1996). Cette Commission spéciale fait suite au fameux rapport de Flexner publié en 1910, et a lieu suite à la volonté et la nécessité de changements radicaux dans l'enseignement médical. Cette étape représente un

véritable catalyseur permettant l'amorce de changements quantitatifs et qualitatifs importants dans l'enseignement podiatrique. Des subventions fédérales accordées entre 1966 et 1973 aux cinq écoles de médecine podiatrique de cette époque sont notamment un moteur à cette petite révolution dans la formation au métier de podiatre (Robbins et al., 2018). Historiquement concentré sur le diagnostic et le traitement des troubles du pied et de la cheville, l'exercice de la podiatrie en milieu hospitalier peut ainsi prendre vie aux États-Unis entre 1967 et 1973. En outre, la Commission Selden contribue au placement de l'enseignement de la podiatrie sous l'égide des universités avec inclusion de la recherche financée par l'État (Flexner, 1910; D. R. Murphy et al., 2008). Cela mène à l'intégration de la profession médicale podiatrique au sein du système de soins de santé, tout en soutenant son engagement à l'égard de la recherche.

De nombreux projets d'amélioration pour la profession voient ensuite le jour pour faire progresser cette spécialité, et ceci dans le but de la hisser et la maintenir à hauteur des autres professions médicales (Curry, 1996). Une étude exhaustive d'une durée de trois ans relative au programme d'études en médecine podiatrique conduit au rapport Blauch réalisé en 1970, réunissant les plus grands professeurs du pays issus de diverses spécialités médicales, et donne alors un aperçu de la profession de podiatre aux États-Unis, tout en détaillant une série d'objectifs généraux ainsi qu'un programme idéal en médecine podiatrique qui sera à délivrer dans l'ensemble des collèges (Blauch, 1970; Levy, 1996).

Sous l'impulsion de la Commission Selden et du rapport Blauch, les 5 collèges de médecine podiatrique acceptent en 1978 d'adopter des exigences semblables à celles fixées dans toutes les facultés de médecine américaines, avec donc l'instauration du *Medical College Admission Test* (MCAT) en amont de l'intégration d'un collège podiatrique et des modifications majeures dans le programme (Levy, 1996; D. R. Murphy et al., 2008). L'ensemble de ces réformes apporte une légitimité à la profession de podiatre dans son appel à la parité avec la médecine.

Depuis cette période, la formation de podiatre correspond à un premier cycle de trois années d'études collégiales après admission en collège de podiatrie, axé sur les sciences fondamentales. Un deuxième cycle d'études fait suite et comprend une formation de quatre ans post-collégiale, à visée plus médicale et professionnalisante (Klenerman, 1991; Levrio, 2009). Instauré depuis 1965, un stage de fin d'études nommé formation en « résidence » est obligatoire, et est considéré comme une formation postdoctorale en milieu hospitalier (Levrio, 1992; Levy, 1990). Ce stage peut être assimilé à un internat post-diplôme, et il est un moyen d'évaluation des

compétences requises des médecins podiatres à la sortie des écoles de médecine podiatrique (D. R. Murphy et al., 2008). Sa finalité est d'augmenter l'expérience clinique, et d'obtenir le droit d'exercice.

Le Dr James C. Treadway a été un pilier dans le développement de cette formation en résidence. Élu président du comité de genèse des résidences en 1969, il a fortement contribué à la croissance du nombre de postes pour les podiatres (Banks, 2011). Cette période de stage n'étant pas suivie par la majorité des podiatres, l'« American Council on Podiatric Medical Education House of Delegates » déclare en 1992 que les collègues podiatriques doivent préparer les élèves à l'entrée dans une formation en résidence, et non plus préparer des diplômés prêts à pratiquer. Cette formation en résidence équivaut à ce jour à une durée minimale de deux ans en milieu hospitalier, et bénéficie d'une extension des services hospitaliers de formations (service de chirurgie, d'anesthésie, de radiologie...) (Levrio, 2009; Levy, 1996). Alors qu'ils n'étaient que 26% en 1970 à suivre ces années de formation supplémentaires, les podiatres passent en 1991 tous par ce stage de formation, représentant ainsi à ce jour une norme pour la profession.

Toujours dans un but d'amélioration et de suivi de la formation des podiatres, l'APA et l'« American Association of Colleges of Podiatric Medicine » (AACPM) établissent à la fin des années 1960 l'« American Board of Podiatric Surgery ». Tout au long des années 1980 et 1990, des programmes d'amélioration des études seront suivis. L'APA devient finalement en 1984 l'« American Podiatric Medical Association » (APMA), et en 1986 la Commission « Project 2000 » évalue le rôle futur du podiatre, en se penchant plus précisément sur ses relations avec les autres professionnels de santé (Lorimer, 2012; The Project 2000 Commission, 1986). Les recommandations de l'« Educational Enhancement Project » (EEP) en découlent peu après, dont l'objectif est une nouvelle fois de promouvoir le niveau de l'enseignement médical au sein de la formation des podiatres (Levrio, 2009). Finalement le projet Vision 21<sup>e</sup> siècle est lancé afin d'assurer l'acceptation universelle des podiatres et leur reconnaissance en tant que médecin.

Le podiatre aux États-Unis est défini à ce jour par l'APMA comme un docteur en médecine podiatrique, c'est-à-dire un chirurgien qui traite le pied, la cheville et les structures adjacentes de la jambe. Il se voit autoriser la chirurgie des tissus mous de la cheville et du pied, pour traiter certaines pathologies et corriger les déformations. Ce métier peut notamment se concentrer sur d'autres domaines bien spécifiques autres que la chirurgie, comme la médecine sportive, la pédiatrie, les soins et suivi de plaies, y compris au sein de la population diabétique.

Les podiatres sont intégrés dans les hôpitaux en soin de longue durée ainsi que dans les facultés de médecine, et font partie intégrante du service de santé public américain (Becker, 1992; Cook & Gutowsky, 2007; D. R. Murphy et al., 2008).

Malgré la spécialisation précoce dans leur cycle d'étude tant sur le diagnostic que la prise en charge des pathologies de l'appareil locomoteur, les podiatres semblent toujours souffrir de l'autorité juridique, différente selon les États, qui peut tendre à prôner l'hégémonie médicale traditionnelle. Des débats semblent récurrents autour de la légitimité des podiatres dans la prise en charge chirurgicale, plus particulièrement au niveau de la cheville, celle-ci pouvant être considérée comme exclusive aux chirurgiens orthopédiques (Levrio, 2009). Le contrôle professionnel global ne semblant pas atteignable, les podiatres cohabitent et partagent leurs compétences avec les médecins et chirurgiens ayant eux aussi droit au diagnostic et à la prise en charge des pathologies du pied et de la cheville.

### **2.3 Conclusion**

Bien que la définition actuelle des métiers et les titres professionnels soient très proches, la situation des podiatres américains et britanniques diffère. Le modèle podiatrique américain semble étroitement plus lié à la médecine, et leur champ de compétence plus large.

L'évolution professionnelle britannique a été plus lente, les soins en cabinet privé ayant été longtemps privilégiés. La formation chirurgicale est présente dès le début du cursus aux États-Unis, tandis qu'elle arrive bien plus tard dans la formation britannique.

La profession de podiatre s'est fortement développée dans d'autres régions, comme l'Australie, le Canada, la Nouvelle-Zélande, l'Europe de l'Ouest, toujours dans la période post-guerre.

Que ce soit sur les modalités d'accès, de formation, d'ouverture des compétences pratiques, et de l'ancrage dans le système de soin national, les modèles américains et britanniques semblent avoir pris une bonne longueur d'avance.

## **3. La profession en Europe**

### **3.1 La voie universitaire espagnole**

En Espagne, le premier document réglementant la profession de « Praticien en chirurgie et médecine » semble dater de 1857, et mentionnerait l'existence de praticiens alors dénommés « Chirurgiens-Callista » (López, 2010).

La création de la première école de podologie de la faculté de médecine de Barcelone en 1957 pose les bases originales du métier de podologue tel qu'il est exercé actuellement. La formation ne présente alors pas encore de réel statut universitaire, et elle est étroitement liée au métier d'« Assistant Technique en Santé » (López, 2010). La podologie espagnole intègre par la suite la Fédération Internationale des Podologues et participe au premier congrès international de podologie à Zurich. Se fondant d'emblée sur une pratique médicale et chirurgicale, la profession tend à se rapprocher du modèle américain.

La podologie est reconnue et réglementée en Espagne par décret royal en 1962, permettant la prise en charge des maladies et troubles du pied traditionnellement pratiqué par les chirurgiens (BOE, Garcia-Mina, 1962).

Suite à la création en 1968 de la seconde école de podologie espagnole de la faculté de médecine de Madrid, et à une demande d'études purement universitaires pour la profession, un décret royal approuvé en 1988 transforme les études de podologie en un premier cycle universitaire, permettant ainsi l'obtention d'un Diplôme Universitaire en Podologie, valable nationalement (BOE, Maravall Herrero, 1988). Les étudiants sont ainsi formés à la petite chirurgie et à la radiologie. Dans cette continuité, un décret royal autorise en 1990 l'utilisation d'appareils à visée radiodiagnostic, dans les limites du titre universitaire de podologie (BOE, Vargas, 1990). Le champ de compétences des podologues en Espagne est de nouveau élargi en 2003, avec l'accès au diagnostic et au traitement des troubles et des déformations du pied (BOE, Aznar Lopez, 2003).

Suite à la déclaration de Bologne de 1999 visant à l'harmonisation de l'enseignement supérieur européen, le Diplôme Universitaire en Podologie est délaissé, au profit du titre « Graduado/a en Podologia » obtenu après 4 années d'études, et permettant l'accès aux formations de troisième cycle universitaire.

### **3.2 La podologie en Belgique**

La Belgique est un pays formé de communautés et de régions. Ainsi, elle se compose des Communautés française, flamande et germanophone, représentant quatre groupes linguistiques évoluant au sein de la Région wallonne, de la Région flamande et de la Région de Bruxelles-Capitale.

En Belgique est créée en 1982 la première formation francophone et reconnue de podologie. Se développe ensuite en 1992 une formation en Flandres.



Un premier arrêté royal datant du 15 octobre 2001 approuve le statut professionnel de podologue. Il établit les premières réglementations relatives aux conditions de qualifications requises pour l'obtention du titre professionnel et à son exercice, et liste les compétences et actes réalisables par le podologue.

Le 10 mai 2015 est élaborée la loi coordonnée relative à l'exercice des professions de soins de santé, qui réfère dans son article 69 la podologie comme profession paramédicale.

L'arrêté royal du 7 mars 2016 vient abroger celui de 2001 et apporte une nouvelle réglementation de la profession. Le titre professionnel de « Podologue » est alors désigné. Une formation dans le cadre d'un enseignement supérieur correspondant à un minimum de 180 European Credit Transfer and Accumulation System, suivant un programme d'études définies, ainsi qu'un stage de 600 heures en podiatrie théorique et pratique, deviennent obligatoires (De Block, 2016). La durée des études fixée à trois ans permet l'obtention d'un Bachelor en « podologie – podothérapie ». La poursuite en Master n'est actuellement pas permise en Belgique, et contraint à une mobilité à l'étranger.

La mise à jour des connaissances et des compétences professionnelles par formation permanente garantissant un niveau de qualité adéquat pour la prise en charge des patients devient elle aussi obligatoire, et doit pouvoir être attestée.

Cet arrêté royal de 2016 fixe notamment les prestations techniques et les actes dont le podologue peut être chargé par un médecin. Le podologue est ainsi autorisé à la réalisation de bilans cliniques, de soins de plaies aseptiques, et de traitements par appareillage communs au mode d'exercice français, certaines prestations pouvant requérir une prescription médicale lorsque les patients présentent des pieds à risque (De Block, 2016). Par ailleurs, un agrément est nécessaire afin de porter le titre professionnel de podologue. Celui-ci permet l'obtention d'un visa d'exercice, délivré par le Service Public Fédéral Santé Publique. Compétence communautaire, l'agrément a notamment pour rôle de légitimer et de protéger la profession en lui offrant un cadre légal.

### **3.3 La pédicurie-podologie en Suisse**

La Suisse possède quatre régions culturelles et linguistiques. Les langues parlées sont le français, l'italien, l'allemand et le romanche. Elle se compose de 26 cantons qui ont leurs propres règles concernant les professions dans le champ de compétences des pédicures-podologues français. Ainsi en Suisse francophone, la loi concernant le titre de « pédicure » et/ou « podologue » varie d'un canton à l'autre.

Pour revendiquer le titre de « pédicure-podologue » ou « podologue » dans les cantons du Jura, de Neuchâtel et du Valais, il faut disposer d'une autorisation de pratique délivrée par le médecin cantonal après 3 années de formation. Pour les cantons de Fribourg, Genève et Vaud, seul le titre de « podologue » est protégé et soumis à autorisation de pratique. Le titre de « Podologues ES » est protégé et implique que le professionnel suive les « Bonnes pratiques de Swissmedic » : lames de bistouri à usage unique, stérilisation des instruments, respect du consentement éclairé et de la protection des données patient.

Le titre de « pédicure » n'est quant à lui pas protégé ni soumis à la législation. Les pédicures ne sont pas considérés comme professionnels de santé et n'ont donc pas le droit d'utiliser d'instruments tranchants ou rotatifs. Ils se voient notamment refuser la prise en charge des patients à risques.

Il existe trois écoles supérieures de podologie en Suisse : Genève, Zofingen, et Lugano qui donnent le titre de Podologue ES (École supérieure) avec une langue différente dans chaque école. La durée et le contenu des études sont les mêmes qu'en France.

#### **4. En France : du « Chirurgien Pédicure » au « Pédicure-Podologue enseignant-chercheur »**

##### **4.1 Du « chirurgien pédicure » à la première consultation hospitalière**

Le berceau européen de la profession semble se situer en France, avec des traces dès le Moyen-Âge de barbiers, puis de barbiers-chirurgiens. On estime qu'ils étaient au nombre de 200 à Paris en 1292. Aucune formation n'était requise et le métier était repris par succession familiale (Bulletin Repères n°4, 2008). Habités à suturer des plaies, ceux-ci vont jusqu'à pratiquer quelques opérations au 14<sup>e</sup> siècle, mais un arrêté du Parlement de Paris mettra rapidement fin à cette compétence (Seelig, 1953) (Bulletin Repères n°33, 2016).

C'est au 18<sup>e</sup> siècle et sous le règne de Louis XV que se manifeste Rousselot, alors premier représentant de la profession de « chirurgien pédicure ». Considéré comme le père de la podologie moderne, il est l'auteur d'ouvrages relatifs à la prise en charge des affections épidermiques. Son élève M. Laforest, qui se définit comme « Chirurgien-Pédicure du Roi et de la famille royale » est à l'origine d'une des premières publications françaises, «L'art de soigner les pieds», datant de 1781 (Figure 4). Il est notamment précurseur de la podologie, avec la création d'un cours de podologie dispensé à l'Hôtel des Invalides à la fin du 18<sup>e</sup> siècle.

En 1820 apparaît pour la première fois la notion de semelle avec le Dr M. Dudon, alors destinée à soulager les affections épidermiques : « *Il y a des personnes qui font usage d'une semelle de feutre de chapeau à laquelle on pratique des trous qui correspondent aux endroits où ces tubercules étaient placés. Cette semelle se fixe aux bas ou aux chaussons par quelques points de suture, pour qu'elle ne se dérange pas en glissant par l'effet de la marche. Ce moyen a non seulement l'avantage de procurer un grand soulagement, mais encore est très nécessaire pour empêcher que le poids du corps n'exerce une pression directe sur le siège primitif du mal ; cette pression pouvant suffire pour entraîner la récurrence* » (Figure 5).

La première école formant à la profession de pédicure et de podologue est créée en 1872 près de la place Vendôme à Paris.

Suite à la volonté des pédicures de voir naître une réglementation de leur profession, le « Syndicat des pédicures spécialistes » est créé en 1935.

En 1940, le Dr Huet et le Pr Leriche créent à l'hôpital Léopold Bellan les premiers cycles d'enseignements de la pédicurie. La Société de Podologie est formée peu après, en 1943.

Les deux premières consultations de podologie avec soins s'ouvrent en 1944 à l'Hôpital du Val de Grâce et à l'Hôpital Cochin.

L'ART  
DE  
SOIGNER LES PIEDS,  
CONTENANT

Un Traité sur les Cors, Verrues,  
Durillons, Oignons, Engelures,  
les accidens des Ongles & leur  
difformité ;

*PRÉSENTÉ AU ROI,*

Par M. LAFOREST, Chirurgien-Pédicure  
de Sa Majesté & de la Famille Royale.

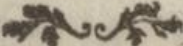
  
A PARIS,



Figure 4. Publication de Laforest, 1781

**MANUEL DU PÉDICURE,**  
**OU**  
**L'ART DE SOIGNER LES PIEDS ;**

**CONTENANT :**

**DES RECHERCHES PRATIQUES SUR DIVERSES EXCROISSANCES  
ÉPIDERMOÏQUES, CONNUES SOUS LES NOMS DE CORS, DURIL-  
LONS ET OIGNONS; LES MOYENS LES PLUS SIMPLES ET LES  
PLUS EFFICACES POUR LES GUÉRIR SOI-MÊME.**

**SUIVI**

**d'une Instruction sur les Engelures, les Verrues, les infir-  
mités des Ongles, le Chevauchement des Orteils, et les  
Sueurs immodérées des Pieds.**

**TROISIÈME ÉDITION,**

*Revue, corrigée et considérablement augmentée.  
Ornée d'une planche lithographiée.*

**PAR M. M. DUDON ,**

**DOCTEUR EN MÉDECINE DE LA FACULTÉ DE PARIS, MEMBRE DE  
PLUSIEURS SOCIÉTÉS MÉDICALES.**



---

**PARIS.**

Figure 5. Publication de M. Dudon, 1820

**4.2 Certificat d'Aptitude Professionnelle (CAP), Brevet Professionnel (BP) et Diplôme  
d'État (DE)**

Il est important de noter que pendant longtemps les domaines du soin et de l'appareillage ont été séparés en deux formations distinctes.

L'arrêté du 16 mars 1944 définit un certificat d'aptitude professionnelle (CAP) de prothèse en podologie et orthopédie et la loi du 20 mars 1944 inscrit la création d'un CAP de pédicurie.

Ces derniers seront abrogés à la libération de la Seconde Guerre mondiale (Figure 6).

La loi du 30 avril 1946 (Figure 7) sera alors l'acte fondateur de la profession, qui est inscrite pour la première fois en tant que profession de santé. Cette loi est à l'origine de la création du Diplôme d'État (DE) de pédicure, et pose par la même occasion une première approche de définition des actes liés au métier : « traiter directement des affections épidermiques et unguéales du pied à l'exclusion de toute effusion de sang... pratiquer les soins d'hygiène, confectionner et appliquer les semelles destinées à soulager les affections épidermiques... traiter les cas pathologiques de leur domaine. ». La profession de pédicure est inscrite le 7 octobre 1953 dans le premier Code de la Santé Publique (Figure 8).

La partie appareillage évolue du CAP vers un Brevet Professionnel (BP) de prothèse en podologie et orthopédie (arrêté du 14 février 1951) (Figure 9). Par la suite est créé un brevet de technicien (BT) pédicure orthopédiste et prothésiste en podologie (arrêté du 15 juin 1959), qui incombe un an d'étude après obtention du DE, dans un établissement spécialisé. Le décret n° 63-482 du 10 mai 1963 (Figure 10) impose une formation préparatoire au DE, ainsi qu'un examen d'entrée issu de cet enseignement préliminaire.

En 1974, la formation à l'examen clinique et à la réalisation d'orthèses plantaires est intégrée au programme d'obtention du DE de pédicure. L'enseignement théorique et pratique dure 2 ans, alors qu'il fallait précédemment 3 ans au total (2 pour le DE + 1 pour le BT). C'est entre 1974 et 1975 que se situe la séparation dans la formation de l'appareillage. Ainsi le Brevet de Technicien Supérieur en Podo-Orthèse est créé. Le pédicure (DE) et le podo-orthésiste (BTS) sont tous les deux aptes à fabriquer des orthèses plantaires, cependant, seul le pédicure est alors un professionnel de santé. Le Décret N°77-299 du 22 mars 1977 modifie de nouveau les épreuves préparatoires au DE (Figure 10).

En découle la loi du 25 mai 1984, qui officialise la transformation du titre de pédicure en celui de pédicure-podologue. Le décret du 19 juin 1985 pose une nouvelle définition officielle des actes professionnels accomplis par le pédicure-podologue, en détaillant les troubles sur lesquels

les praticiens interviennent (diagnostic des cors, durillons, verrues, hyperkératoses et soins maintenant l'intégrité du pied) (Bulletin Repères n°18, 2011 ; Bulletin Repères n°27, 2014). Ce n'est qu'en date du 2 octobre 1991 qu'un décret fixe la durée des études dans le but d'obtention du nouveau DE à une durée de trois ans. La profession passe donc de la prise en charge de la peau et des ongles, à la capacité de prendre en charge les troubles morphostatiques et dynamiques du pied et du membre inférieur, ainsi que leurs répercussions. Jusqu'en 2012, le pédicure-podologue possède un diplôme reconnu à un niveau « Bac + 2 » malgré trois années d'étude pleines.

**LOI n° 133 du 20 mars 1944 instituant un  
certificat d'aptitude à la profession de  
pédicure et définissant l'exercice illégal  
de cette profession.**

Le chef du Gouvernement,  
Vu les actes constitutionnels n°s 12 et  
12 bis;  
Le conseil de cabinet entendu,

Décède :

**TITRE I<sup>er</sup>**

*Du certificat d'aptitude à la profession  
de pédicure.*

**Art. 1<sup>er</sup>.** — Il est institué un certificat  
d'aptitude à la profession de pédicure.

**Mercredi 29 Mars 1944.**

Figure 6. Création du CAP de pédicurie



**LOI n° 46-857 du 30 avril 1946 tendant à réglementer l'exercice des professions de masseur gymnaste médical et de pédicure.**

Mercredi 1<sup>er</sup> Mai 1946.

**TITRE II**

*Pédicures.*

Art. 6. — Nul ne peut exercer la profession de pédicure et porter le titre de pédicure, accompagné ou non d'un qualificatif, s'il n'est Français et muni du diplôme d'Etat institué par l'article 8 de la présente loi.

Figure 7. Loi du 30 avril 1946

CODE DE LA SANTÉ PUBLIQUE

7 Octobre 1953

**Pédicure.**

**Article 492.**

Nul ne peut exercer la profession de pédicure et porter le titre de pédicure, accompagné ou non d'un qualificatif, s'il n'est Français et muni du diplôme d'Etat institué par l'article 488 du présent titre.

**Article 493.**

Seuls les pédicures ont qualité pour traiter directement les affections épidermiques (couches cornées) et unguéales du pied, à l'exclusion de toute intervention provoquant l'effusion de sang.

Ils ont également seuls qualité pour pratiquer les soins d'hygiène, confectionner et appliquer les semelles destinées à soulager les affections épidermiques.

Sur ordonnance et sous contrôle médical, les pédicures peuvent traiter les cas pathologiques de leur domaine (hygromas, onyxis, etc., soins pré et postopératoires).

**Article 494.**

Il est créé un diplôme d'Etat de pédicure qui sera délivré après des études préparatoires et des épreuves dont la durée et le programme sont fixés par décret pris sur le rapport du ministre de la santé publique et de la population.

Figure 8. Inscription de la profession de pédicure dans le 1<sup>er</sup> Code de la Santé Publique

6 Mars 1951

**Création d'un brevet professionnel  
dans le département de la Seine.**

Par arrêté du 14 février 1951, il a été créé dans le département de la Seine un brevet professionnel de prothèse en podologie et orthopédie.

Art. 1<sup>er</sup>. — Le certificat d'aptitude professionnelle de prothèse en podologie créé dans le département de la Seine par arrêté du 16 mars 1944 prendra à dater de la publication du présent arrêté le titre de: Prothèse en podologie et orthopédie.

Figure 9. BP de prothèse en podologie et orthopédie

**Décret n° 63-482 du 10 mai 1963 relatif aux études préparatoires et aux épreuves du diplôme d'Etat de pédicure.**

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de la santé publique et de la population,

Vu le code de la santé publique, livre IV, titre III, et notamment l'article L. 494 ;

Vu l'avis du conseil supérieur de la pédicurie,

Décète :

Art. 1<sup>er</sup>. — Le diplôme d'Etat de pédicure est délivré par le ministre de la santé publique et de la population aux personnes de nationalité française qui ont suivi un enseignement préparatoire et subi avec succès les épreuves d'un examen à l'issue de cet enseignement.

**MINISTERE DE LA SANTE**

**Décret n° 77-299 du 22 mars 1977 relatif aux études préparatoires et aux épreuves du diplôme d'Etat de pédicure.**

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de la santé,

Vu le code de la santé publique, livre IV, titre III, et notamment l'article L. 494 ;

Vu le décret n° 63-482 du 10 mai 1963 relatif aux études préparatoires et aux épreuves du diplôme d'Etat de pédicure ;

Vu le décret n° 73-192 du 22 février 1973 relatif aux études préparatoires et aux épreuves du diplôme d'Etat de pédicure ;

Vu l'avis de la commission des pédicures du conseil supérieur des professions paramédicales,

Figure 10. Décret n°63-482 du 10 mai 1963

#### **4.3 Instances, Évaluation des Pratiques et formation continue**

Dans le cadre de la Loi relative à la Politique de Santé Publique du 9 août 2004 (loi n°2004-806), la formation continue des pédicures-podologues devient obligatoire (article L4382-1 du Code de la santé publique). Dans la continuité de cette loi, l'Ordre professionnel des pédicures-

podologues est créé et devient concret à la suite des élections de juin 2006. C'est une instance privée, autonome, chargée d'une mission publique, qui rassemble et unifie l'ensemble des professionnels habilités à exercer sur le territoire français. L'Ordre est chargé d'organiser la profession et de défendre son honneur, son indépendance et ses intérêts. C'est dans le cadre de sa fonction administrative et réglementaire que le Conseil national de l'Ordre des Pédiçures-Podologues (CNOPP) intervient dans la formation initiale et continue et dans l'évaluation des pratiques professionnelles.

Une « Commission formation, compétences et évaluation des pratiques professionnelles » est constituée et a pour but de soumettre des propositions dans le cadre de la formation initiale, et aider à la mise en place de l'évaluation des pratiques professionnelles. La première tâche pour cette commission en 2007 est alors d'élaborer le « référentiel métier », inventaire de la profession et des compétences requises, avant de pouvoir se pencher sur la formation liée à ce métier.

Le 28 octobre 2007 est publié au Journal Officiel le Code de déontologie du métier de Pédiçure-Podologue, texte fondateur pour la profession (décret n°2007-1541). Il est intégré au Code de la santé publique, renouvelant ainsi la place de la pédiçurie-podologie au sein des professions de santé. Il fixe les droits et devoirs des praticiens, et contribue à protéger le titre de compétence tout en reconnaissant les qualités exigibles du pédiçure-podologue. Il bénéficiera de deux actualisations en 2012 et 2016.

L'Évaluation des Pratiques Professionnelles (EPP) se met en place en 2009-2010 et permet aux praticiens d'analyser leurs données réelles de pratique à partir de critères prédéfinis en vue de leur amélioration. L'EPP fait partie intégrante du Développement Professionnel Continu (DPC) dont les décrets paraissent au Journal officiel en janvier 2011 et qui devient effectif en 2013.

#### **4.4 Référentiel Licence - Master - Doctorat**

La déclaration de Bologne de 1999 est un évènement majeur dans l'histoire du métier de pédiçure-podologue. Elle vise à l'harmonisation du système européen de l'enseignement supérieur. Elle est notamment à l'origine de la réforme des formations ouvrant aux professions médicales et paramédicales. Cette réingénierie tend à accompagner les évolutions de l'exercice professionnel, et entend donc définir avec précision tous les axes des champs abordés dans le cadre de la formation. Afin de permettre l'acquisition des compétences les plus à même de permettre de réaliser des actes en adéquation avec les patients, les Accords de Bologne insistent

sur la nécessité de définir le métier pour amener à un référentiel de formation adapté aux logiques Licence – Master – Doctorat (LMD).

Par conséquent, le ministère de la Santé enclenche en 2007 la démarche globale de réingénierie des diplômes du secteur sanitaire, amenant à la réforme des études dans le but de garantir une maîtrise des compétences nécessaires à la pratique du métier. Cela mène à la mise en place du dispositif LMD, prévue pour être active en 2010. Cette refonte du diplôme ne deviendra finalement effective qu'en septembre 2012. Les instituts de formation sont alors amenés à signer des conventions avec les universités à secteur santé, la formation menant au DE de pédicure-podologue se voit obtenir le grade de Licence, et permet ainsi la poursuite d'études dans un cadre universitaire. C'est depuis cette réforme que le pédicure-podologue est reconnu à un niveau d'étude Licence (Bac+3).

Les études visant à l'obtention du DE de pédicure-podologue restent néanmoins dispensées dans des instituts de formations spécialisés, majoritairement privés, et orientent vers une pratique libérale dans 98% des cas. On dénombre 11 établissements dont l'admission se fait sur concours propre à l'institut de formation et donc de façon non consensuelle. L'institut de formation de Bordeaux est alors la seule exception à la règle, avec un accès sur concours via la première année commune d'études de santé.

Le 11 février 2016 est une date clé dans l'histoire de la profession, au cours de laquelle a lieu la grande conférence de la santé. Cet événement est organisé dans le but de pouvoir mener une profonde réflexion sur les nécessités d'innovations à apporter afin de mieux former les professionnels de santé, et ainsi permettre un meilleur exercice professionnel durant leur carrière. De nombreuses idées sur l'avenir des professions médicales et paramédicales vont en émaner. L'une d'entre elles mène au rapprochement des instituts de formation paramédicaux et des universités, afin de pouvoir quitter ce cloisonnement historique, et enfin permettre une réelle interprofessionnalité, en se basant principalement sur le développement des connaissances réciproques des autres métiers.

L'idée de la mise en place de cycles de formation communs à plusieurs filières universitaires est soumise. Le but est de permettre premièrement d'uniformiser l'accès aux instituts et deuxièmement l'obtention de diplômes de grades universitaires. L'accent est mis lors de cette conférence sur la nécessité de transférer l'encadrement pédagogique des instituts privés vers l'université et met en lumière les nombreux freins à lever afin d'y parvenir.

Un des objectifs majeurs reste la prise de conscience de l'importance de l'accès pour les professions médicales et paramédicales au domaine de la recherche, afin d'accéder au domaine scientifique, d'assurer une production par la profession elle-même de matière scientifique, et de ne pas laisser augmenter le gouffre abyssal existant vis-à-vis des pays voisins. Le décloisonnement des filières, des compétences, et des pratiques semble passer par l'élaboration de référentiels et de recommandations émanant de la recherche (Repères n°33, 2016, Repères n°37, 2017).

#### **4.5 Vers la formation de podologues enseignants-chercheurs**

Une des clés est l'émergence d'enseignants-chercheurs paramédicaux, et donc la création de postes spécifiques au sein d'équipes multidisciplinaires en milieu hospitalier afin de permettre une évolution dans la prise en charge des patients. Ainsi Madame Agnès Buzyn, Ministre des Solidarités et de la Santé et Madame Frédérique Vidal, Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation confie en 2016 à Monsieur Stéphane Le Bouler une mission dédiée à la poursuite de l'intégration des formations paramédicales et de maïeutique (Repères n°37, 2017).

L'avancée des pratiques dans la prise en charge des patients atteints de maladies chroniques étant un réel enjeu, l'objectif est de promouvoir la recherche en sciences de la rééducation, et de former l'ensemble des étudiants en santé à coordonner leurs soins autour des mêmes patients. L'Ordre National des Pédiatres-Podologues est notamment auditionné et remet une contribution écrite relative aux futurs axes à suivre pour l'évolution de la profession dans le cadre de cette mission.

Suite à la remise du rapport de Monsieur Le Bouler, les instances ministérielles décident de lancer en mars 2018 un comité de suivi du processus d'universitarisation des formations de santé dont l'Ordre sera acteur. Le développement de la recherche par l'émergence d'enseignants-chercheurs nécessaire à l'interprofessionnalité se met en place et le changement est véritablement à l'œuvre. Enseigner la recherche par la recherche est une opportunité pour la profession et permettra le développement de nouveaux métiers reposant sur de nouvelles formations. Par ailleurs, l'élaboration de ce projet se doit de passer par la suppression de la voie de sélection des étudiants par les « concours » propres aux différentes écoles et filières, devenus bien trop obsolètes. Le remplacement devrait s'effectuer par un recrutement exclusif selon une voie universitaire et donc une première année de licence commune.

La recherche est une composante indispensable, mais manquant fortement à la profession de pédicure-podologue. Le développement de nouveaux champs de recherche dans les domaines de la réadaptation est un enjeu clé de l'intégration de nos formations à l'université. L'accès à la formation de pédicure-podologue via Parcours Sup envisagé pour 2020 ne répond pas encore à l'ultime but qui est de trouver une voie commune pour chaque filière des professionnels de la rééducation. Un récent décret a permis d'intégrer les sciences de la rééducation et de la réadaptation au Conseil national des universités, orientant un peu plus la profession de pédicure-podologue dans l'universitarisation. L'ouverture des champs de compétences est également en cours, avec récemment la possibilité du renouvellement de prescriptions d'orthèses plantaires datant de moins de trois ans (article L.4322-1 du Code de la Santé publique), et la modification du décret de compétences par suppression de l'interdiction de l'effusion de sang (article L.4322-1).

Très récemment, le projet « Ma Santé 2022 » est né. Il s'agit d'un plan de transformation de notre système de santé, qui apparaît aujourd'hui inadapté pour les patients et les professionnels (Bulletin Repères n°42, 2019). En vue du vieillissement de la population associé à la croissance exponentielle des maladies chroniques, le patient doit être au centre des attentions et ne pas être l'unique acteur permettant la mise en lien interprofessionnelle. L'augmentation des charges administratives, le manque de reconnaissance des bonnes pratiques professionnelles et le cloisonnement lié au diplôme ne semblent pas optimiser la prise en charge des patients. L'Ordre a ainsi proposé des amendements relatifs à l'universitarisation, l'émergence de possibles synergies entre professionnels de ville et hospitaliers, et l'évolution de la profession. La création d'un tronc commun aux différentes professions de la rééducation, le recrutement unique par voie universitaire, la création de passerelles permettant de changer d'orientation, la mise en place d'un socle commun européen, l'ouverture des champs de compétences... Tout semble possible, mais un long chemin reste à tracer.

#### **4.6 Les formations « post-diplôme »**

Le Diplôme d'État de pédicure-podologie est à l'heure actuelle considéré comme possédant un niveau Licence (Bac+3). Le rapprochement des instituts de formation avec les universités permet aux jeunes diplômés de poursuivre leurs études avec un Master. Le plus souvent les universités proposent des masters par la filière des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS) ou par les filières des sciences de l'éducation. Il reste toutefois

de nombreux verrous, car il n'y a pas de proposition automatique pour poursuivre à l'université. En effet, c'est une démarche individuelle pour chaque étudiant de se renseigner et postuler lors de sa dernière année d'étude à l'intégration dans un cursus Master.

Si l'étudiant poursuit des études en Master avec une composante « Recherche », il peut ensuite postuler pour s'inscrire en Doctorat. Ce dernier donne accès après trois années d'études et de recherche à l'obtention du Grade de Docteur en Sciences dont l'acronyme est PhD. C'est l'unique grade de Docteur reconnu à l'international, car reposant sur un système de formation universitaire. À l'opposé, le titre de Docteur en médecine est en réalité un Doctorat professionnel de premier cycle et donc un Diplôme d'État, non reconnu à l'étranger.

Il est important de retenir qu'à aucun moment les titres de Master ou de Docteur en Sciences n'élargissent les champs de compétence du pédicure-podologue dans ses responsabilités médicales. Ces diplômes permettent seulement de répondre aux prérequis pour enseigner en milieu universitaire ou pour une reconversion. Il est à noter que le coût de l'inscription à une année universitaire est autour de 500 euros et peut aller jusqu'à 3000 euros pour des masters catégorisés « Paramédicaux ». Pour les Diplômés depuis plus de deux ans, il est souvent nécessaire de passer par la validation des acquis de l'expérience (VAE) pour être autorisé à reprendre les études en Master voire directement en Doctorat. Cette VAE intègre aussi bien le contenu du Diplôme d'État que le contenu des formations universitaires de type Diplôme Universitaire (DU). Les formations continues dispensées dans le cadre du DPC ne sont que peu ou pas reconnues par les universités.

Les Diplômes universitaires ou interuniversitaires sont des formations principalement théoriques dispensées par les facultés de médecine à des professionnels de santé dans le cadre d'une spécialisation d'apprentissage. Chaque faculté de médecine a son propre programme de formation continue et cela couvre des champs très vastes allant du « Pied Diabétique » aux statistiques en passant par l'analyse du mouvement. Un DU est considéré comme de la formation continue et coûte en moyenne 1200 euros. Il est organisé en « 4 à 12 sessions » de « deux à trois jours » de formation sur « un à deux ans ». À noter que certains DU sont qualifiants. Par exemple les DU de type « Pied Diabétique » donnent accès à la Clé POD, codification permettant la prise en charge remboursée pour les patients diabétiques. La majorité des DU n'est pas validée pour le DPC, ce qui entretient la séparation entre formation professionnelle et formation universitaire.



Depuis 2009, une vingtaine de pédicures-podologues a obtenu le grade de Docteur en Sciences. En 2018, les premiers doctorants biappartenants paramédicaux hospitalo-universitaires (financement ARS / hôpital / université) ont été sélectionnés parmi lesquels figure un pédicure-podologue (Cédric Blouin).

Le Conseil des ministres réuni le 30 octobre 2019 a adopté le décret portant création d'une nouvelle section au sein du Conseil national des universités (CNU) pour les disciplines des sciences de la rééducation et de la réadaptation. Les pédicures-podologues en font partie. Il est donc probable que dans les années à venir nous voyons l'émergence de pédicures-podologues possédant le statut d'hospitalo-universitaire.

## **5. Conclusion**

La profession a énormément changé, des chirurgiens pédicures sans diplôme aux Certificats d'Aptitude Professionnelle en passant par le Brevet Professionnel puis le Diplôme d'État. La formation initiale n'interdit plus l'accès aux études universitaires allant jusqu'au Doctorat en Sciences. Bien que cela ne donne pas le droit à des pratiques avancées, ces diplômes donnent les armes à notre profession pour évaluer, valider et développer notre discipline. Ces étapes sont indispensables pour faire reconnaître la profession de pédicure-podologue et assurer sa survie dans un contexte où notre champ de compétences est mis en concurrence au niveau européen (arrivée des pédicures médicales...), mais également au niveau national par l'essor de formation en un an de type « Podologue » ou encore la démocratisation des semelles conçues par ordinateur (du magasin de sport à la pharmacie). Il est important de souligner que l'évolution doit également passer par l'entrée des pédicures-podologues à l'hôpital de manière systématique que ce soit pour les pathologies de la locomotion, le diabète, mais aussi la cancérologie, la chirurgie, la médecine du sport ou encore la prise en charge du handicap.

# Annexe B. Article “Development of a preoperative questionnaire to improve satisfaction with hallux valgus repair: a Delphi study”

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

## Development of a preoperative questionnaire to improve satisfaction with hallux valgus repair: A Delphi study

Cédric Blouin<sup>1,2,3\*</sup>, François Genet<sup>3,4,5</sup>, Philippe Denormandie<sup>6,7</sup>, Wilfrid Graff<sup>2</sup>, Antoine Perrier<sup>2,8,9</sup>

**1** UFR Simone Veil-Santé, UR2020 Erphan, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), Montigny-le-Bretonneux, France, **2** Service de Chirurgie Orthopédique, Hôpital de la Croix-Saint-Simon, Groupe Hospitalier Diaconesses-Croix-Saint-Simon, Paris, France, **3** ISPC Synergies, Paris, France, **4** Département PARASPORT-SANTÉ, Unité Péri Opératoire du Handicap, (UPOH-Perioperative Disability Unit), Service de Médecine Physique et de Réadaptation, Hôpital Raymond-Poincaré, Groupe Hospitalier Universitaire APHP-Université PARIS SACLAY, Garches, France, **5** UFR Simone Veil-Santé, END: ICAP, Inserm U1179, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), Montigny-le-Bretonneux, France, **6** Service de Chirurgie Orthopédique, Hôpital Raymond Poincaré, APHP, Garches, France, **7** Groupe Mutuelle Nationale des Hospitaliers (MNH), Paris, France, **8** Laboratoire de Recherche Translationnelle et D'Innovation en Médecine et Complexité TIMC, CNRS, Grenoble, France, **9** Service de Diabétologie, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

\* [cedblouin@gmail.com](mailto:cedblouin@gmail.com)



### OPEN ACCESS

**Citation:** Blouin C, Genet F, Denormandie P, Graff W, Pemier A (2022) Development of a preoperative questionnaire to improve satisfaction with hallux valgus repair: A Delphi study. PLoS ONE 17(10): e0276303. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276303>

**Editor:** Faizan Iqbal, Baqai Medical University, PAKISTAN

**Received:** June 29, 2022

**Accepted:** October 5, 2022

**Published:** October 24, 2022

**Copyright:** © 2022 Blouin et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability Statement:** All files are available from the 'Qualitative and Data Repository' (accession number doi:10.5064/F6LJHYLR). <https://qdr.svr.edu/>.

**Funding:** C.B. This research was supported by the Agence Régionale de Santé Île-de-France (Winner of the 2018 call for proposals "emergence of dual teacher-researcher functions") and the Institut de Santé Parasport Connecté (ISPC) (thesis support bursary). The funders had no role in study design,

## Abstract

### Background

Satisfaction with hallux valgus repair is often poor, despite good surgical outcomes. Many tools have been developed to assess the outcome of the procedure; however none evaluate the association between the initial motive for repair and the reasons for post-surgical dissatisfaction. The aim of this study was to develop a new tool to analyse the subjective and objective expectations of individuals during a pre-operative consultation for hallux valgus repair in order to improve post-surgical satisfaction.

### Methods

We first collected the reasons for dissatisfaction with repair from the medical files of dissatisfied individuals. Then, a steering committee of 4 French experts in the management of hallux valgus designed a questionnaire based on the reasons for dissatisfaction. We then used the DELPHI method to validate the questionnaire: we submitted the questionnaire to a panel of 34 francophone experts in hallux valgus repair for rating in 4 rounds.

### Results

The medical files of 853 individuals were reviewed and a 52-item questionnaire relating to expectations from hallux valgus surgery was drafted. After the 4 rounds, a final 44 item questionnaire reached consensus. Thirteen items related to clinical and psychological profile, 5 to pain, 9 to physical activity, 4 to aesthetics and 13 to footwear.

data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

**Competing interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

## Conclusion

This tool should facilitate gathering of individuals' expectations from hallux valgus repair to ensure realistic goals and reduce post-surgical dissatisfaction.

## Introduction

Hallux valgus is the most common disorder of the foot [1]. It affects 30% of women and 13% of men of all ages, and its prevalence increases with age [2]. The only effective treatment for hallux valgus is surgery [3–5].

Hallux valgus deformity is commonly analysed descriptively. The clinical examination of this deformity begins with an exhaustive morpho-static and morpho-dynamic, bilateral analysis of the lower limbs, associated with muscular, articular, vascular, neurological, etc. assessments [6–8]. The extent of the hallux valgus can be graded clinically with the Manchester scale, which is a method of assessing the deformity using a set of standardised photographs [9].

In order to make a therapeutic decision, the clinical assessment must be complemented by imaging. Metrology using standard radiographs of the foot and ankle, performed under load, must be comparative. A large number of angular measurements of the foot is necessary to understand the pathophysiology of the deformity [10–12]. Measurements of the hallux valgus angle (HVA) and the intermetatarsal angle (IMA) allow classification of the severity of the hallux valgus [13, 14]. In addition, the anatomical characteristics of the sesamoid bones of the hallux can be evaluated with dorsoplantar and axial radiographs. They allow morphological classification and measurements such as the sesamoid rotation angle (SRA), which is important for the choice of surgical technique [15–20].

Recently, a new classification of hallux valgus, based on three-dimensional anatomy of the first ray, with a decision algorithm for management has been proposed [21]. Radiological measurements are nowadays often complemented by three-dimensional CT techniques [22–24].

Baropodometry is also used as part of the routine clinical assessment of hallux valgus [25–27]. In particular, it provides a measurement of dynamic plantar pressures before and after the operation [28, 29]. However, none of these assessments provide information about the individual's functional goal for surgery.

Postoperative satisfaction depends on the adequacy between the result obtained and the individual's preoperative expectations [30, 31]. However, studies have shown that there is no correlation between subjective satisfaction and deformity reduction after hallux valgus repair [32–34]: the criteria for a good outcome differ between the surgeon and the individual [35]. Despite adequate deformity reduction following surgery [32, 36], dissatisfaction with the outcome is frequent [31, 37]. We suggest this is because the focus of the preoperative consultation is typically on pain, and the individual's needs and expectations are not fully expressed and/or are not fully investigated by the surgeon. It has been reported that clinicians only question people regarding their motive for repair and their postsurgical expectations in 36% of cases [38]. When they do ask, they interrupt the response in 70% of cases after a mean 11 s [38]. This short time could explain why the person's full motives are not identified. The person may assume that the surgical intervention will address all their limitations and allow them to return to their pre hallux valgus state, however, this is not possible since surgery can only reduce the deformity.

Defining surgical goals improves the quality of care [39]. Setting goals according to the SMART (specific, measurable, acceptable, realistic, time-bound) criteria [40] facilitates the

achievement of realistic expectations, however is not easy during a short surgical consultation. More than 139 self-report questionnaires relating to the ankle and foot have been published [41, 42] but none allow a comprehensive, precise and pertinent evaluation of the foot and ankle that could facilitate goal setting. Furthermore, they do not cover the 4 main expectations of individuals for hallux valgus surgery that have been reported in the literature: pain, footwear, physical activities and aesthetics [7, 43–45]. A specific tool that the surgeon can use to determine the individual's motives for and expectations from hallux valgus repair is therefore required.

The aim of this study was to develop a questionnaire that would encompass the main expectations of hallux valgus repair that could influence satisfaction with postoperative outcomes. To this purpose, we used the Delphi method [46]. This method uses rounds of questionnaires to collate expert opinion on specific subjects until consensus is reached [47, 48].

## Method

### Design

We used an inverse approach to develop a questionnaire relating to expectations from the reasons for dissatisfaction with hallux valgus repair: the reasons for dissatisfaction were collected from medical records for the development of the initial questionnaire. We then applied the Delphi method in 4 rounds to reach a consensus-based questionnaire.

The study is reported according to the Standards for Reporting Qualitative Research guidelines [49]. The study was approved by the Committee for The Protection of Persons Sud-Est III (reference RCB 2021-A00603-38, CPP 2021-034B). Written consent was obtained from all participants.

### Review of reasons for dissatisfaction with hallux valgus repair

In 2015, we created a system of postoperative consultations specifically for individuals who were insufficiently satisfied with the outcomes of forefoot surgery. All the consultations were conducted by 2 podiatrists who were not involved in pre-surgical or surgical care. The podiatrists recorded both the subjective and objective reasons for dissatisfaction in the person's medical file. The purpose of the consultation was to determine possible solutions to improve satisfaction.

We collected all the reasons for dissatisfaction recorded in the medical files between 2015 and 2021 and collated them to determine reasons that were recurrent. We also compared the reasons for dissatisfaction recorded by the podiatrists with the motive for repair recorded by the surgeon.

The list of recurrent reasons was submitted to the steering committee who grouped the reasons into 4 main types of expectations (pain, footwear, aesthetics and physical activity), according to reports in the literature [41–43, 45]. Using these data, they then drafted 52 questions that constituted the initial questionnaire (S1 File).

### Steering committee

The steering committee was composed of 2 podiatrists from the La Croix Saint-Simon hospital, France's leading hospital for orthopedic foot surgery, and 2 orthopedic surgeons from the national healthcare system who were experts in foot surgery.

### Expert panel

We selected francophone experts (from France, Belgium and Canada) by screening the lists of members of relevant academic societies: we verified their curriculum vitae and asked those

**Table 1. Professional activity and areas of expertise of the members of the expert panel.**

Professional activity	n (%)
Hospital	11 (32)
Private structure	15 (44)
Mixed	8 (24)
Total	34 (100)
Type of department	n (%)
Orthopaedic and trauma surgery	29 (85)
Rheumatology	2 (6)
Podiatry	2 (6)
Diabetes	1 (3)
Total	34 (100)
Type of specialist consultation	n (%)
Foot and ankle	19 (56)
Knee and hip	8 (23)
Sports medicine	1 (3)
Podiatry	5 (15)
Diabetic foot	1 (3)
Total	34 (100)

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276303.t001>

who had at least 5 years' experience in the treatment of hallux valgus and who had published or communicated on the subject to participate, according to the recommendations for conducting Delphi surveys [50]. They all provided written consent for participation and signed confidentiality forms.

Of the 40 experts contacted, a total of 34 agreed to participate: 27/34 (79.4%) men and 7/34 (20.6%) women. Their professions were orthopaedic surgeon (27/34; 79.4%), rheumatologist (2/34; 5.9%), podiatrist (5/34; 14.7%). Mean age was 50.4 (SD 9.6) years, mean duration of practice was 20.8 (10.6) years and mean experience in the management of foot deformities was 20.3 (9.3) years. The areas of expertise of the panel members are shown in [Table 1](#).

The experts' academic degrees were PhD (4/34; 11.8%) and MSc (10/34; 29.4%). The remaining experts had no postgraduate academic degree (20/34; 58.8%).

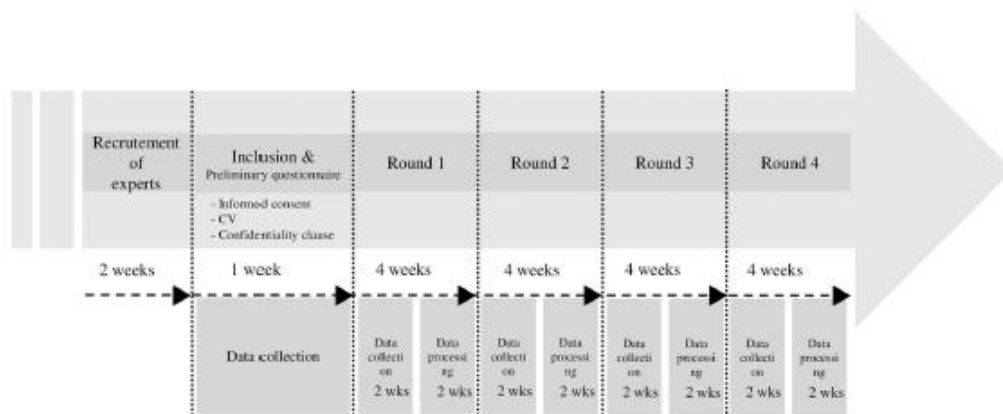
In total, 4/34 (11.8%) had no postgraduate certificates and 30/34 (88.2%) had at least 1 postgraduate certificate (range 1 to 11 certificates).

Most of the experts were involved in research: 11/34 (32.4%) had published between 1 and 5 articles and 15/34 (44.1%) had published more than 5; 30/34 had presented at conferences (88.2%). Self-report of their knowledge of hallux valgus surgery was 6.1 (SD 0.8) on a Likert scale of 1 to 7.

### Delphi method

Developed in 1950 by Olaf Helmer at the Rand Corporation [46], the purpose of the Delphi method is to converge the opinions of a group of experts to create consensus on specific subjects through rounds of questionnaires [47]. This method involves a structured communication process with a defined group of experts and is based on the principle of individual and anonymous exchanges. The purpose for the present study was to identify and refine the most pertinent items for our measurement tool [48].

Four rounds of questionnaires were conducted between November 2021 and January 2022 ([Fig 1](#)). At each stage, the questionnaire was submitted to the expert panel via the Drag'n Survey tool (RGPD compatible). It was modified between each stage by the steering committee,



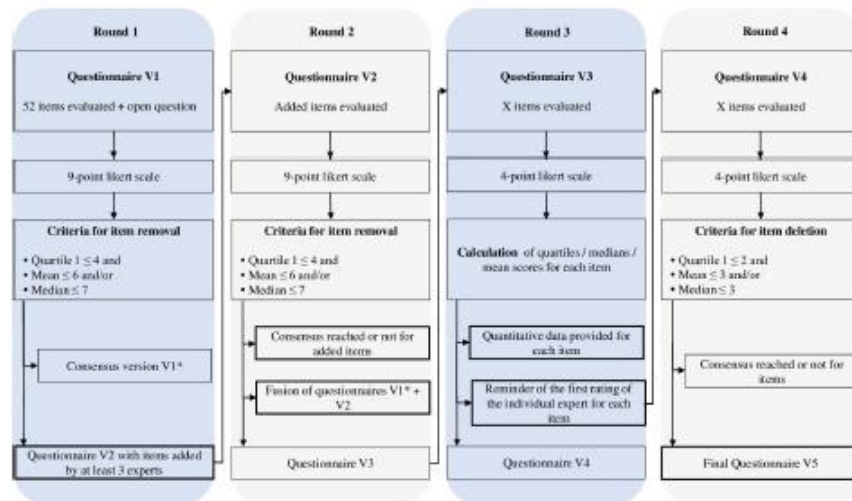
**Fig 1. Study schedule for the DELPHI method.**

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276303.g001>

according to the comments from the expert panel. No personal data were collected online. The criteria for selection of the consensus-validated items are presented in [Fig 2](#).

### Delphi round 1

In the first round, the initial questionnaire (V1) was submitted to the expert panel. They were asked to rate each item according to the degree of importance of the item in their opinion using a 9-point Likert-type scale [51] ranging from 'strongly disagree' (score = 1) to 'strongly



**Fig 2. Item selection criteria for the DELPHI method.**

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276303.g002>

agree' (score = 9). An open-ended question provided at the end asked the experts to provide any comments, add items they felt were missing or rephrase items if they felt it was necessary in order to ensure the comprehensibility of each question and the possible answers of the individuals completing it.

We then selected the questionnaire items according to the ratings [52]. An item was removed if 25% of the experts rated it  $\leq 4$  (1st quartile score) and if the mean score was  $\leq 6$  and/or the median score was  $\leq 7$ . The items retained constituted the V1\* questionnaire.

Additional items suggested by the experts in response to the open-ended question were retained if they were suggested by at least 3 (questionnaire V2).

### Delphi round 2

The second round followed the same process as the first but involved only the 3 items that were added or modified by the panel during round 1 (questionnaire V2).

After validation by the experts, the items of the V2 questionnaire were added to the V1\* questionnaire to create questionnaire V3.

### Delphi round 3

In the third round, the experts evaluated questionnaire V3. A 4-point Likert-type scale was used: 1 for "strongly disagree", 2 for "disagree", 3 for "agree" and 4 for "strongly agree". The reason for the change in scale was to force the experts to decide between agreement or disagreement for each item. The results of this round were used to create questionnaire V4.

### Delphi round 4

In the fourth round, the experts were provided with the statistical parameters of position (median, mean) and dispersion (interquartile range) of the ratings of the whole expert panel for each item in V3 as well as their own first rating of each item so that they could compare their responses with those of the rest of the panel. The 4-point Likert-type scale was again used for the rating of each item.

Items that did not reach consensus were discarded, i.e. those with a score with a 1<sup>st</sup> quartile  $\leq 2$  (indicating that 25% of experts disagreed), and a mean score  $\leq 3$  and/or a median score  $\leq 3$ .

The retained items constituted the final version (V5).

### Statistical analysis

We described continuous and ordinal variables by their position (mean, median) and dispersion (standard deviation, interquartile range) and categorical variables by their distribution.

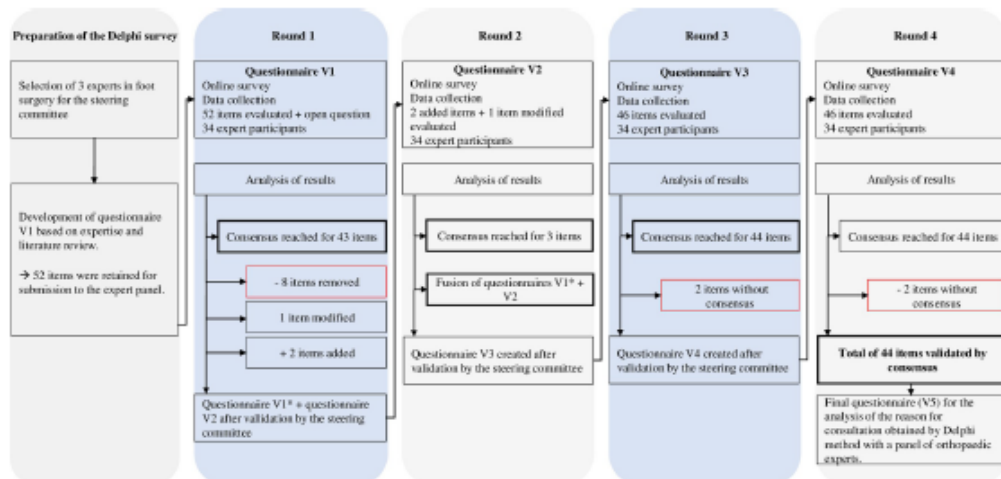
The analyses were carried out using R software version 4.1.0.

## Results

### Reasons for dissatisfaction with surgical outcomes

Of the 6080 individuals who underwent hallux valgus repair between 2015 and 2021, 853 (14.0%) consulted our unit because of dissatisfaction. Comparison of the reasons for dissatisfaction with the motives for repair revealed that 100% of the individuals had not fully expressed their motives at the initial consultation.

The subjective expectations that were not fully expressed during the pre-surgical consultation and that were not resolved by the repair related to footwear issues (309/853; 36.2%), aesthetic appearance (160/853; 18.8%), functional limitations (127/853; 14.9%) and pain in the foot outside the first ray (257/853; 30.1%).



**Fig 3. Process for obtaining consensus with the DELPHI method.**

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276303.g003>

### Results of the questionnaire rounds

The process used to reach the final version of the questionnaire is shown in Fig 3.

In round 1, 8 items were removed (height, weight, shoe size, family history of deformity, history of sprains, sprain rehabilitation, fracture rehabilitation, daily use of stairs) (Table 2). The item regarding wearing safety shoes was reworded. The experts proposed 18 additional items for inclusion in the questionnaire, of which 2 were added.

In the round 2, the 2 previously added items (location of pain, patient anxiety) and the modified item (wearing shoes at work) were validated (Table 2).

In round 3, 2 items met the conditions for elimination in the final stage if the rating was maintained in the following round (history of fractures and use of stairs during physical activity) (Table 2).

During round 4, 14.3% (224/1564) of the responses were modified because the experts changed their opinion.

The items with the highest frequency of change of opinion related to:

- hallux pain due to skin lesions (9/34; 26.5% change of opinion)
- daily stair use (9/34; 26.5% change of opinion)
- self-reported hallux valgus deformity in the right foot (8/34; 23.5% change of opinion) and left foot (7/34; 20.6% change of opinion)
- asymmetry between the feet considered unsightly by the individual (8/34; 23.5%).
- The two items eligible for elimination in the previous stage were definitively eliminated (Table 2).

In total, 44 items were retained, of which 13 related to the individual's clinical and psychological profile, 5 to pain, 9 to physical and functional discomfort, 4 to aesthetic appearance and 13 to footwear and use of orthopaedic devices.



Table 2. Selection of items in the Delphi method.

Items discarded after round 1			
Item	Ratings by the expert panel		
	Median	Quartile 1	Mean
Height	2.5	1.25	3.9
Weight	6.5	4.0	5.8
Shoe size	3.0	2.0	4.0
Family history of deformity	5.0	3.0	5.7
History of sprains	5.0	2.0	4.7
Rehabilitation for sprains	5.0	2.25	5.0
Rehabilitation for fractures	5.0	3.0	4.9
Daily stair use	6.0	3.25	5.8
Items added after round 2			
	Median	Quartile 1	Mean
Pain location	9.0	9.0	8.8
Anxiety	8.0	5.3	6.9
Special shoes at work	9.0	8.0	8.2
Items at risk of being discarded after round 3			
	Median	Quartile 1	Mean
History of fractures	3.0	2.0	2.9
Stairs during physical activity	3.0	2.0	2.9
Items discarded after round 4			
	Median	Quartile 1	Mean
History of fractures	3.0	2.0	2.8
Stairs during physical activity	3.0	2.0	2.9

Ratings on a 9-point Likert-type scale for rounds 1 and 2 and a 4-point Likert-type scale for rounds 3 and 4.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276303.t002>

## Discussion

To our knowledge, this is the only study to have attempted to develop a tool to identify patient expectations during a pre hallux valgus repair consultation to improve satisfaction with post-operative outcomes. The study is original in that it involved an inverse approach that began with the reasons for dissatisfaction with hallux valgus repair of 853 individuals. The reasons for dissatisfaction were grouped into 4 themes according to the literature (pain, footwear, aesthetics and physical activity), and a 52-item questionnaire was drafted. The pertinence of the items was then improved by a 4-round Delphi approach which resulted in the final 44 item questionnaire.

## Expert panel

We chose to include only French-speaking clinicians in the expert panel since our aim was to design a questionnaire for use in France. We included a high proportion of orthopaedic surgeons (79.4%) because these professionals are the most often consulted preoperatively. However, we also included other types of clinicians because individuals who are dissatisfied with surgical outcomes do not always return to their surgeon but may prefer to seek advice from other types of foot expert.

The mean age (50.4, SD 9.6 years), number of years of practice (20.8, 10.6 years) and experience with foot deformities (20.3, 9.3 years) of the expert panel demonstrated that they were indeed experts. They kept their knowledge up to date through post graduate courses, attending

symposia about hallux valgus management, and as members of learned societies. In addition, the majority (77%) of experts had published in this domain.

### Reasons for dissatisfaction

According to the literature, individuals seeking hallux valgus repair expect an improvement in pain, aesthetics, footwear or function [7, 53]; this corresponded to the reasons for dissatisfaction found in our review of medical records (S2 File). Studies have related dissatisfaction with hallux valgus repair to post-surgical complications and have reported rates of dissatisfaction between 10.6 and 33% depending on the surgical technique used [31, 37, 54, 55]. Therefore, the 14.0% rate of dissatisfaction in the present study is within the range of other studies, however our results show that the dissatisfaction was not caused by complications, but by a lack of achievement of expectations.

The results of the review of dissatisfaction showed a 30.1% rate of post repair pain, which is similar to the 31% rate in the literature; furthermore, pain mainly affected the forefoot but not the 1<sup>st</sup> ray, which corresponds to the location reported in the literature [37, 56].

We found that 36.2% of individuals were dissatisfied post repair because of footwear issues. One study found that foot width did not change after surgery in 37% of cases and that it actually widened in 18% of cases [57]. Another study found that 14% of individuals still experienced discomfort even with comfortable footwear post repair [58]. Together with our results, our findings support the suggestion by Robinson et al. [58] that preoperative counselling is essential to ensure realistic expectations from repair.

Hallux valgus has been found to limit function in 15% of affected individuals [59], however, repair improves function in most cases [32]. Our results agree with this in that 85% of the dissatisfied individuals were not dissatisfied with the functional outcomes of the repair. However, 15% expected to achieve a higher level of functional improvement post repair than that which occurred, and this was the cause of their dissatisfaction: again, this demonstrates the importance of a preoperative discussion about the goals of surgery.

The American Orthopedic Foot Ankle Society Board of Directors published a statement that hallux valgus surgery should not be performed for aesthetic purposes [60]. As a result, there is a lack of data relating to the impact of repair on aesthetic outcomes with which to compare the rate of dissatisfaction of the individuals in the present study. According to the literature, individuals consider the aesthetic results of repair as good/excellent in 88% to 96% of cases: this is based on subjective perception of 1<sup>st</sup> ray alignment and the visual appearance of the scar [61–63]. The higher rate of dissatisfaction in the present study (19%) could be explained by other aesthetic considerations, such as asymmetry in the morphology of the two feet.

These results show that dissatisfaction may not only be related to complications as reported in the literature [37] but to an expression of expectations that is only partial. A typical example is problems with footwear: the individual explains to the surgeon that they want surgery to resolve their footwear problems. The surgeon assumes that the problems are caused by rubbing of the exostoses, which they remove during surgery. However, the person is not fully satisfied because what they really wanted was to be able to wear their tango shoes from the 1980's again. Such personal goals may be difficult to ascertain during a consultation [53]; this supports the development of a tool to facilitate the identification of individuals' expectations from hallux valgus repair.

### Development of the questionnaire and validation of items by the expert panel

Of the 52 items in the initial questionnaire developed by the steering committee from the reasons for dissatisfaction of the 853 individuals, 44 were validated by the expert panel.

Among the general questions, age and sex were retained. Hallux valgus is more frequent in women than men and in older than younger people [4, 58], furthermore, women tend to have greater difficulties with shoe fitting because of hallux valgus than men. Although age does not appear to have an impact on surgical outcomes [64, 65], older people tend to have a more sedentary lifestyle than younger people [66] and may therefore have different functional expectations that should be considered in the surgical decision.

The first item that related to expectations involved ranking the motives for consultation in their order of importance to the individual (pain, footwear, physical activity and aesthetics). This item achieved the full consensus of the panel. None of the terms were modified, which demonstrates that they encompass the main motives for repair according to the panel's experience. The following item asked about the time expected by the individual for improvement to occur. This also achieved full consensus. The individual must be aware of the healing time to avoid increases in function or the wearing of certain types of footwear too rapidly, which could risk damaging the repair [67].

The items relating to pain were all validated by the expert panel; the experts also added an item relating to pain location. This makes sense since hallux valgus may cause pain in areas other than the first metatarsophalangeal joint, such as the lateral metatarsals [27]. A precise analysis of the extent of preoperative pain is essential since the degree of preoperative pain may influence postoperative persistence of pain [56]. Furthermore, metatarsal pain can arise secondary to hallux valgus surgery [37, 68]; a thorough identification of pain areas may therefore limit dissatisfaction arising from poor identification of preoperative pain.

The panel validated all the items relating to aesthetics, confirming reports in the literature that many individuals seek repair to improve the aesthetic appearance of their foot [43, 45, 69]. Furthermore, aesthetic perceptions may influence pain levels and the functional benefits of surgery [69]. Since hallux valgus repair should not be performed for cosmetic reasons [59], such motives must be ascertained preoperatively.

All the items that concerned physical activity, daily life and occupation were validated, except for stair-use. Resuming previous activities, including sports may be an important motive for hallux valgus repair for some individuals [70]. Therefore, the identification of specific functional objectives is very important to ensure that they are realistic. Hallux valgus repair may also require a period of sick leave [71], therefore the person must be aware of the potential duration of their recovery to plan accordingly.

Some individuals want hallux valgus repair so they can wear standard or specific types of footwear [58]. This obviously corresponded with the panel's experience since they validated all items relating to footwear and expanded the item relating to footwear at work to encompass all types of footwear. Studies have shown that hallux valgus repair improves foot morphology [57, 72] and shoe fitting [58], however, it is not always possible to return to wearing all kinds of shoes (e.g. high heels) postoperatively. Expectations and likely outcomes should therefore be thoroughly discussed prior to surgery.

Many individuals with hallux valgus use orthotic devices. The results of our review of the reasons for dissatisfaction showed that some individuals were disappointed if they still required an orthotic device post-surgery, particularly if they had not been informed of this preoperatively (S2 File). All the items relating to orthotic devices were validated by the expert panel. This section of the questionnaire should be useful to determine if orthotics have not been attempted: they could be tried as they may avoid the need for surgery, particularly if the person's motive is to reduce pain [73, 74].

### Discarded items

Eight items that were included in the initial questionnaire were discarded by the expert panel. Among the general items, weight and height were discarded: these variables are unlikely to

influence the motive for hallux valgus repair [75–77] and were thus unnecessary. In addition, these data are systematically collected before the consultation as they are part of the medical file.

We were surprised that the items relating to shoe size and family history of deformity were discarded since these issues were frequent reasons for dissatisfaction (S2 File). They may be considered to be related to the aesthetic aspects of hallux valgus, and therefore not indicative of a surgical procedure, which may explain the choice of the panel who found these items not useful [58].

A history of ankle sprain or fracture was a source of post-repair dissatisfaction for some of the individuals. If some instability remained, it could be exacerbated by the anatomical changes caused by the repair [78–80]. However, to our knowledge, no such reports of increased instability post repair exist in the literature, which may explain why the experts removed this item.

We included items about stair-use because pain on stairs was a complaint of a proportion of the sample. However, the experts may have considered that, in contrast with hallux rigidus, hallux valgus deformity does not systematically limit extension of the first metatarsophalangeal joint and thus should not limit stair use [81, 82]. Furthermore, metatarsophalangeal joint arthrodesis, which might affect stair climbing, is usually only performed in the case of severe deformities or during surgical revision [83, 84].

### Additional items

Anxiety was not an issue that emerged from the review of the reasons for dissatisfaction, therefore we had not included this concept in the initial questionnaire. Although, the association between psychological symptoms or personality traits and postoperative outcomes is somewhat debated [85, 86], anxiety and depression may increase pre-surgical expectations, levels of pain perception, and post-surgical dissatisfaction [87, 88]. The panel therefore felt that questions about anxiety relating to the individual's personal or professional situation, the foot deformity, the surgical procedure, or what would happen if surgery was not undertaken were necessary. These questions should facilitate consideration of the psychological aspects relating to hallux valgus and its repair in treatment planning, and particularly the decision to perform a surgical intervention.

### Evaluation of hallux valgus

Although the Manchester scale has been validated against radiographic measurements and can indicate pressure thresholds related to deformity, the decision to undertake surgery cannot be based on visual observation alone [89, 90]. However, the role of radiographic findings in surgical decision making is debated. There appears to be no correlation between the severity of pre-operative hallux valgus, radiographic correction of the deformity and the post-op SF 36 quality of life score [32]. Since in orthopaedic surgery, subjective, functional and objective outcomes are not always related, the results of hallux valgus surgery cannot be reduced to the radiographic outcome alone [7]. Radiological measurements can bias the interpretation of the deformity and should always be compared with the clinical examination data [24]. There are difficulties associated with defining each individual's deformity despite imaging, and thus the optimal choice of management. The three-dimensional classification of hallux abducto valgus may be unreliable, supporting the fact that two-dimensional radiographs are limited for the assessment of three-dimensional deformity [91]. With the development of Cone beam weight-bearing computed tomography, a new classification system may be necessary. The three-dimensional pattern of the deformity must be understood in order to plan surgery.

Stato-dynamic baropodometry is necessary for a functional evaluation of the foot. However, it is currently mainly used to assess post-surgical outcomes in terms of changes in plantar pressures, because criteria have not been defined for diagnosis and surgical decision making [92–96]. Studies are still needed to assist diagnosis and facilitate surgical decisions.

The difficulties associated with assessment and classification of hallux valgus support our pre-surgical questionnaire to limit the risk of inappropriate decision making. The evaluation tools for hallux valgus allow a decision to be made according to the anatomical relevance of the surgical procedure to be carried out, but do not evaluate the relevance in relation to the individual's expectations for their life after surgery. The biomechanics of this three-dimensional deformity are extremely complex and understanding the individual's expectations is a challenge.

The questionnaire validated by the Delphi method in the present study could be completed prior to a consultation for surgical advice, without encroaching on the practitioner's time. Further studies are now needed to validate its clinical utility for individuals with hallux valgus.

### Limitations

We did not investigate possible external influences (social media and marketing) on the individual's decision to undergo hallux valgus surgery.

We also did not consider the individual's history of medical/paramedical consultations for the hallux valgus deformity or the possible etiologies of the deformity (family history, congenital aspect, etc.), as this information should be documented in the medical file.

Although this questionnaire is intended to limit the risk of surgical decision-making being influenced by personal factors or medical jargon used by practitioners, it will not prevent an unbalanced caregiver-patient relationship.

### Conclusion

Using data relating to dissatisfaction with hallux valgus repair and the Delphi method, we developed a 44-item questionnaire to determine individuals' expectations from surgical repair. We believe the use of this questionnaire will reduce dissatisfaction with postoperative outcomes by ensuring that surgical objectives and methods match expectations. Further studies are now required to evaluate the psychometric properties of this tool, and to create a scoring method that would allow surgeons to rapidly determine if the individual's expectations are appropriate. The next step is to validate this questionnaire in a large sample of individuals with hallux valgus to evaluate the benefits of supporting individuals to discern their reason for consultation. Following this, clinical trials should assess the effect of use of the questionnaire on post operative satisfaction.

### Supporting information

**S1 File. Questionnaire to determine the reasons for consultation.**  
(PDF)

**S2 File. Main subjective expectations that were not fully expressed during the pre-surgical consultation and not resolved by hallux valgus repair.**  
(PDF)

### Acknowledgments

We thank Johanna Robertson for language assistance and constructive criticism, and all the participants in the study.

## Author Contributions

**Conceptualization:** Cédric Blouin, Wilfrid Graff, Antoine Perrier.

**Data curation:** Cédric Blouin.

**Formal analysis:** Cédric Blouin.

**Funding acquisition:** François Genet.

**Investigation:** Cédric Blouin, Antoine Perrier.

**Methodology:** Cédric Blouin, Wilfrid Graff, Antoine Perrier.

**Project administration:** Cédric Blouin, Wilfrid Graff, Antoine Perrier.

**Resources:** Cédric Blouin.

**Software:** Cédric Blouin, Antoine Perrier.

**Supervision:** Cédric Blouin, François Genet, Wilfrid Graff, Antoine Perrier.

**Validation:** Cédric Blouin, François Genet, Wilfrid Graff, Antoine Perrier.

**Visualization:** Cédric Blouin, François Genet, Wilfrid Graff, Antoine Perrier.

**Writing – original draft:** Cédric Blouin, François Genet, Philippe Denormandie, Wilfrid Graff, Antoine Perrier.

**Writing – review & editing:** Cédric Blouin, François Genet, Philippe Denormandie, Wilfrid Graff.

## References

1. Goightly YM, Hannan MT, Dufour AB, Hillstrom HJ, Jordan JM. Foot Disorders Associated With Overpronated and Oversupinated Foot Function: The Johnston County Osteoarthritis Project. *Foot Ankle Int.* 2014; 35: 1159–1165. <https://doi.org/10.1177/1071100714543907> PMID: 25037712
2. Nix S, Smith M, Vienozino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res.* 2010; 3: 21. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-21> PMID: 20668524
3. Ferrari-Portalaix C, Perrier A. Hallux valgus: traitements médical et podologiques. *Hallux valgus.* 2020; 10.
4. Lafenêtre O, Solofomalala G, de Lavigne C, Bauer T. Hallux valgus: techniques chirurgicales. *EMC—Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie.* 2010; 5: 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0246-0467\(10\)51076-6](https://doi.org/10.1016/S0246-0467(10)51076-6)
5. Morika K, Uslinski P. Hallux valgus—a case for a physiotherapist or only for a surgeon? Literature review. *J Phys Ther Sci.* 2015; 27: 3303–3307. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.3303> PMID: 26644698
6. Maestro M, Schramm M, Bonnel F. Anatomie et biomécanique de l'avant-pied. 2018; 22. [https://doi.org/10.1016/S0292-062X\(18\)79342-2](https://doi.org/10.1016/S0292-062X(18)79342-2)
7. Pidet-Legré B, Graff W, Association française de chirurgie du pied. Hallux valgus. 2017. Available: <http://ezproxy.usherbrooke.ca/login?url=http://www.sciencedirect.com/science/book/9782294750663>
8. Ray JJ, Friedmann AJ, Hanselman AE, Valda J, Dayton PD, Hatch DJ, et al. Hallux Valgus. *Foot & Ankle Orthopaedics.* 2019; 4: 247301141983850. <https://doi.org/10.1177/2473011419838500> PMID: 35097321
9. Garrow AP, Papageorgiou A, Silman AJ, Thomas E, Jayson MIV, Macfarlane GJ. The Grading of Hallux Valgus. *Journal of the American Podiatric Medical Association.* 2001; 91: 74–78. <https://doi.org/10.7547/87507315-91-2-74> PMID: 11266481
10. Coughlin MJ. Juvenile Hallux Valgus: Etiology and Treatment. *Foot Ankle Int.* 1995; 16: 682–697. <https://doi.org/10.1177/107110079501601104> PMID: 8589807
11. Brage ME, Holmes JR, Sangeorzan BJ. The Influence of X-Ray Orientation on the First Metatarsocuneiform Joint Angle. *Foot Ankle Int.* 1994; 15: 495–497. <https://doi.org/10.1177/107110079401500907> PMID: 7820242

12. Sorto LA, Balding MG, Weil LS, Smith SD. Hallux abductus interphalangeus. Etiology, x-ray evaluation and treatment. 1975. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1992; 82: 85–97. <https://doi.org/10.7547/87507315-82-2-85> PMID: 1564645
13. Coughlin MJ, Saltzman CL, Nurley JA. Angular Measurements in the Evaluation of Hallux Valgus Deformities: A Report of the Ad Hoc Committee of the American Orthopaedic Foot & Ankle Society on Angular Measurements. *Foot Ankle Int.* 2002; 23: 68–74. <https://doi.org/10.1177/1071100702023001114> PMID: 11822897
14. Coughlin MJ, Jones CP. Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int.* 2007; 28: 759–777. <https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0759> PMID: 17666168
15. Zhang L, Wang J, Liu J, Luo J. Classification of Hallucal Sesamoid Bone Correlated with Hallux Valgus Severity. *BioMed Research International.* 2020; 2020: 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/9658916> PMID: 32685550
16. Hardy RH, Clapham JCR. Observations on Hallux Valgus; based on a controlled series. *The Journal of Bone and Joint Surgery British volume.* 1951; 33-B: 376–391. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.33B3.376> PMID: 14861244
17. Smith RW, Reynolds JC, Stewart MJ. Hallux Valgus Assessment: Report of Research Committee of American Orthopaedic Foot and Ankle Society. *Foot & Ankle.* 1984; 5: 92–103. <https://doi.org/10.1177/107110078400500208> PMID: 6389278
18. Agrawal Y, Desai A, Mehta J. Lateral sesamoid position in hallux valgus: Correlation with the conventional radiological assessment. *Foot and Ankle Surgery.* 2011; 17: 308–311. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2011.01.001> PMID: 22017908
19. Kuwano T, Nagamine R, Sakaki K, Urabe K, Iwamoto Y. New Radiographic Analysis of Sesamoid Rotation in Hallux Valgus: Comparison with Conventional Evaluation Methods. *Foot Ankle Int.* 2002; 23: 811–817. <https://doi.org/10.1177/107110070202300907> PMID: 12356178
20. Talbot KD, Saltzman CL. Assessing sesamoid subluxation: how good is the AP radiography. *Foot Ankle Int.* 1998; 19: 547–554. <https://doi.org/10.1177/107110079801900608> PMID: 9728703
21. Hatch DJ, Santrock RD, Smith B, Dayton P, Weil L. Triplane Hallux Abducto Valgus Classification. *The Journal of Foot and Ankle Surgery.* 2018; 57: 972–981. <https://doi.org/10.1053/j.fas.2018.02.008> PMID: 29784530
22. Mansur NSB, Lalevee M, Schmidt E, Dillbern K, Wagner P, Wagner E, et al. Correlation between indirect radiographic parameters of first metatarsal rotation in hallux valgus and values on weight-bearing computed tomography. *International Orthopaedics (SICOT).* 2021; 45: 3111–3118. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-05136-9> PMID: 34383104
23. Yildirim Y, Cabukoglu C, Erol B, Esemeli T. Effect of Metatarsophalangeal Joint Position on the Reliability of the Tangential Sesamoid View in Determining Sesamoid Position. *Foot Ankle Int.* 2005; 26: 247–250. <https://doi.org/10.1177/107110070502600311> PMID: 15766429
24. de Cesar Netto C, Richter M. Use of Advanced Weightbearing Imaging in Evaluation of Hallux Valgus. *Foot and Ankle Clinics.* 2020; 25: 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.facl.2019.10.001> PMID: 31997745
25. Martínez-Nova A, Sánchez-Rodríguez R, Pérez-Soriano P, Llana-Belloch S, Leal-Muro A, Pedreira-Zamorano JD. Plantar pressures determinants in mild Hallux Valgus. *Gait & Posture.* 2010; 32: 425–427. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.06.015> PMID: 20643550
26. Wen J, Ding Q, Yu Z, Sun W, Wang Q, Wei K. Adaptive changes of foot pressure in hallux valgus patients. *Gait & Posture.* 2012; 36: 344–349. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.03.030> PMID: 2255063
27. Verdu Roman C, Martínez Gimenez E, Bustamante Suarez de Puga D, Mas Martínez J, Morales Santos M, Sanz-Reig J. Hallux valgus with and without metatarsalgia in women: a matched-cohort study of plantar pressure measurements. *UOO.* 2021; 55: 436–444. <https://doi.org/10.1007/s43466-021-00416-3> PMID: 34306558
28. Verdu-Roman C, Sanz-Reig J, Martínez-Gimenez E, Orozco-Beltrán D, Quesada JA, Lopez-Pineda A, et al. Association between preoperative dynamic plantar pressures and clinical outcomes at 6 months after hallux valgus surgery. *Fuß & Sprunggelenk.* 2019; 17: 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.fuspru.2019.01.001>
29. Verdu-Roman C, Sanz-Reig J, Martínez-Gimenez E, Carstala-Munuera C, Lopez-Pineda A, Quesada JA, et al. Plantar pressure improvement in moderate hallux valgus with modified chevron osteotomy: Clinical and radiographic outcomes. *Foot and Ankle Surgery.* 2020; 26: 205–208. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2019.02.006> PMID: 30871917
30. Hamilton DF, Lane JV, Gaston P, Patton JT, MacDonald D, Simpson AHRW, et al. What determines patient satisfaction with surgery? A prospective cohort study of 4709 patients following total joint replacement. *BMJ Open.* 2013; 3: e002525. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-002525> PMID: 23675998

31. Lim JBT, Chou ACC, Yeo W, Lo NN, Chia S-L, Chin PL, et al. Comparison of patient quality of life scores and satisfaction after common orthopedic surgical interventions. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2015; 25: 1007–1012. <https://doi.org/10.1007/s00590-015-1635-0> PMID: 25893611
32. Thordarson D, Ebrahizadeh E, Moorthy M, Lee J, Rudicel S. Correlation of hallux valgus surgical outcome with AOFAS forefoot score and radiological parameters. *Foot Ankle Int*. 2005; 26: 122–127. <https://doi.org/10.1177/107110070502600202> PMID: 15737253
33. Baca E, Tuy E, Çelen KM. Can radiology reflect patient satisfaction after hallux valgus surgery? *Eklemler Hastalıkları Cerrahisi*. 2019; 30: 241–245. <https://doi.org/10.5806/ehc.2019.66668> PMID: 31660920
34. Matthews M, Klein E, Yousef A, Wei L, Sorensen M, Weil LS, et al. Correlation of Radiographic Measurements With Patient-Centered Outcomes in Hallux Valgus Surgery. *Foot Ankle Int*. 2018; 39: 1416–1422. <https://doi.org/10.1177/1071100718790255> PMID: 30136598
35. Baumhauer JF, McIntosh S, Rechtine G. Age and Sex Differences Between Patient and Physician-Derived Outcome Measures in the Foot and Ankle: The Journal of Bone and Joint Surgery—American Volume. 2013; 95: 209–214. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.01467> PMID: 23389783
36. Kitaoka HB, Alexander LJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS, Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int*. 1994; 15: 349–353. <https://doi.org/10.1177/107110079401500701> PMID: 7951968
37. Barg A, Harmer JR, Presson AP, Zhang C, Lackey M, Saltzman CL. Unfavorable Outcomes Following Surgical Treatment of Hallux Valgus Deformity: A Systematic Literature Review. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2018; 100: 1563–1573. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.00975> PMID: 30234626
38. Singh Ospina N, Phillips KA, Rodriguez-Gutierrez R, Castaneda-Guarderas A, Gionfriddo MR, Branda ME, et al. Eliciting the Patient's Agenda—Secondary Analysis of Recorded Clinical Encounters. *J GEN INTERN MED*. 2019; 34: 36–40. <https://doi.org/10.1007/s11606-018-4540-5> PMID: 29968051
39. Schut HA, Stam HJ. Goals in rehabilitation teamwork. *Disability and Rehabilitation*. 1994; 16: 223–226. <https://doi.org/10.3109/09638289409166616> PMID: 7812023
40. Krasny-Pacini A, Hiebel J, Pauly F, Godon S, Chevignard M. Goal Attainment Scaling in rehabilitation: A literature-based update. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2013; 56: 212–230. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.02.002> PMID: 23562111
41. Hunt KJ, Hurwit D. Use of Patient-Reported Outcome Measures in Foot and Ankle Research: The Journal of Bone & Joint Surgery. 2013; 95: e118. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01476> PMID: 23965711
42. Schrier JCM, Palmen LN, Verheyen CCPM, Jansen J, Koëter S. Patient-reported outcome measures in hallux valgus surgery. A review of literature. *Foot and Ankle Surgery*. 2015; 21: 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2014.11.004> PMID: 25682400
43. Tai C, Riddeway S, Ramchandran M, Ng V, Devic N, Singh D. Patient Expectations for Hallux Valgus Surgery. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2008; 16: 91–95. <https://doi.org/10.1177/230949900801600121> PMID: 18453668
44. Schneider W, Knahr K. Surgery for hallux valgus. The expectations of patients and surgeons. *International Orthopaedics (SICOT)*. 2001; 25: 382–385. <https://doi.org/10.1007/s002640100289> PMID: 11820447
45. Wilkinson AN, Maher AJ. Patient expectations of podiatric surgery in the United Kingdom. *J Foot Ankle Res*. 2011; 4: 27. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-27> PMID: 22145971
46. Okoli C, Pawlowski SD. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. 2004; 15.
47. Dalkey N, Helmer O. An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. *Management Science*. 1963; 9: 458–467. <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.3.458>
48. McCarthy C, Rushton A, Bills V, Arnall F, Oldham J. Development of a clinical examination in non-specific low back pain: a Delphi technique. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2006; 38: 263–267. <https://doi.org/10.1080/16501970600632768> PMID: 16801210
49. O'Brien BC, Harris IB, Beckman TJ, Reed DA, Cook DA. Standards for reporting qualitative research: a synthesis of recommendations. *Acad Med*. 2014; 89: 1245–1251. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000388> PMID: 24979285
50. Maleki K. Méthodes quantitatives de consultation d'experts: Delphi, Delphi public, Abaque de Régulier et impacts croisés. Paris: Publibook; 2009.
51. Likert R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*. 1932; 22(140): 55–55.
52. Boukaidid R, Abdou H, Loutau M, Sibony O, Alberti C. Using and Reporting the Delphi Method for Selecting Healthcare Quality Indicators: A Systematic Review. Wright JM, editor. *PLoS ONE*. 2011; 6: e20476. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020476> PMID: 21694759



53. Parker J, Nester CJ, Long AF, Barrie J. The Problem with Measuring Patient Perceptions of Outcome with Existing Outcome Measures in Foot and Ankle Surgery. *Foot Ankle Int.* 2003; 24: 56–60. <https://doi.org/10.1177/107110070302400109> PMID: 12540083
54. Barg A, Saltzman C. Outcomes Following Surgical Treatment of Hallux Valgus Deformity: A Systematic Literature Review. *Foot & Ankle Orthopaedics.* 2017; 2: 2473011417S0001. <https://doi.org/10.1177/2473011417S000110>
55. Ferrari J, Higgins JPT, Prior TD. Interventions for treating hallux valgus (abductovalgus) and bunions. *Cochrane Database Syst Rev.* 2004; CD000964. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000964.pub2> PMID: 14973960
56. Chen JY. Pain Resolution After Hallux Valgus Surgery. *Foot & Ankle Society.* 2016; 5. <https://doi.org/10.1177/1071100716653084> PMID: 27325622
57. Tenerbaum SA, Herman A, Bruck N, Barreau JT, Thein R, Cofman O. Foot Width Changes Following Hallux Valgus Surgery. *Foot Ankle Int.* 2018; 39: 1272–1277. <https://doi.org/10.1177/1071100718783458> PMID: 29952666
58. Robinson C, Bhosale A, Pillai A. Footwear modification following hallux valgus surgery: The all-or-none phenomenon. *WJM.* 2016; 6: 171. <https://doi.org/10.5662/wjm.v6.i2.171> PMID: 27376022
59. Souza Júnior EA, Vieira MCT, Baumfeld TS, Soares Baumfeld D. Patients' perspective on the surgical treatment of hallux valgus. *J Foot Ankle.* 2020; 14: 36–40. <https://doi.org/10.30795/jfootankle.2020.v14.1166>
60. AOFAS Board of Directors. Position statement cosmetic foot and ankle surgery. 2015. Available: [https://www.aofas.org/docs/default-source/research-and-policy/position\\_statement\\_on\\_cosmetic\\_foot\\_and\\_ankle\\_surgery.pdf?sfvrsn=0416380b\\_2](https://www.aofas.org/docs/default-source/research-and-policy/position_statement_on_cosmetic_foot_and_ankle_surgery.pdf?sfvrsn=0416380b_2)
61. Rossi WR, Ferreira JC. Chevron osteotomy for hallux valgus. *Foot Ankle.* 1992; 13: 378–381. <https://doi.org/10.1177/107110079201300702> PMID: 1427526
62. Oh IS, Choi SW, Kim MK, Lee SY, Lee JS. Clinical and Radiological Results after Modified Distal Metatarsal Osteotomy for Hallux Valgus. *Foot Ankle Int.* 2008; 29: 473–477. <https://doi.org/10.3113/FAI-2008-0473> PMID: 18510898
63. Glotis D, Paschos NK, Zampeli F, Gannoulis D, Gantsos A, Mantellos G. Modified Chevron osteotomy for hallux valgus deformity in female athletes. A 2-year follow-up study. *Foot Ankle Surg.* 2016; 22: 181–185. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2015.07.004> PMID: 27502227
64. Goh GS, Tay AYW, Thever Y, Koo K. Effect of Age on Clinical and Radiological Outcomes of Hallux Valgus Surgery. *Foot Ankle Int.* 2021; 42: 798–804. <https://doi.org/10.1177/1071100720982975> PMID: 33451267
65. Milnes HL, Kilmartin TE, Dunlop G. A pilot study to explore if the age that women undergo hallux valgus surgery influences the post-operative range of motion and level of satisfaction. *Foot (Edinb).* 2010; 20: 109–113. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2010.08.003> PMID: 20884197
66. Chastin SFM, Buck C, Freilberger E, Murphy M, Brug J, Carlson G, et al. Systematic literature review of determinants of sedentary behaviour in older adults: a DEDIPAC study. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2015; 12: 127. <https://doi.org/10.1186/s12966-015-0292-3> PMID: 26437960
67. Fournier M, Saxena A, Maffulli N. Hallux Valgus Surgery in the Athlete: Current Evidence. *The Journal of Foot and Ankle Surgery.* 2019; 58: 641–643. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.04.003> PMID: 30448185
68. Bock P, Kluger R, Kristen K-H, Mittböck M, Schuh R, Trnka H-J. The Scarf Osteotomy with Minimally Invasive Lateral Release for Treatment of Hallux Valgus Deformity: Intermediate and Long-Term Results. *The Journal of Bone and Joint Surgery.* 2015; 97: 1238–1245. <https://doi.org/10.2106/JBJS.N.00971> PMID: 26246258
69. Bahar H, Yildiz KI. Association of Visual Appearance on Outcomes After Hallux Valgus Surgery. *Foot Ankle Int.* 2021; 42: 1584–1588. <https://doi.org/10.1177/10711007211019940> PMID: 34189880
70. MacMahon A, Karbassi J, Burket JC, Elliott AJ, Levine DS, Roberts MM, et al. Return to Sports and Physical Activities After the Modified Lapidus Procedure for Hallux Valgus in Young Patients. *Foot Ankle Int.* 2016; 37: 378–385. <https://doi.org/10.1177/1071100715617750> PMID: 26678481
71. Graff W, Biau D, Manach Q. Influence of socio-professional category on the duration of sick leave after hallux surgery. A prospective study of 102 cases. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research.* 2014; 100: S275–S279. <https://doi.org/10.1016/j.oter.2014.05.011> PMID: 25175983
72. Panchbhavi V, Cordova J, Chen J, Janney C. Does Hallux Valgus Correction Reduce the Width of the Forefoot? *Foot & Ankle Specialist.* 2020; 13: 112–115. <https://doi.org/10.1177/1938640019835301> PMID: 30967541

73. Reina M, Lafuente G, Munuera PV. Effect of custom-made foot orthoses in female hallux valgus after one-year follow up. *Prosthetics & Orthotics International*. 2013; 37: 113–119. <https://doi.org/10.1177/0309364612447097> PMID: 22891724
74. Kwan M-Y, Yick K-L, Yip J, Tse C-Y. Hallux valgus orthosis characteristics and effectiveness: a systematic review with meta-analysis. *BMJ Open*. 2021; 11: e047273. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-047273> PMID: 34408037
75. Milczarek MA, Milczarek JJ, Tomasiak B, Laganowski P, Nowak K, Domzalski M. Being overweight has limited effect on SCARF osteotomy outcome for hallux valgus correction. *Int Orthop*. 2017; 41: 765–772. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3419-0> PMID: 28210803
76. Wirth SH, Renner N, Niehaus R, Farel-Campagna J, Deggeller M, Scheurer F, et al. The influence of obesity and gender on outcome after reversed L-shaped osteotomy for hallux valgus. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2019; 20: 450. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2823-6> PMID: 31615482
77. Chen JY, Lee MJH, Rikhrak K, Parmar S, Chong HC, Yew AKS, et al. Effect of Obesity on Outcome of Hallux Valgus Surgery. *Foot Ankle Int*. 2015; 36: 1078–1083. <https://doi.org/10.1177/1071100715581449> PMID: 25881625
78. Tanaka Y, Takakura Y, Fujii T, Kumai T, Sugimoto K. Hindfoot alignment of hallux valgus evaluated by a weightbearing subtalar x-ray view. *Foot Ankle Int*. 1999; 20: 640–645. <https://doi.org/10.1177/107110079902001005> PMID: 10540985
79. Steinberg N, Finestone A, Noff M, Zeev A, Dar G. Relationship between lower extremity alignment and hallux valgus in women. *Foot Ankle Int*. 2013; 34: 824–831. <https://doi.org/10.1177/1071100713478407> PMID: 23460668
80. Lee HY, Lalevee M, Mansur NSB, Vandellone CA, Dillbern KN, Barg A, et al. Multiplanar instability of the first tarsometatarsal joint in hallux valgus and hallux rigidus patients: a case-control study. *Int Orthop*. 2022; 46: 255–263. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-06198-9> PMID: 34468786
81. Arge A, Lenzner A, Gapeyeva H, Pääsuke M. Range of motion and pain intensity of the first metatarsophalangeal joint in women with hallux valgus deformation after two-month home exercise programme. *AKUT*. 2012; 18: 111. <https://doi.org/10.12997/akut.2012.18.12>
82. Gilheany MF, Landorf KB, Robinson P. Hallux valgus and hallux rigidus: a comparison of impact on health-related quality of life in patients presenting to foot surgeons in Australia. *J Foot Ankle Res*. 2008; 1: 14. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-1-14> PMID: 19077213
83. Coughlin MJ, Grebing BR, Jones CP. Arthrodesis of the First Metatarsophalangeal Joint for Idiopathic Hallux Valgus: Intermediate Results. *Foot Ankle Int*. 2006; 26: 783–792. <https://doi.org/10.1177/107110070502601001> PMID: 16221449
84. Smyth NA, Aiyer AA. Introduction: Why Are There so Many Different Surgeries for Hallux Valgus? *Foot and Ankle Clinics*. 2018; 23: 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2018.01.001> PMID: 29729792
85. Klein EE, Wirt C, Greenley R, Well LS, Well L, Fleischer AE. Do Patient Personality Traits and Self-Reported Physical and Psychosocial Symptoms Help to Predict Hallux Valgus Surgery Outcomes? *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 2021; S106725162100510X. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2021.12.019> PMID: 34998678
86. Shakked R, McDonald E, Sutton R, Lynch M-K, Nicholson K, Rakin SM. Influence of Depressive Symptoms on Hallux Valgus Surgical Outcomes. *Foot Ankle Int*. 2018; 39: 795–800. <https://doi.org/10.1177/1071100718762137> PMID: 29820945
87. Henry JK, Barth K, Cororaton A, Hummel A, Cody EA, Mancuso CA, et al. Association of Depression and Anxiety With Expectations and Satisfaction in Foot and Ankle Surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2021; 29: 714–722. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-20-01394> PMID: 34142381
88. Parrini MM, Spada A, Betti S, Randelli P, Cabitza P. Anxiety trait level and patient management in foot surgery. *Orthopaedic Proceedings*. 2009; 91-B: 271–271. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.91BSUPP-II.0910271b>
89. Menzildzic S, Chaudhry N, Petyschuk C. Using Manchester Scale classification of Hallux Valgus as a valuable tool in determining appropriate risk categorization during initial diabetic foot screening in primary health care settings. *Foot (Edinb)*. 2021; 47: 101810. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2021.101810> PMID: 33367522
90. Menz HB, Munteanu SE. Radiographic validation of the Manchester scale for the classification of hallux valgus deformity. *Rheumatology*. 2005; 44: 1061–1066. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keh687> PMID: 15901901
91. Padovano AG, Lalli T, Tennant JN, Martin KD, Santrock RD. The Triplanar Hallux Abducto Valgus Classification System: Is it Valid? *Foot & Ankle Orthopaedics*. 2022; 7: 2473011421S00384. <https://doi.org/10.1177/2473011421S00384>

92. Moerenhout K, Chopra S, Crevoisier X. Outcome of the modified Lapidus procedure for hallux valgus deformity during the first year following surgery: A prospective clinical and gait analysis study. *Clinical Biomechanics*. 2019; 61:205–210. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.12.017> PMID: 30594769
93. Martínez-Nova A, Sánchez-Rodríguez R, Leal-Muro A, Pedrera-Zamoraño JD. Dynamic plantar pressure analysis and midterm outcomes in percutaneous correction for mild hallux valgus. *J Orthop Res*. 2011; 29: 1700–1706. <https://doi.org/10.1002/jor.21449> PMID: 21547939
94. Costa JM, Ávila AOV, Kleinowski DN, Kroth LM, Contreras MEK. Osteotomia em Chevron modificada: análise preliminar do comportamento baropodométrico. *Acta ortop bras*. 2010; 18: 191–196. <https://doi.org/10.1590/S1413-78522010000400003>
95. Schuh R, Hotstaetter SG, Adams SB, Pichler F, Kristen K-H, Trnka H-J. Rehabilitation After Hallux Valgus Surgery: Importance of Physical Therapy to Restore Weight Bearing of the First Ray During the Stance Phase. *Physical Therapy*. 2009; 89: 934–945. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080375> PMID: 19508631
96. Nyska M, Liberson A, McCabe C, Linge K, Klenerman L. Plantar foot pressure distribution in patients with Hallux valgus treated by distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. *Foot and Ankle Surgery*. 1998; 4: 35–41. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9584.1998.00068.x>

## Annexe C. Questionnaire initial de la méthode DELPHI V1

### Questionnaire motif de consultation : Hallux valgus

Nom : 1<sup>ère</sup> initiale : |\_| | Date de naissance : |\_|\_| Mois |\_|\_|\_|\_| Année  
Prénom 1<sup>ère</sup> initiale : |\_| | Rempli le : |\_|\_| |\_|\_| |\_|\_|  
Visite  J0  J15

N° inclusion  
01 |\_|\_|

#### ■ QUESTIONS GENERALES

**Q1** Vous êtes :

- Un homme
- Une femme

**Q2** Quel est votre âge :

Réponse : ..... Ans

**Q3** Quelle est votre taille :

Réponse : ..... cm

**Q4** Quel est votre poids :

Réponse : ..... kg

**Q5** Quel est votre pointure de chaussure :

Réponse : .....

**Q6** Vous avez une déformation du gros orteil au pied droit (hallux valgus).

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

**Q7** Vous avez une déformation du gros orteil au pied gauche (hallux valgus).

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

**Q8** A quel âge est apparu votre déformation du gros orteil ?

A droite : ..... ans

A gauche : ..... ans

**Q9** Vous avez un parent ou grand-parent qui possède cette déformation du gros orteil.

- Oui
- Non
- Je ne sais pas.

**Q10** Classez par ordre d'importance (**du + important au – important**), les motifs vous amenant à consulter pour une chirurgie du pied :

A) Douleurs dans la région du gros orteil

B) Esthétique inadaptée de votre pied

C) Conflit avec les chaussures

D) Limitation des activités quotidiennes

*Exemple de réponse : D > C > B > A*

*Dans cet exemple, le motif de consultation le plus important est la limitation des activités quotidiennes ; le motif de consultation le moins important est la douleur.*

**Votre réponse :** ..... > ..... > ..... > .....

**Q11** Suite à une chirurgie d'hallux valgus, dans quel délai souhaitez-vous obtenir des résultats satisfaisant à vos attentes ?

- 3 - 6 mois
- 6 – 12 mois
- Supérieur à 12 mois
- Autre :  
.....

#### ▪ QUESTIONS RELATIVES A LA DOULEUR

**Q12** Vous avez mal au gros orteil la nuit.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

**Q13** Vous avez mal au gros orteil lorsque vous appuyez au sol.

- Au pied droit  
Pieds nus Oui/Non  
Pieds chaussés Oui/Non
- Au pied gauche  
Pieds nus Oui/Non  
Pieds chaussés Oui/Non

**Q14** Vous avez mal au gros orteil à cause du conflit avec la chaussure.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

**Q15** Vous avez mal au gros orteil à cause des lésions cutanées (cors, durillons).

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

---

■ **QUESTIONS RELATIVES AUX CHAUSSURES**

**Q16** Vous devez prendre une ou plusieurs pointures de chaussures de plus à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q17** Vous devez arrêter de porter des chaussures à talons hauts (> 3cm) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non
- Je n'en porte pas

**Q18** Vous devez porter des chaussures de confort (achat en pharmacie) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q19** Vous devez porter des chaussures ouvertes à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q20** Vous devez porter des chaussures de sport (baskets) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q21** Votre activité professionnelle nécessite le port de chaussures de sécurité.

- Oui
- Non

**Q22** Vous envisagez une chirurgie d'hallux valgus dans l'espoir de pouvoir à nouveau porter des modèles de chaussures avec lesquels il est impossible de se chausser actuellement.

- Oui
- Non

▪ **QUESTIONS RELATIVES A L'ESTHETIQUE**

**Q23** Vous considérez la déformation de votre gros orteil comme moche.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non
- Je n'ai pas d'avis

**Q24** Vous considérez les autres orteils déformés comme moches.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non
- Je n'ai pas les autres orteils déformés
- Je n'ai pas d'avis

**Q25** Vous considérez la différence de forme entre vos pieds droit et gauche (asymétrie) comme moche.

- Oui
- Non
- Je n'ai pas d'avis
- Mes pieds sont identiques.

**Q26** Vous envisagez une chirurgie de la déformation du gros orteil dans l'espoir que votre pied ressemble esthétiquement à l'autre.

- Oui
- Non

---

▪ **QUESTIONS RELATIVES A L'APPAREILLAGE**

**Q27** Vous avez déjà porté des semelles orthopédiques sur mesure en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Non, je n'en ai jamais porté
- Oui, j'en porte actuellement.
- Oui, mais je les ai abandonnées.



**Q28** Vous portez des semelles de séries (achat en pharmacie ou supermarché) en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q29** Vous portez des écarteurs d'orteils en série (achetés en magasin, pharmacie), en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q30** Vous portez des écarteurs d'orteils sur mesure, en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q31** Vous portez des coussinets en gel pour l'avant-pied, en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q32** Vous portez des protecteurs en tissu en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**VOS ANTECEDENTS TRAUMATIQUES :**

**Q33** Avez-vous déjà eu des entorses (cheville, pied) ?

- Oui, à droite
- Oui, à gauche
- Non

**Q34** Si oui, avez-vous bénéficié de rééducation pour ces entorses ?

- Oui, à droite
- Oui, à gauche
- Non



**Q35** Avez-vous déjà eu des fractures (cheville, pied) ?

- Oui, à droite
- Oui, à gauche
- Non

**Q36** Si oui, avez-vous bénéficié de rééducation pour ces fractures ?

- Oui, à droite
- Oui, à gauche
- Non

---

**VOTRE ACTIVITE PHYSIQUE :**

**Q37** Durant les 3 derniers mois, combien d'heures d'activité physique avez-vous en moyenne exercées par semaine ? Précisez lesquelles.

Réponse :

.....  
.....

**Q38** Vous pouvez pratiquer une activité physique modérée (1h/semaine).

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

⇒ Si oui, l'avez-vous pratiqué sur les 3 derniers mois ?

- Oui
- Non

**Q39** Vous pouvez pratiquer une activité physique intense (3h/semaine).

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

⇒ Si oui, l'avez-vous pratiqué sur les 2 dernières semaines ?

- Oui
- Non

**Q40** Vous pouvez pratiquer un sport avec impact : course, sports de balle, danse...

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

**Q41** Vous pouvez monter et descendre les escaliers plusieurs fois par jour.

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

**■ VOTRE QUOTIDIEN :**

**Q42** Vous exercez votre métier principalement debout.

- Oui
- Non
- Je ne travaille pas (plus)
- Je suis en arrêt de travail.

**Q43** Vous êtes amené à conduire :

- Tous les jours
- Quelques fois par semaine
- Quelques fois par mois
- Jamais
- Tous les jours car cela fait partie de mon métier.

**Q44** Vous êtes amené à monter et à descendre des escaliers (au moins un étage).

- Tous les jours
- Quelques fois par semaine
- Quelques fois par mois
- Jamais

---

**■ VOTRE OBJECTIF FONCTIONNEL :**

**Q45** Suite à la chirurgie, quelles activités souhaitez-vous absolument être capable de continuer à réaliser ? (exemple : danse, yoga, randonnée, montée d'escaliers, se mettre à genoux...)

Réponse :

.....  
.....

**Q46** Durant les 3 derniers mois, combien de fois avez-vous pratiqué ces activités mentionnées ?

Réponse :

.....  
.....

**Q47** Après la chirurgie, dans quel délai pensez-vous pouvoir reprendre ces activités ?

- 3 - 6 mois
- 6 – 12 mois
- > 12 mois
- Autre :

.....

**Q48** Parmi les activités que vous êtes encore capable de réaliser actuellement mais avec des douleurs, lesquelles seriez-vous prêt à abandonner ?

Réponse :

.....  
.....

**Q49** Suite à la chirurgie, avez-vous pour objectif de reprendre une activité, que vous ne pouvez à ce jour plus pratiquer à cause de votre hallux valgus ?

- Oui
- Non

Si oui, laquelle ?

Réponse :

.....  
.....

---

**AUTRE :**

**Q50**

Après lecture de ce questionnaire, vous vous êtes rendus compte que vous ne vous étiez pas posé certaines questions.

1. Pas du tout d'accord.    2. Plutôt pas d'accord.    3. Plutôt d'accord.    4. Tout à fait d'accord.

**Q51**

Vous jugez ces questions importantes pour la compréhension de votre problème de gros orteil.

1. Pas du tout d'accord.    2. Plutôt pas d'accord.    3. Plutôt d'accord.    4. Tout à fait d'accord.

**Q52**

Ce questionnaire aura un impact sur votre décision de vous faire opérer.

1. Pas du tout d'accord.    2. Plutôt pas d'accord.    3. Plutôt d'accord.    4. Tout à fait d'accord.

## Annexe D. Questionnaire Étape 2 de la méthode DELPHI V2

### Questionnaire motif de consultation : Hallux valgus

Nom : 1<sup>ère</sup> initiale : |\_| | Date de naissance : |\_|\_| | Mois |\_|\_|\_|\_| | Année N° inclusion  
Prénom 1<sup>ère</sup> initiale : |\_| | Rempli le : |\_|\_| | |\_|\_| | |\_|\_| | 01 |\_|\_| |  
Visite  J0  J15

**Q\*** Vos douleurs se situent :

- Au niveau de la déformation du gros orteil
- Au niveau des petits orteils
- Sous le pied
- Je n'ai pas de douleurs

**Q\*\*** Êtes-vous anxieux ?

- Oui, par rapport à mon problème de pied
- Oui, par rapport à une éventuelle chirurgie
- Oui, pour des raisons personnelles/professionnelles
- Oui, par rapport à l'avenir de mon pied si je ne me fais pas opérer
- Non

**Q\*\*\*** Votre activité professionnelle nécessite le port d'un type de chaussures obligatoires :

- Oui
- Non

## Annexe E. Questionnaire Étape 3 et 4 de la méthode DELPHI V3/V4

### Questionnaire motif de consultation : Hallux valgus

Nom : 1<sup>ère</sup> initiale : |\_| Date de naissance : |\_|\_| Mois |\_|\_|\_|\_| Année N° inclusion  
Prénom 1<sup>ère</sup> initiale : |\_| Rempli le : |\_|\_| |\_|\_| |\_|\_| 01 |\_|\_|  
Visite  J0  J15

#### ■ QUESTIONS GENERALES

**Q1** Vous êtes :

- Un homme
- Une femme

**Q2** Quel est votre âge ?

Réponse : ..... ans

**Q3** Vous avez une déformation du gros orteil au pied droit (hallux valgus).

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

**Q4** Vous avez une déformation du gros orteil au pied gauche (hallux valgus).

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

**Q5** A quel âge est apparu votre déformation du gros orteil ?

A droite : ..... ans

A gauche : ..... ans

**Q6** Classez par ordre d'importance (**du + important au – important**), les motifs vous amenant à consulter pour une chirurgie du pied :

A) Douleurs dans la région du gros orteil

B) Esthétique inadaptée de votre pied

C) Conflit avec les chaussures

D) Limitation des activités quotidiennes

Exemple de réponse : **D > C > B > A**

Dans cet exemple, le motif de consultation le plus important est la limitation des activités quotidiennes ; le motif de consultation le moins important est la douleur.

**Votre réponse :** ..... > ..... > ..... > .....

**Q7** Suite à une chirurgie d'hallux valgus, dans quel délai souhaitez-vous obtenir des résultats satisfaisant à vos attentes ?

- 3 - 6 mois
- 6 – 12 mois
- Supérieur à 12 mois
- Autre :  
.....

---

**■ QUESTIONS RELATIVES A LA DOULEUR**

**Q8** Vos douleurs se situent :

- Au niveau de la déformation du gros orteil
- Au niveau des petits orteils
- Sous le pied
- Je n'ai pas de douleurs

**Q9** Vous avez mal au gros orteil la nuit.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

**Q10** Vous avez mal au gros orteil lorsque vous appuyez au sol.

- Au pied droit  
Pieds nus Oui/Non  
Pieds chaussés Oui/Non
- Au pied gauche  
Pieds nus Oui/Non  
Pieds chaussés Oui/Non

**Q11** Vous avez mal au gros orteil à cause du conflit avec la chaussure.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

**Q12** Vous avez mal au gros orteil à cause des lésions cutanées (cors, durillons, cornes).

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

---

**■ QUESTIONS RELATIVES AUX CHAUSSURES**

**Q13** Vous devez prendre une ou plusieurs pointures de chaussures de plus à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q14** Vous devez arrêter de porter des chaussures à talons hauts (> 3cm) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non
- Je n'en porte pas

**Q15** Vous devez porter des chaussures de confort (achat en pharmacie) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q16** Vous devez porter des chaussures ouvertes à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q17** Vous devez porter des chaussures de sport (baskets) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q18** Vous envisagez une chirurgie d'hallux valgus dans l'espoir de pouvoir à nouveau porter des modèles de chaussures avec lesquels il est impossible de se chausser actuellement.

- Oui
- Non

---

**■ QUESTIONS RELATIVES A L'ESTHETIQUE**

**Q19** Vous considérez la déformation de votre gros orteil comme moche.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non
- Je n'ai pas d'avis

**Q20** Vous considérez les autres orteils déformés comme moches.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non
- Je n'ai pas les autres orteils déformés
- Je n'ai pas d'avis

**Q21** Vous considérez la différence de forme entre vos pieds droit et gauche (asymétrie) comme moche.

- Oui
- Non
- Je n'ai pas d'avis
- Mes pieds sont identiques

**Q22** Vous envisagez une chirurgie de la déformation du gros orteil dans l'espoir que votre pied ressemble esthétiquement à l'autre.

- Oui
- Non

■ QUESTIONS RELATIVES A L'APPAREILLAGE

**Q23** Vous avez déjà porté des semelles orthopédiques sur mesure en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Non, je n'en ai jamais porté
- Oui, j'en porte actuellement
- Oui, mais je les ai abandonnées



**Q24** Vous portez des semelles de séries (achat en pharmacie ou supermarché) en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q25** Vous portez des écarteurs d'orteils en série (achetés en magasin, pharmacie), en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q26** Vous portez des écarteurs d'orteils sur mesure, en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q27** Vous portez des coussinets en gel pour l'avant-pied, en lien avec votre déformation du gros orteil.



- Oui
- Non



**Q28** Vous portez des protecteurs en tissu en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**VOS ANTECEDENTS :**

**Q29** Avez-vous déjà eu des fractures (cheville, pied) ?

- Oui, à droite
- Oui, à gauche
- Non

**Q30** Êtes-vous anxieux ?

- Oui, par rapport à mon problème de pied
- Oui, par rapport à une éventuelle chirurgie
- Oui, pour des raisons personnelles/professionnelles ne me fais pas opérer
- Oui, par rapport à l'avenir de mon pied si je ne me fais pas opérer
- Non

**VOTRE ACTIVITE PHYSIQUE :**

**Q31** Durant les 3 derniers mois, combien d'heures d'activité physique avez-vous en moyenne exercées par semaine ? Précisez lesquelles.

Réponse :

.....  
.....

**Q32** Vous pouvez pratiquer une activité physique modérée (1h/semaine).

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

⇒ Si oui, l'avez-vous pratiqué sur les 3 derniers mois ? • Oui • Non

**Q33** Vous pouvez pratiquer une activité physique intense (3h/semaine).

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

⇒ Si oui, l'avez-vous pratiqué sur les 2 dernières semaines ?

- Oui
- Non

**Q34** Vous pouvez pratiquer un sport avec impact : course, sports de balle, danse...

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

**Q35** Vous pouvez monter et descendre les escaliers plusieurs fois par jour.

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

---

**▪ VOTRE PROFESSION :**

**Q36** Vous exercez votre métier principalement debout.

- Oui
- Non
- Je ne travaille pas (plus)
- Je suis en arrêt de travail

**Q37** Vous êtes amené à conduire :

- Tous les jours
- Quelques fois par semaine
- Quelques fois par mois
- Jamais
- Tous les jours car cela fait partie de mon métier

**Q38** Votre activité professionnelle nécessite le port d'un type de chaussures obligatoires.

- Oui
- Non

---

**▪ VOTRE OBJECTIF FONCTIONNEL :**

**Q39** Suite à la chirurgie, quelles activités souhaitez-vous absolument être capable de continuer à réaliser ? (exemple : danse, yoga, randonnée, montée d'escaliers, se mettre à genoux...)

Réponse :

.....  
.....

**Q40** Durant les 3 derniers mois, combien de fois avez-vous pratiqué ces activités mentionnées ?

Réponse :

.....  
.....

**Q41** Après la chirurgie, dans quel délai pensez-vous pouvoir reprendre ces activités ?

- 3 - 6 mois
- 6 – 12 mois
- > 12 mois
- Autre :

.....

**Q42** Parmi les activités que vous êtes encore capable de réaliser actuellement mais avec des douleurs, lesquelles seriez-vous prêt à abandonner ?

Réponse :

.....  
.....

**Q43** Suite à la chirurgie, avez-vous pour objectif de reprendre une activité, que vous ne pouvez à ce jour plus pratiquer à cause de votre hallux valgus ?

- Oui
- Non

Si oui, laquelle ?

Réponse :

.....  
.....

**AUTRE :**

**Q44**

Après lecture de ce questionnaire, vous vous êtes rendus compte que vous ne vous étiez pas posé certaines questions.

- 1. Pas du tout d'accord.
- 2. Plutôt pas d'accord.
- 3. Plutôt d'accord.
- 4. Tout à fait d'accord.

**Q45**

Vous jugez ces questions importantes pour la compréhension de votre problème de gros orteil.

- 1. Pas du tout d'accord.
- 2. Plutôt pas d'accord.
- 3. Plutôt d'accord.
- 4. Tout à fait d'accord.

**Q46**

Ce questionnaire aura un impact sur votre décision de vous faire opérer.

1. Pas du tout d'accord. 2. Plutôt pas d'accord. 3. Plutôt d'accord. 4. Tout à fait d'accord.

## Annexe F. Questionnaire final issu de la méthode DELPHI V5

### Questionnaire motif de consultation : Hallux valgus

Nom : 1<sup>ère</sup> initiale : |\_| | Date de naissance : |\_|\_| | Mois |\_|\_|\_|\_| | Année N° inclusion  
Prénom 1<sup>ère</sup> initiale : |\_| | Rempli le : |\_|\_| | |\_|\_| | |\_|\_| | 01 |\_|\_| |  
Visite  J0  J15

#### ■ QUESTIONS GENERALES

**Q1** Vous êtes :

- Un homme
- Une femme

**Q2** Quel est votre âge ?

Réponse : ..... ans

**Q3** Vous avez une déformation du gros orteil au pied droit (hallux valgus).

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

**Q4** Vous avez une déformation du gros orteil au pied gauche (hallux valgus).

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

**Q5** A quel âge est apparu votre déformation du gros orteil ?

A droite : ..... ans

A gauche : ..... ans

**Q6** Classez par ordre d'importance (**du + important au – important**), les motifs vous amenant à consulter pour une chirurgie du pied :

- |   |  |
|---|--|
| A) Douleurs dans la région du gros orteil | B) Esthétique inadaptée de votre pied    |
| C) Conflit avec les chaussures            | D) Limitation des activités quotidiennes |

Exemple de réponse : **D > C > B > A**

Dans cet exemple, le motif de consultation le plus important est la limitation des activités quotidiennes ; le motif de consultation le moins important est la douleur.

**Votre réponse :** ..... > ..... > ..... > .....

**Q7** Suite à une chirurgie d'hallux valgus, dans quel délai souhaitez-vous obtenir des résultats satisfaisant à vos attentes ?

- 3 - 6 mois
- 6 – 12 mois
- Supérieur à 12 mois
- Autre :  
.....

---

**■ QUESTIONS RELATIVES A LA DOULEUR**

**Q8** Vos douleurs se situent :

- Au niveau de la déformation du gros orteil
- Au niveau des petits orteils
- Sous le pied
- Je n'ai pas de douleurs

**Q9** Vous avez mal au gros orteil la nuit.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

**Q10** Vous avez mal au gros orteil lorsque vous appuyez au sol.

- Au pied droit  
Pieds nus Oui/Non  
Pieds chaussés Oui/Non
- Au pied gauche  
Pieds nus Oui/Non  
Pieds chaussés Oui/Non

**Q11** Vous avez mal au gros orteil à cause du conflit avec la chaussure.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

**Q12** Vous avez mal au gros orteil à cause des lésions cutanées (cors, durillons, cornes).

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non

---

**■ QUESTIONS RELATIVES AUX CHAUSSURES**

**Q13** Vous devez prendre une ou plusieurs pointures de chaussures de plus à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q14** Vous devez arrêter de porter des chaussures à talons hauts (> 3cm) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non
- Je n'en porte pas

**Q15** Vous devez porter des chaussures de confort (achat en pharmacie) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q16** Vous devez porter des chaussures ouvertes à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q17** Vous devez porter des chaussures de sport (baskets) à cause de la déformation du gros orteil.

- Oui
- Non

**Q18** Vous envisagez une chirurgie d'hallux valgus dans l'espoir de pouvoir à nouveau porter des modèles de chaussures avec lesquels il est impossible de se chausser actuellement.

- Oui
- Non

---

**■ QUESTIONS RELATIVES A L'ESTHETIQUE**

**Q19** Vous considérez la déformation de votre gros orteil comme moche.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non
- Je n'ai pas d'avis

**Q20** Vous considérez les autres orteils déformés comme moches.

- Oui, au pied droit
- Oui, au pied gauche
- Non
- Je n'ai pas les autres orteils déformés
- Je n'ai pas d'avis

**Q21** Vous considérez la différence de forme entre vos pieds droit et gauche (asymétrie) comme moche.

- Oui
- Non
- Je n'ai pas d'avis
- Mes pieds sont identiques

**Q22** Vous envisagez une chirurgie de la déformation du gros orteil dans l'espoir que votre pied ressemble esthétiquement à l'autre.

- Oui
- Non

■ QUESTIONS RELATIVES A L'APPAREILLAGE

**Q23** Vous avez déjà porté des semelles orthopédiques sur mesure en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Non, je n'en ai jamais porté
- Oui, j'en porte actuellement
- Oui, mais je les ai abandonnées



**Q24** Vous portez des semelles de séries (achat en pharmacie ou supermarché) en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q25** Vous portez des écarteurs d'orteils en série (achetés en magasin, pharmacie), en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q26** Vous portez des écarteurs d'orteils sur mesure, en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**Q27** Vous portez des coussinets en gel pour l'avant-pied, en lien avec votre déformation du gros orteil.



- Oui
- Non



**Q28** Vous portez des protecteurs en tissu en lien avec votre déformation du gros orteil.

- Oui
- Non



**▪ VOS ANTECEDENTS :**

**Q29** Êtes-vous anxieux ?

- Oui, par rapport à mon problème de pied
- Oui, pour des raisons personnelles/professionnelles ne me fais pas opérer
- Oui, par rapport à une éventuelle chirurgie
- Oui, par rapport à l'avenir de mon pied si je
- Non

**▪ VOTRE ACTIVITE PHYSIQUE :**

**Q30** Durant les 3 derniers mois, combien d'heures d'activité physique avez-vous en moyenne exercées par semaine ? Précisez lesquelles.

Réponse :

.....  
 .....

**Q31** Vous pouvez pratiquer une activité physique modérée (1h/semaine).

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

⇒ Si oui, l'avez-vous pratiqué sur les 3 derniers mois ? • Oui • Non

**Q32** Vous pouvez pratiquer une activité physique intense (3h/semaine).

- Oui
- Non, à cause de mon hallux valgus
- Non, pour d'autres raisons médicales
- Je n'en pratique pas

⇒ Si oui, l'avez-vous pratiqué sur les 2 dernières semaines ? • Oui • Non

**Q33** Vous pouvez pratiquer un sport avec impact : course, sports de balle, danse...

• Oui • Non, à cause de mon hallux valgus • Non, pour d'autres raisons médicales • Je n'en pratique pas

---

**▪ VOTRE PROFESSION :**

**Q34** Vous exercez votre métier principalement debout.

• Oui • Non • Je ne travaille pas (plus) • Je suis en arrêt de travail

**Q35** Vous êtes amené à conduire :

• Tous les jours • Quelques fois par semaine • Quelques fois par mois • Jamais  
• Tous les jours car cela fait partie de mon métier

**Q36** Votre activité professionnelle nécessite le port d'un type de chaussures obligatoires.

• Oui • Non

---

**▪ VOTRE OBJECTIF FONCTIONNEL :**

**Q37** Suite à la chirurgie, quelles activités souhaitez-vous absolument être capable de continuer à réaliser ? (exemple : danse, yoga, randonnée, montée d'escaliers, se mettre à genoux...)

Réponse :

.....  
.....

**Q38** Durant les 3 derniers mois, combien de fois avez-vous pratiqué ces activités mentionnées ?

Réponse :

.....  
.....

**Q39** Après la chirurgie, dans quel délai pensez-vous pouvoir reprendre ces activités ?

- 3 - 6 mois
- 6 – 12 mois
- > 12 mois
- Autre :

.....

**Q40** Parmi les activités que vous êtes encore capable de réaliser actuellement mais avec des douleurs, lesquelles seriez-vous prêt à abandonner ?

Réponse :

.....  
.....

**Q41** Suite à la chirurgie, avez-vous pour objectif de reprendre une activité, que vous ne pouvez à ce jour plus pratiquer à cause de votre hallux valgus ?

- Oui
- Non

Si oui, laquelle ?

Réponse :

.....  
.....

**AUTRE :**

**Q42**

Après lecture de ce questionnaire, vous vous êtes rendus compte que vous ne vous étiez pas posé certaines questions.

1. Pas du tout d'accord.
2. Plutôt pas d'accord.
3. Plutôt d'accord.
4. Tout à fait d'accord.

**Q43**

Vous jugez ces questions importantes pour la compréhension de votre problème de gros orteil.

1. Pas du tout d'accord.
2. Plutôt pas d'accord.
3. Plutôt d'accord.
4. Tout à fait d'accord.

**Q44**

Ce questionnaire aura un impact sur votre décision de vous faire opérer.

1. Pas du tout d'accord.
2. Plutôt pas d'accord.
3. Plutôt d'accord.
4. Tout à fait d'accord.

# Annexe G. Article “Relationship between care pathway features and use or non-use of orthotic devices by individuals with Charcot-Marie-Tooth disease: a cross-sectional, exploratory study”

DISABILITY AND REHABILITATION  
<https://doi.org/10.1080/09638288.2023.2208883>



ORIGINAL ARTICLE



## Relationship between care pathway features and use or non-use of orthotic devices by individuals with Charcot-Marie-Tooth disease: a cross-sectional, exploratory study

Cédric Blouin<sup>a,b,c</sup> , Antoine Perrier<sup>b,d,e</sup>, Philippe Denormandie<sup>f,g</sup> and François Genêt<sup>c,h,i</sup>

<sup>a</sup>Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ); UFR Simone Veil - Santé, UR2020 Erphan, Montigny-le-Bretonneux, France; <sup>b</sup>Service de chirurgie orthopédique, hôpital de la Croix-Saint-Simon, Groupe Hospitalier Diaconesses– Croix-Saint-Simon, Paris, France; <sup>c</sup>ISPC-Synergies (Institut de Santé Parasport Connecté), Paris, France; <sup>d</sup>Laboratoire de recherche translationnelle et d'innovation en médecine et complexité TIMC, CNRS, Grenoble, France; <sup>e</sup>Service de diabétologie, Groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France; <sup>f</sup>Service de chirurgie orthopédique, Hôpital Raymond Poincaré, APHP, Garches, France; <sup>g</sup>Groupe Mutuelle nationale des hospitaliers (MNH), Paris, France; <sup>h</sup>Unité Péri Opératoire du Handicap, (UPOH- Perioperative Disability Unit), Département PARASPORT- SANTE, service de Médecine Physique et de Réadaptation, Hôpital Raymond-Poincaré, Groupe Hospitalo-Universitaire APHP-Université PARIS SACLAY, Garches, France; <sup>i</sup>Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ); UFR Simone Veil - Santé, END: ICAP, Montigny-le-Bretonneux, France

### ABSTRACT

**Purpose:** Orthotic devices may be prescribed for the management of foot and ankle deformities caused by Charcot-Marie-Tooth disease (CMT). However, the actual use of these devices is variable. No studies have evaluated the impact of prescription, delivery and follow-up of orthotic devices on their use.

We aimed to describe the relationship between the pathways followed by individuals with CMT and orthotic device use.

**Materials and methods:** Exploratory, cross-sectional, 35-item survey of orthotic device management. Individuals with CMT were recruited from CMT-France Association.

**Results:** Of the 940 respondents, 795 were included, mean age of 52.9 (SD 16.9) years. Rate of orthotic device use was 49.2% (391/795). The most frequent reason for non-use was a poor fit. Non-use was related to the orthotic device type, the health professionals consulted, and the severity of the CMT-related impairments. Follow-up visits (38.7%), re-evaluation of orthotic devices (25.3%) and consultations with the Physical and Rehabilitation Medicine physician were infrequent (28.3%).

**Conclusions:** Orthotic devices are massively underused. Follow-up and re-evaluation are infrequent. Care pathways, prescription and delivery of orthotic devices must be optimized to meet the expectations of people with CMT. Device fitting, individual needs, and changes in the clinical state must be re-evaluated regularly by specialists to improve orthotic device use.

### ARTICLE HISTORY

Received 15 June 2022

Revised 21 April 2023

Accepted 22 April 2023

### KEYWORDS

Rehabilitation;  
Foot orthoses;  
Hereditary sensory and motor neuropathy;  
Foot deformities;  
Orthotic devices

### > IMPLICATIONS FOR REHABILITATION

- Foot deformities and foot drop contribute to disability in people with Charcot Marie Tooth Disease but use of orthotic devices is poor.
- To improve orthotic device use, regular multidisciplinary consultations and regular re-evaluation of the device by specialists in neuro-orthopaedics are important.
- The device fit should be regularly re-evaluated by the prescribing doctor or the practitioner who made the device.
- Regular multimodal evaluation of foot deformity, including muscle strength and length, and the individual's needs and expectations is also important to improve orthotic device use.



### Introduction

Charcot Marie Tooth disease (CMT) is a hereditary, degenerative sensory and motor neuropathy that affects the peripheral nerves and leads to disability [1].

Foot deformities, such as pes cavus, pes planus and hammer toes are reported in 74% of people with CMT and can contribute to their disability [2]. Pes cavus deformity results from an imbalance of agonist–antagonist muscle strength, which causes flexion

of the first metatarsal joint, forefoot pronation, a high longitudinal medial arch and secondary varus of the hindfoot [3–7]. These deformities become fixed over time and can cause laxity of the talocrural joint, relative dorsiflexion of the talus and loss of mobility of the talocrural joint [6,8].

The combination of foot and ankle deformities, muscle weakness and somatosensory impairments cause gait impairments in people with CMT disease [9]. This triad results in primary, secondary and compensatory changes in the gait pattern. The most

**CONTACT** Cédric Blouin  [cedblouin@gmail.com](mailto:cedblouin@gmail.com)  Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ); UFR Simone Veil - Santé, UR2020 Erphan, Montigny-le-Bretonneux, France; Service de chirurgie orthopédique, hôpital de la Croix-Saint-Simon, Groupe Hospitalier Diaconesses– Croix-Saint-Simon, Paris, France; ISPC-Synergies (Institut de Santé Parasport Connecté), Paris, France

© 2023 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

frequently encountered gait disorders are foot drop, increased foot supination and insufficient ankle plantar flexion [10]. Foot drop is caused by weakness of the ankle dorsiflexor muscles, which results in a loss of dorsiflexion, particularly during the swing phase [11]. Abnormal foot positioning in the frontal plane results from an imbalance between the strength of the evertor (usually weak) and the invertor muscles. The combination of these gait impairments affects the overall gait pattern [12].

Apart from medical and surgical treatments, the main conservative strategies for the management of muscle weakness and foot deformities are physiotherapy and orthotic devices, which are often complementary. As defined by the International Organization for Standardization for Prosthetics and Orthotics, orthotic devices could include lower limb orthoses such as foot orthoses and ankle-foot-orthoses (AFOs) on the one hand, and orthotic footwear on the other [13,14].

Foot orthoses worn in the person's normal shoes are usually prescribed first. They help to reduce deformities and pain [15,16]. As the disease progresses, the person may require orthotic footwear to reduce the progression of deformities, reduce foot drop, improve stability during gait and reduce pain and sores caused by off-the-shelf shoes [16–18]. Calf muscle weakness and foot drop may lead to the prescription of an ankle-foot orthosis (AFO): these devices help to reduce the risk of falls, to stabilize the knee in weight-bearing, and to compensate for a lack of propulsion during the stance phase [17,19,20]. Few studies have evaluated the effect of orthotic devices on functional gait variables; therefore their benefits are currently only partially known [9,17,21, 22]. However, a recent study highlighted a large number of AFO designs available and underlined the importance of prescribing the most appropriate type according to the individual's impairments and gait pattern [23]. AFOs that are prescribed and designed to meet the individual's impairment can improve spatiotemporal and kinetic gait parameters, as well as ankle kinematics [23,24].

In France, the care pathways followed by people with CMT are variable. There are currently no guidelines for the implementation of optimal pathways, and we hypothesize that this might impact the prescription and follow-up of orthotic devices. Although the diagnosis and early follow-up of the disease is usually performed in a hospital, day-to-day care is more likely to be provided by the family doctor. The doctor may refer the person to a podiatrist, orthoprosthesis or pedorthist (who practice independently and are not part of the hospital system) for assessment and fabrication of orthotic devices. If the individual is followed in a specialist hospital, they can more easily benefit from multidisciplinary care from specialists in neuro-orthopedics, such as a physical and rehabilitation medicine (PRM) physician and an expert in orthotic devices. Communication of information between primary care and hospital care networks is often sub-optimal, including between prescribers and orthotic professionals.

The French healthcare system reimburses all orthotic devices for people with CMT but at specific time intervals and rates. Reimbursement of foot orthoses is annual and partial and requires a medical prescription from any type of doctor, which is renewable by the podiatrist [25]. Any changes made during the year are fully charged to the individual.

Regarding orthotic footwear and AFOs, the health insurance reimburses the full cost once per year and once every 3 years respectively in the context of CMT disease. The device may be modified without cost to the individual within this timeframe [26]. Furthermore, for reimbursement, the device must be prescribed by one of the following practitioners: PRM physician, orthopaedist, rheumatologist, neurologist, neurosurgeon, plastic

and reconstructive surgeon, or paediatrician. The family doctor can renew the prescription [26].

In France, podiatrists can assess for and conceive foot orthoses, pedorthists and orthoprosthesis can manufacture orthotic footwear and AFOs. The latter two specialists often work together (category known as "Grand appareillage" in France).

Although an individual may have been prescribed an orthotic device, and the device may improve their gait pattern and/or capacity, they may choose not to actually use it. Studies have shown that factors such as weight, discomfort, poor fit, difficulty to fit into shoes, pain and cutaneous issues, lack of effectiveness, and aesthetic appearance of orthotic devices can determine whether or not people actually use them [20,27–34]. No studies have evaluated the impact of the actual prescription, delivery and follow-up of orthotic devices on their use, i.e., the care pathway followed by the individual in relation to their orthotic devices.

Analysis of the care pathways relating to orthotic devices seems useful to understand the reasons for their use and non-use, and thus improve use.

Improving use would benefit both the people with CMT in terms of their gait capacity, as well as society by reducing wasted resources.

The main aims of this descriptive observational study were to describe the relationships between care pathway features and use/non-use of orthotic devices and to formulate a care pathway that may improve use.

We hypothesized that features of the orthotic device care pathways of individuals with CMT, including the modalities of prescription and follow-up of the devices, would impact the use of orthotic devices. We also hypothesized that frequent consultations with a specialist, such as the PRM physician, would favour the use of the device because of the PRM physician's role as a coordinator.

## Materials and methods

### Study design

We conducted an exploratory cross-sectional survey of the orthotic management of people with CMT between September 2018 and May 2020. We published this survey on the CMT-France Association website and members of the association were informed of the study by email and in the association newsletters. As an anonymous survey that did not collect any personal data (e.g., date of birth or gender), this study did not require ethical approval for its conduct under French research laws.

### Survey document

The survey was designed by the members of the multidisciplinary team of the CMT unit in Raymond Poincaré hospital (Garches, France) and created with the online Drag'n Survey tool (compatible with data protection regulations). The professionals involved included 2 orthopaedic surgeons, 2 PRM physicians, 2 specialists in foot orthoses and a physiotherapist, who all had at least 5 years' of experience working with individuals with CMT. Their experience of orthotic devices within this population, including comments from individuals regarding their orthotic devices served to design pertinent questions. The group met on 5 occasions to conceive and finalize the survey, and it was pilot tested on 10 people with CMT. The pilot sample was selected from the multidisciplinary consultation of the Raymond Poincaré Hospital (Garches, France), had been prescribed one or more orthotic devices, and was

heterogeneous in terms of knowledge about the different clinical and instrumental assessments addressed in the survey.

The anonymous survey consisted of 35 questions (each question included a possible open-ended response option). The individuals were asked to rate the clarity of each item on a 7-point Likert scale [35] on which 1 = "Not at all clear" and 7 = "Perfectly clear." We decided that any items rated  $\leq 4$  would be submitted to the members of the multidisciplinary team for discussion and modification: no items needed to be modified. Demographic information was limited to the person's age and the age at which CMT was diagnosed to prevent identification since CMT is a rare disease. The questions related to first foot symptoms, foot deformities, information received about the disease and the prescription, follow-up, renewal and objectives of the orthotic devices, including timeframes and the professionals involved (Appendix 1). Non-users were defined as individuals who, during their lives, had received a prescription for and delivery of one or more orthotic devices (foot orthoses, orthotic footwear, ankle-foot orthoses), but who no longer used any device at the time of the survey. Users were defined as individuals who were using at least one of their prescribed orthotic devices at the time of the survey.

The survey was to be completed online using the Drag'n Survey tool, by people with CMT themselves, with the help of a caregiver if necessary, e.g., children or elderly people who needed the questionnaire to be read to them.

#### Inclusion and non-inclusion criteria

People could participate if they were living in France, were members of the CMT-France Association, had a confirmed diagnosis of CMT and had been prescribed and/or delivered with at least

one of the following orthotic devices: foot orthosis, orthotic footwear or an AFO as defined by the International Organization for Standardization for Prosthetics and Orthotics.

#### Statistical analysis

Continuous data were expressed as means (standard deviation [SD]) or medians (interquartile range [IQR], range). The distributions of the qualitative and ordinal variables of the survey were described by frequency tables.

We used the Chi2 test (or Fisher's exact test) to compare the distributions of the categorical variables according to use/non-use of the orthotic devices. We used the Student *t* test to compare the distributions of continuous quantitative variables according to use/non-use, when the variable followed a normal distribution (according to the Shapiro-Wilk test). Otherwise, we used the non-parametric Wilcoxon test.

We used univariate logistic regression models (Tables 1, 2) to identify the factors (*p* value  $< 0.2$ ) to consider in the multivariate model. A multivariate logistic regression model was constructed to identify factors associated with non-use of the orthotic devices (Table 3). The final multivariate model was obtained by backward variable elimination (of non-significant variables) from the univariate analyses, *p*  $> 0.05$ . The logistic regression model provides an odds ratio (OR) that indicates the association between the non-use of orthotic devices and the items in the questionnaire. An OR  $> 1$  indicates increased occurrence of non-use of orthotic devices whereas an OR  $< 1$  indicates decreased occurrence of non-use. For categorical items, the OR compares the odds of non-use of orthotic devices occurring for each category of the item relative to the reference category. For continuous items, the OR provides

Table 1. Results of the univariate analysis explaining non-use of orthotic devices.

Theme of variables	Variables	Odds Ratio	CI 2.5%	CI 97.5%	<i>p</i> -value
Disease / Symptoms	Disease information - sprains and loss of balance	1.232	0.916	1.658	$< 0.20$
	Disease information - Foot deformities	1.369	0.972	1.928	$< 0.20$
	Evaluations of foot deformities - Radiological assessment	1.331	0.967	1.832	$< 0.20$
	Advice about foot deformities - None	1.341	0.927	1.939	$< 0.20$
	Information sources - Internet and social networks	1.343	0.909	1.984	$< 0.20$
	First foot symptoms - Sprains	1.395	1.049	1.854	$< 0.20$
Practitioners consulted	Multi-year consultations - Family doctor	1.283	0.971	1.696	$< 0.20$
	Annual consultations - None	1.459	1.103	1.929	$< 0.05$
	Five-year consultations - Physiotherapist	4.887	0.783	93.861	$< 0.20$
	Proposed orthotic devices - Foot orthoses	1.667	1.413	2.432	$< 0.05$
Orthotic Devices	Orthotic device reassessment in the following months - Orthopaedic Surgeon	2.161	0.778	6.911	$< 0.20$
	Prescriber of foot orthoses - Neurologist	1.411	0.976	2.046	$< 0.20$
	Prescriber of foot orthoses - Podiatrist	1.526	0.986	2.361	$< 0.20$
	Aims of the foot orthoses - Correct foot position during gait	1.372	1.037	1.816	$< 0.05$
	Objectives of the AFO:				
	Prevention of toe catching (Reference)	1	1	1	
	Prevention of instability	2.363	0.948	5.888	
	Prevention of falls	2.518	1.069	5.932	
	Prevention of the pain/cutaneous issues	2.941	0.74	11.696	
	Correction of foot position during gait	3.609	1.591	8.185	
	Correction of deformities	4.351	1.484	12.753	
	Time to renew the orthotic devices:				$< 0.05$
	Every two to five years (Reference)	1	1	1	
	Once a year	0.997	0.558	1.782	
	Once every two years	1.448	0.749	2.799	
	Every five years or more	2.901	1.213	6.936	
	Individual's perception	Area in which the participant wanted more support - Choice of therapeutic solutions	1.212	0.908	1.619
Area for improvement - Follow-up of therapeutic solutions		1.381	1.044	1.825	$< 0.20$
Evaluation of medical and paramedical care:					$< 0.0001$
Good (Reference)		1	1	1	
Sufficient		0.941	0.633	1.399	
Insufficient		1.420	0.957	2.111	
Poor	5.986	3.152	11.368		

Table 2. Results of the univariate analysis for factors that reduced the risk of non-use.

Theme of variables	Variables	Odds Ratio	CI 2.5%	CI 97.5%	p-value
Ages	Age at diagnosis	0.989	0.982	0.997	<0.05
	Age at first orthotic footwear fitting	0.987	0.976	0.997	<0.05
	Age at first foot symptoms	0.985	0.977	0.993	<0.0001
	Age at first AFO fitting	0.984	0.972	0.996	<0.05
	Current age	0.982	0.974	0.990	<0.0001
Disease / Symptoms	Were the first foot symptoms related to the CMT? - Neurologist	0.677	0.389	1.174	<0.20
	Advice on foot deformities - Orthotic devices	0.542	0.298	0.985	<0.05
	Information sources on the disease - Association CMT	0.364	0.116	0.976	<0.20
	Evaluation of foot deformities - None	0.318	0.070	1.073	<0.20
	Evaluation of foot deformities - Muscular assessment	0.753	0.569	0.998	<0.05
	Reassessment of foot deformities In case of:				<0.001
	Pain (Reference)	1	1	1	
	Progression of deformities	0.752	0.365	1.524	
	Loss of muscular strength	0.507	0.254	0.991	
	Renewal of orthotic footwear/AFO	0.312	0.159	0.593	
	Renewal of foot orthoses	0.469	0.247	0.868	
	None	0.689	0.368	1.261	
	Practitioners consulted	Multi-year consultations - Physiotherapist	0.763	0.576	1.010
Biennial consultations - Pedorthist/orthoprosthettist		0.574	0.291	1.133	<0.20
Annual consultations - Pedorthist/orthoprosthettist		0.475	0.325	0.696	<0.0001
Multi-year consultations - Pedorthist/orthoprosthettist		0.449	0.304	0.662	<0.0001
Five-year consultations - Podiatrist		0.424	0.13	1.390	<0.20
Orthotic Devices	Orthotic device reassessment in the following months - Performed	0.632	0.457	0.873	<0.05
	Orthotic device reassessment in the following months - Neurologist	0.649	0.398	1.058	<0.20
	Orthotic device reassessment in the following months - PRM Physician	0.532	0.338	0.839	<0.05
	Renewal of the orthotic devices - Performed	0.234	0.168	0.326	<0.0001
	Renewal of the orthotic devices - PRM Physician	0.591	0.409	0.855	<0.05
	Renewal of the orthotic devices - Neurologist	0.526	0.345	0.803	<0.05
	Renewal of the orthotic devices - Family doctor	0.459	0.343	0.617	<0.0001
Control visit of the orthotic devices - Performed	0.509	0.381	0.679	<0.0001	

Table 3. Results of the multivariate logistic regression model.

Theme of variables	Variables	Odds Ratio	CI 2.5%	CI 97.5%	p-value
Disease / Symptoms	Evaluation of foot deformities - None	0.135	0.027	0.507	<0.05
	Disease Information - Foot deformities	1.480	1.008	2.184	<0.05
Practitioners consulted	Multi-year consultations - Family doctor	1.694	1.232	2.339	<0.001
	Five-year consultations - Physiotherapist	10.455	1.213	261.152	<0.05
Orthotic Devices	Renewal of orthotic devices - Family doctor	0.228	0.156	0.330	<0.0001
	Renewal of orthotic devices - Neurologist	0.273	0.164	0.449	<0.0001
	Renewal of orthotic devices - PRM Physician	0.347	0.219	0.543	<0.0001
	Prescriber of foot orthoses - Neurologist	1.756	1.164	2.666	<0.05
	Follow-up visit for orthotic devices - Performed	0.649	0.467	0.902	<0.05
Individual's perception	Evaluation of medical and paramedical care:				<0.0001
	Good (Reference)	1	1	1	
	Sufficient	0.913	0.592	1.409	
	Insufficient	1.339	0.869	2.067	
	Poor	5.354	2.761	10.891	

the probability of non-use of orthotic devices as the item increases. In the multivariate model, the interpretation of each item is made given that all other items remain constant.

Performance of the selected model was evaluated by the Hosmer-Lemeshow test for calibration and the area under the ROC curve for discrimination. The selected model performed well in terms of discrimination (AUC 0.75) and calibration ( $p$ -value 0.79).

We calculated 95% confidence intervals (CI) and  $p < 0.05$  was considered significant.

Analyses were performed using R software version 4.1.0.

## Results

### Sample

Of the 1300 members of CMT-France, 940 responded (72.3%) (Figure 1. Flow chart of inclusion of respondents).

Mean age was 52.9 (SD 16.9) years at the time of the survey; 21.5 (SD 18.4) years at the time of the first foot symptoms; 31.5 (SD 19.3) years at the time of diagnosis; 27.7 (SD 18.3) years at the prescription of the first foot orthoses; 37.2 (SD 19.1) years at the prescription of the first orthotic footwear and 41.2 (SD 19.4) years at the prescription of the first AFO (Figure 2. Timeline relating to the need for orthotic devices).

In total, 795 participants had been prescribed and/or had received at least one orthotic device, and 404/795 participants (50.8%) reported that they had stopped using their orthotic devices (Figure 1). Their mean age (50.5 [SD 16.4] years) differed significantly from the mean age of the 391 participants who continued to use their devices (55.5 [17.0] years) ( $p < 0.0001$ ).

### Assessment of foot deformities

Assessment of foot deformities included an evaluation of the support points (with or without a technical measurement device)

for 535/795 (67.3%) participants, qualitative gait assessment for 439/795 (55.2%), assessment of muscle strength for 346/795 (43.5%) and X-rays for 205/795 (25.8%).

Most often, only the contact points of the foot were assessed (153/795, 19.2%). Assessment of the contact points was supplemented by an assessment of muscle strength and a gait assessment for 97/795 (12.2%); for 95/795 (11.9%) the assessment of the contact points was only supplemented by a gait assessment. Only 66/795 (8.3%) underwent a full assessment.

Foot deformities were reassessed because of the need for renewal of foot orthoses (185/795, 23.3%) or orthotic footwear/AFO (140/795, 17.6%), a change in muscle strength (102/795, 12.8%), a change in the deformity (80/795, 10.1%), or pain (55/795, 6.9%). In total, 233/795 (29.3%) participants never had their foot deformities reassessed.

A total of 256/795 (32.2%) participants had undergone foot surgery.

### Practitioners consulted

Most participants were followed by a neurologist (530/795, 66.7%), a physiotherapist (484/795, 60.9%), a family doctor (475/795, 59.7%), a podiatrist (specialist in the foot orthoses) (367/795,

46.2%), a pedorthist/orthoprosthodontist (317/795, 39.9%) or a PRM physician (225/795, 28.3%). Table 4 shows the frequencies of consultations with these practitioners.

### Prescription, fitting, follow-up assessment and renewal

In total, 661/795 (83.1%) participants had been fitted with foot orthoses, 436/795 (54.8%) with orthotic footwear and 364/795 (45.8%) with an AFO.

Table 5 shows the clinicians who prescribed the devices and Table 6 shows the participants' goals for their devices.

A post-fitting follow-up visit was carried out for 308/795 (38.7%) of participants and the device was reassessed in the months following its delivery for 201/795 (25.3%). The clinicians who performed the reassessment were a PRM physician (89/795, 11.2%), a neurologist (73/795, 9.2%), a family doctor (35/795, 4.4%), or a surgeon (16/795, 2.0%).

The orthotic device was renewed for 547/795 (68.8%) participants. It was mainly renewed by the family doctor (292/795, 36.7%), the PRM physician (142/795, 17.9%), the neurologist (105/795, 13.2%), or the surgeon (36/795, 4.5%). The device was renewed annually (348/795, 43.8%), biennially (107/795, 13.4%), every 2 to 5 years (57/795, 7.2%), or  $\geq 5$  yearly (35/795, 4.4%).

### Non-use of the orthotic devices

Tables 1, 2 and 3 present the results of the univariate and multivariate analyses that explain the reasons for use and non-use of orthotic devices.

### Factors that increased non-use

Of those who received foot orthoses, 350 were in the non-use group (52.9%). Of those prescribed orthotic footwear, 218 (50.0%) were in the non-use group, and of those prescribed AFOs, 178 (48.9%) were in the non-use group.

Age at the appearance of first foot symptoms (19.0 [SD 17.0] years vs. 24.1 [SD 19.6] years) ( $p < 0.05$ ), and age at diagnosis of CMT (29.6 [SD 18.6] years vs. 33.5 [SD 19.8] years) ( $p < 0.05$ ) were lower for nonusers than users.

Participants no longer using any orthotic devices reported a total of 681 reasons for non-use, grouped as follows:

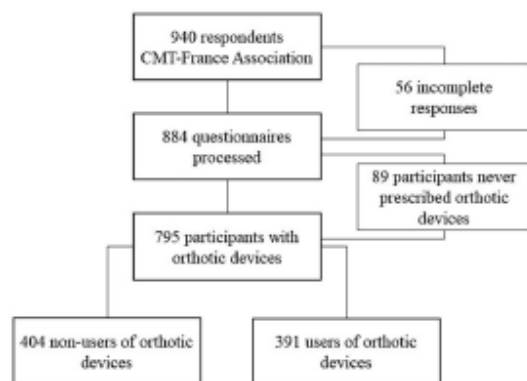


Figure 1. Flow chart of inclusion of respondents.



Figure 2. Timeline relating to the need for orthotic devices.

Table 4. Frequency of consultations.

Speciality	Pluriannual n (%)	Annual n (%)	Biennial n (%)	Five yearly n (%)	Total n (%)	Not consulted n (%)	Total n (%)
Neurologist	153 (19.2)	157 (19.8)	136 (17.1)	84 (10.6)	<b>530</b> <b>(66.7)</b>	265 (33.3)	795 (100.0)
Physiotherapist	451 (56.7)	17 (2.1)	10 (1.3)	6 (0.8)	<b>484</b> <b>(60.9)</b>	311 (39.1)	795 (100.0)
Family doctor	385 (48.4)	59 (7.4)	20 (2.5)	11 (1.4)	<b>475</b> <b>(59.7)</b>	320 (40.3)	795 (100.0)
Podiatrist	201 (25.3)	109 (13.7)	44 (5.6)	13 (1.6)	<b>367</b> <b>(46.2)</b>	428 (53.8)	795 (100.0)
Pedorthist / orthoprosthodontist	133 (16.7)	137 (17.2)	37 (4.7)	10 (1.3)	<b>317</b> <b>(39.9)</b>	478 (60.1)	795 (100.0)
PRM physician	83 (10.4)	76 (9.6)	43 (5.4)	23 (2.9)	<b>225</b> <b>(28.3)</b>	570 (71.7)	795 (100.0)



Table 5. Prescriber of orthotic devices.

Prescriber	Foot orthoses n (%)	Orthotic footwear n (%)	Ankle-foot orthoses (AFO) n (%)
Family doctor	286 (38.2)	78 (17.9)	57 (15.7)
Neurologist	140 (18.7)	100 (22.9)	94 (25.8)
Podiatrist	95 (12.7)	9 (2.1)	17 (4.7)
PRM physician	92 (12.3)	132 (30.3)	107 (29.4)
Orthopaedic surgeon	63 (8.4)	41 (9.4)	20 (5.5)
None	72 (9.7)	76 (17.4)	69 (18.9)
Total	748 (100.0)	436 (100.0)	364 (100.0)

Table 6. Aim of the orthotic devices.

Aims of the person with CMT	Foot orthoses n (%)	Orthotic footwear n (%)	Ankle-foot orthoses n (%)
Improve foot position during gait	361 (25.5)	107 (24.6)	101 (27.7)
Improve stability	327 (23.2)	62 (14.2)	49 (13.5)
Prevent worsening of deformities	260 (18.4)	66 (15.1)	25 (6.9)
Prevent falls	189 (13.4)	52 (11.9)	71 (19.5)
Prevent toe catching	111 (7.9)	13 (3.0)	39 (10.7)
Reduce pain/cutaneous issues in usual shoes	92 (6.5)	64 (14.7)	12 (3.3)
No aim	72 (5.1)	72 (16.5)	67 (18.4)
Total	1412 (100.0)	436 (100.0)	364 (100.0)

- poor fit (146/681, 21.4%)
- did not fit into everyday shoes (108/681, 15.9%)
- not aesthetic (96/681, 14.1%)
- pain/cutaneous issues (86/681, 12.6%)
- perceived lack of effectiveness (76/681, 11.2%)
- no longer adapted (62/681, 9.1%)
- too heavy (60/681, 8.8%)
- fear of losing muscle strength due to constant use (47/681, 6.9%).

A higher proportion of non-users did not undergo follow-up assessment of their foot deformities (132/391, 32.7%) than users (101/391, 25.8%) ( $p < 0.05$ ).

Participants who did not use their orthotic devices had fewer device check-up appointments (125/404, 30.9% vs. 183/391, 46.8%) ( $p < 0.0001$ ) and device reassessment appointments (85/404, 21.0% vs. 116/391, 29.7%) ( $p < 0.05$ ).

Non-users of orthotic footwear were prescribed them at a younger age than users (34.7 years vs. 39.6 years) ( $p < 0.05$ ); this was also the case for AFOs (37.8 years vs. 44.2 years) ( $p < 0.05$ ).

Overall management was more frequently described as poor (71/404, 17.6% vs. 15/391, 3.8%) and less frequently described as good (29.5% vs. 40.9%) by non-users ( $p < 0.0001$ ).

Improved general management and follow-up of their condition was more frequently reported as necessary by non-users (207/404, 51.2% vs. 169/391, 43.2%) ( $p < 0.05$ ).

The univariate logistic regressions revealed 5 important factors associated with non-use. Among the different types of initial symptoms, ankle sprains were the most strongly associated with the risk of non-use (OR = 1.395;  $p < 0.20$ ). No annual follow-up was associated with a risk of non-use (OR = 1.459;  $p < 0.05$ ). Reassessment by the orthopaedic surgeon was somewhat related to non-use (OR = 2.161;  $p < 0.20$ ). When foot orthoses were prescribed to manage foot position during gait, non-use was more likely (OR = 1.372;  $p < 0.05$ ). Five-yearly renewal of the orthotic devices was related to non-use (OR = 2.901;  $p < 0.05$ ).

The multivariate logistic regression model highlighted several determinants of non-use. Sporadic physiotherapy appointments (OR = 10.455;  $p < 0.05$ ) and multiple visits to the family doctor

within the year were strong determinants of non-use (OR = 1.694;  $p < 0.001$ ). Prescriptions of foot orthoses by a neurologist was related to non-use (OR = 1.756;  $p < 0.05$ ).

#### Factors that reduced non-use

Muscle strength (relevant to foot deformities) was assessed significantly more frequently in users than non-users (184/391, 47.1% vs. 162/404, 40.1%) ( $p < 0.05$ ). Deformities were reassessed at the time of orthotic footwear/AFO renewal more frequently in users (88/391, 22.5%) than non-users (52/404, 12.9%) ( $p < 0.05$ ). Reassessment by the PRM physician was significantly more frequent in users (56/391, 14.3%) than non-users (33/404, 8.2%) ( $p < 0.05$ ). When an AFO was prescribed to prevent toe-catching, non-use was less frequent (29/391, 7.4% users vs. 10/404, 2.5% non-users) ( $p < 0.05$ ).

Multiple (87/391, 22.3% users vs. 46/404, 11.4% non-users) and annual (88/391, 22.5% users vs. 49/404, 12.1% non-users) consultations with the podiatrist/orthoprosthesis were significantly more frequent in users ( $p < 0.0001$ ).

The univariate logistic regressions highlighted 3 important factors that reduced non-use. A later mean age of foot-symptom onset (24.1 [SD 19.6] years) reduced the risk of non-use (OR = 0.985;  $p < 0.0001$ ). Reassessment of the device in the months following its delivery (OR = 0.632;  $p < 0.01$ ), particularly by the PRM physician, reduced the risk of non-use (OR = 0.532;  $p < 0.01$ ).

The multivariate logistic regression model highlighted several factors that reduced non-use. Renewal of the orthotic device by the family doctor (OR = 0.228;  $p < 0.0001$ ), the neurologist (OR = 0.273;  $p < 0.0001$ ) and the PRM physician (OR = 0.347;  $p < 0.0001$ ) were associated with the device use. Follow-up by the professional who performed the fitting reduced the risk of non-use (OR = 0.649;  $p < 0.05$ ).

#### Example of pathways

Using all these results, we drafted a scheme of a pathway associated with orthotic device use (Figure 3), and a pathway associated with non-use (Figure 4).

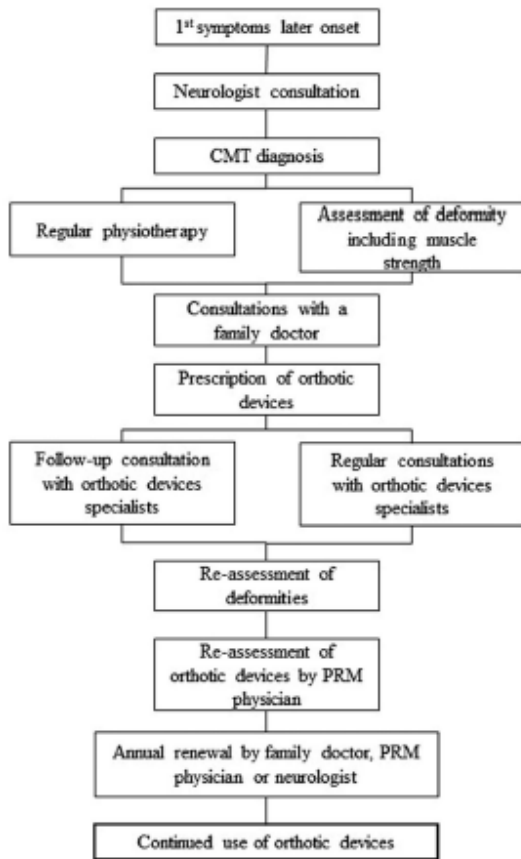


Figure 3. Example of a patient pathway associated with orthotic device use.

## Discussion

This large survey of people with CMT living in France identified features of the care pathway that relate to use and non-use of orthotic devices. The survey was completed by 3.9% of individuals with hereditary or idiopathic neuropathy in France, based on the health insurance statistics for the total number of people living with neuropathy in France [36]. The results showed a high rate of non-use of orthotic devices (50.8%). As hypothesized, specific features of the care pathway affected orthotic device use. The most frequent reason for non-use was a poor fit. Non-use was related to the type of orthotic device, to the network of professionals involved in rehabilitation provision and the prescription, fitting and follow-up of orthotic devices, and the severity of the disability caused by the CMT disease. Frequent consultations with a specialist favoured device use.

### Impact of the care pathway on use and non-use of orthotic devices

Using the features of the care pathway that were related to use and non-use of orthotic devices, we devised example pathways to illustrate pathways that facilitated use and those that could lead to non-use (Figures 3, 4). The features are discussed below.

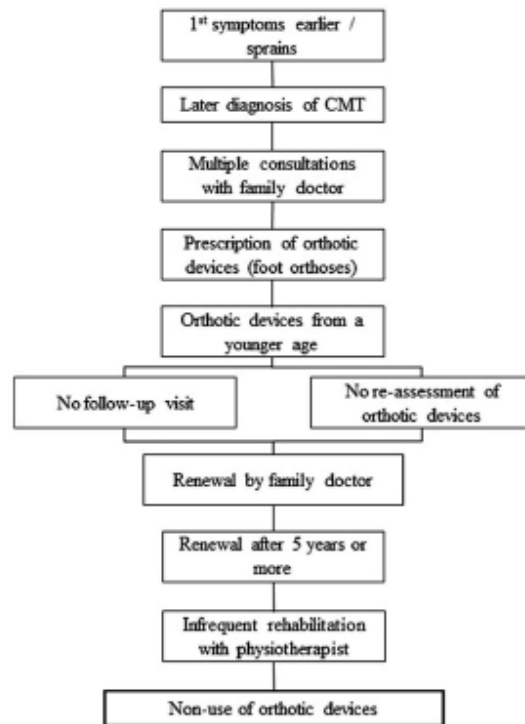


Figure 4. Example of a patient pathway associated with orthotic device non-use.

### Age at symptom onset and first prescriptions

The first feature related to use was age at the time of symptom onset. Participants who were younger at the time of the first foot symptoms gave up on orthotic devices more frequently. Earlier-onset of CMT usually indicates a more severe form of the disease [37]. These participants may have had more difficulties with fitting than those with later onset. Furthermore, foot orthoses may have rapidly been insufficient with necessary progression to orthotic footwear and/or AFOs [16,38].

Prescription at a young age was associated with non-use. These individuals may have had a more severe form of the disease, making management more complex, or they may have eventually tired of using orthotic devices, notably for aesthetic reasons and poor fit [39]. In addition, the perceived benefit may be greater when AFOs are prescribed later, when symptoms are more severe [28]. This could be explained by the fact that AFOs can help to minimize a foot drop that has become more troublesome, thus limiting compensatory muscle fatigue in the proximal muscles [28,40]. The literature shows that despite the fact some individuals perceive an improvement in their gait, if AFOs do not meet user expectations their use is reduced [20,27,29].

### Sprains

Interestingly, orthotic devices were more frequently not used when the first symptoms were ankle sprains. This suggests that the current designs of many orthotic devices are inappropriate. Foot orthoses are primarily indicated for pes cavus deformities with pain [38], and are mostly designed to distribute pressure

[41,42]; if they are not combined with proprioceptive rehabilitation or do not take into account changes in joint range of motion (reduced ankle dorsiflexion), they are unlikely to contribute to stability. Prescription of an AFO is recommended if foot deformities and associated balance disorders worsen [38].

#### *Consultation for diagnosis and prescription*

We observed that foot orthoses were on average prescribed 6 years after the first foot symptoms, and 4 years before diagnosis. The diagnosis of the disease is made approximately 10 years after the first symptoms.

The lack of diagnosis means that the orthotic professional cannot consider factors relating to the disease, such as the development of deformities. Consultation with a neurologist results in a more rapid diagnosis, which may explain why multiple consultations with the family doctor were not associated with the use of orthotic devices [43]. However, the prescription of foot orthoses by the neurologist seemed to lead to non-use, whereas the simple renewal of devices by the neurologist or the family doctor favoured their use. The role of these two professionals is not to provide a long-term follow-up of orthotic devices; however, they have an important role in prescription renewal for the device. Thus, this highlights the need for specialist neuro-orthopaedic care in CMT-disease, especially for the initial prescription of the devices [44,45].

#### *Assessment of foot deformity and role of physiotherapy*

Around 25% of people with CMT do not have foot deformities [2] and therefore do not undergo an assessment of deformity. Our results showed that participants who had not undergone any formal assessment of foot deformities used their orthotic devices; therefore, we hypothesize that the participants who used their orthotic devices did not have deformities, but required them to relieve pain, help with foot positioning or reduce foot drop [46].

The highest rates of non-use were among participants who underwent only one assessment with no follow-up assessment. In CMT, deformities generally progress over time and should be regularly reassessed [3]. Our results showed that multimodal evaluation of foot deformities was rare (8.3%). They also showed that assessment of muscle strength reduced non-use. A thorough assessment of muscle strength and length, and of the forces acting on the ankle and foot is essential to ensure that orthotic devices are well adapted to the individual.

It is interesting to note that frequent physiotherapy sessions were associated with lower rates of non-use, which supports theories relating to the physiopathology of the deformities [3–7]. Muscle strengthening and stretching may help to reduce deforming forces on joints, thus increasing orthotic device effectiveness.

#### *Follow-up consultations*

A lack of annual medical or paramedical consultations was associated with non-use of orthotic devices. This may be because the device was no longer adapted to the individual's foot owing to the progression of the disease, deterioration of gait and the worsening of foot deformities. In our experience, in diseases such as CMT, follow-up must be regular, and any devices should be reviewed and adapted at least yearly [42,47]. This is supported by the fact that frequent consultations with the pedorthist/orthoprosthodontist reduced non-use. Regular follow-up of the individual helps to take into account his or her experiential needs regarding orthotic devices [39]. This may also demonstrate a need for

additional custom-made devices (orthotic footwear+foot orthoses or orthotic footwear+AFOs).

#### *Prescription of orthotic devices*

Foot orthoses were the most frequently prescribed orthotic device but had the highest rate of non-use because of poor fit.

Although foot orthoses, orthotic footwear, and AFOs can be prescribed to improve foot position, some people want correction of their foot position for aesthetic reasons; foot orthoses generally do not improve aesthetic aspects of gait and thus their use may be stopped for this reason.

Furthermore, because foot orthotics are often prescribed before the diagnosis of CMT, it is unlikely that the need for regular follow-up and monitoring was taken into account at that time.

Up to 23% of individuals with different diseases may stop using orthotic footwear; 26% of polio survivors and 80% of individuals with CMT stop using their AFOs, particularly for reasons of poor fit and discomfort; data concerning foot orthoses seem to be lacking [29–31, 48]. These results agree with our study, which found a non-use rate of orthotic devices of 50.8%.

Our results provide important information on the rate of non-use of orthotic devices, including foot orthoses: non-use may be related to the partial reimbursement of foot orthoses by the French health insurance, and the non-reimbursement of podiatrist consultations [25].

Previous studies found that the main reasons for non-use are the unsightly appearance of orthotic footwear, difficulties with fitting (i.e., in usual shoes, etc.), discomfort and/or pain, and a lack of improvement in gait [20,27,30,49]. Our results confirm these findings. Specifically, the fit (immediate and long-term), weight and size of the orthotic devices and pain/cutaneous issues were associated with non-use.

The fact that discomfort [50] and unsightly appearance are major factors related to non-use of orthotic devices highlights the complexity of management in terms of neurophysiological issues and psychological factors. Orthotic device management should follow biopsychosocial principles [51,52], with the individual considered as an expert. Clinical reasoning regarding orthotic devices should no longer focus solely on function, but integrate the needs of users based on their experience [39,53].

#### *Follow-up of orthotic devices*

The results of this study suggest that the use of orthotic devices is closely linked to the network of professionals involved in the management of the orthotic devices.

The results highlight the need for a follow-up consultation with the podiatrist or pedorthist/orthoprosthodontist in the weeks following delivery of the orthotic devices, so that the device can be adapted as necessary [42]. We found that a lack of such follow-up was a major factor relating to non-use. Moreover, the lack of re-evaluation of the device by prescribing professionals seems to increase the risk of non-use. In contrast, follow-up assessment and renewal of orthotic devices by the PRM physician reduced the risk of non-use. This professional is a specialist in the prescription of orthotic footwear and AFOs in France [26]. Follow-up provides an opportunity to understand the individual's point of view [39] and thus offers the possibility to respond to unsatisfied needs by adapting orthotic device prescriptions and practices. Indeed, in our clinical experience, different solutions may need to be trialled before the optimal solution is found. The person may need to use the orthotic device for several weeks to determine its suitability and it may be necessary to adjust the

device as much as 3 times [42]. Being followed by a specialist physician, therefore, seems to be important for the correct use of the device. These results highlight the importance of multidisciplinary management [46], which may be hindered by the complexity of the relationships between primary care and hospital networks. The development of optimized care pathways in neuro-orthopaedics remains a challenge.

### Limitations

This study has several limitations. Participants were recruited via the CMT-France Association; generally, people join the association when they have more severe forms of CMT; thus the results are likely generalizable to people with more severe forms of the disease.

Some participants may have answered that they no longer used their orthotic devices when they had simply changed the type of device, rather than stopped using an orthotic device, leading to bias of some results. Data related to the renewal, monitoring and re-evaluation of the device concerned all the different devices used by the participant, with no distinction between device types. Thus, the mean renewal time of one year does not reflect practice in France: AFOs can only be renewed every 3 years, whereas foot orthoses may be renewed yearly. This time therefore likely corresponds to the renewal of foot orthoses.

Information about foot deformities and assessments performed was based on participant self-reports, which may be a limitation.

The study did not address factors which limit the follow-up and reassessment of orthotic devices, such as reimbursement. Such factors should be assessed in future studies.

### Conclusion

This study of the relationship between features of the care pathway and non-use of orthotic devices in a sample of 795 individuals with CMT in France showed that more than half did not use an orthotic device that had been prescribed for them. Non-use was related to a lack of follow-up of the device by the fitter and a lack of re-evaluation by the prescriber. Therefore, care pathways, including the prescription, delivery and follow-up of orthotic devices, must be optimized to meet the needs of individuals with CMT. Device fit, the individual's needs, and changes in the clinical state must be re-evaluated regularly by specialists, whether prescribers or providers, to improve orthotic device use.

Future studies should evaluate the characteristics of each type of orthotic device and their relationship with non-use in people with CMT.

### Acknowledgements

This research was supported by grants from the Agence Régionale de Santé Île-de-France and the Institut de Santé Parasport Connecté (ISPC). We are grateful to CMT-France Association for disseminating our survey. We would like to thank Dr. Laurence Mailhan for her participation in the conception of the survey. We thank Johanna Robertson for language assistance and constructive criticism, and Lionelle Nkam for statistical support.

### Authors' contributions

Cédric Blouin co-conceived the idea for the study. He was involved in the creation of the survey, data collection, then interpreted the data, wrote the first version of the manuscript and revised it

until the final version. Antoine Perrier co-conceived the idea for the study. He was involved in the creation of the survey, data collection, and commented on all versions of the manuscript until the final version. Philippe Denormandie co-conceived the idea for the study. He was involved in the creation of the survey, data collection, and commented on the draft versions of the manuscript. François Genêt co-conceived the idea for the study. He was involved in the creation of the survey, data collection, data interpretation, and commented on the first and subsequent versions of the manuscript. All authors read and approved the final version of the manuscript.

### Disclosure statement

The authors report there are no competing interests to declare

### Funding

This research was supported by the Agence Régionale de Santé Île-de-France and the Institut de Santé Parasport Connecté (ISPC).

### ORCID

Cédric Blouin  <http://orcid.org/0000-0002-1502-4668>

### References

- [1] Reilly MM, Murphy SM, Laurá M. Charcot-Marie-Tooth disease. *J Peripher Nerv Syst.* 2011;16(1):1–14.
- [2] Laurá M, Singh D, Ramdharry G, et al. Prevalence and orthopedic management of foot and ankle deformities in Charcot-Marie-Tooth disease: management of CMT foot deformities. *Muscle Nerve.* 2018;57(2):255–259.
- [3] Beals TC, Nickisch F. Charcot-Marie-Tooth disease and the cavovarus foot. *Foot Ankle Clin.* 2008;13(2):259–274.
- [4] Holmes JR, Hansen ST. Foot and ankle manifestations of Charcot-Marie-Tooth disease. *Foot Ankle.* 1993;14(8):476–486.
- [5] Karakis I, Gregas M, Darras BT, et al. Clinical correlates of charcot-marie-tooth disease in patients with pes cavus deformities: CMT correlates in Pes Cavus. *Muscle Nerve.* 2013;47(4):488–492.
- [6] Krause FG, Iselin LD. Hindfoot varus and neurologic disorders. *Foot Ankle Clin.* 2012;17(1):39–56.
- [7] Tynan MC, Klenerman L, Helliwell TR, et al. Investigation of muscle imbalance in the leg in symptomatic forefoot pes cavus: a multidisciplinary study. *Foot Ankle.* 1992;13(9):489–501.
- [8] Guyton GP. Current concepts review: orthopaedic aspects of Charcot-Marie-Tooth disease. *Foot Ankle Int.* 2006;27(11):1003–1010.
- [9] Nonnekes J, Hofstad C, de Rotteveel A, et al. Management of gait impairments in people with hereditary motor and sensory neuropathy: a treatment algorithm. *J Rehabil Med.* 2021;0:0.
- [10] Newman CJ, Walsh M, O'Sullivan R, et al. The characteristics of gait in Charcot-Marie-Tooth disease types I and II. *Gait Posture.* 2007;26(1):120–127.
- [11] Vinci P, Perelli SL. Footdrop, foot rotation, and plantarflexor failure in Charcot-Marie-Tooth disease. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(4):513–516.
- [12] Don R, Serrao M, Vinci P, et al. Foot drop and plantar flexion failure determine different gait strategies in Charcot-Marie-Tooth patients. *Clin Biomech.* 2007;22(8):905–916.

- [13] International Organization for Standardization. ISO prosthetics and Orthotics - Vocabulary - Part 3: terms relating to orthoses. ISO 8549-3:2020. AFNOR, Switzerland. 2020.
- [14] International Organization for Standardization. ISO prosthetics and Orthotics - Foot Orthotics - Uses, functions classification and description. ISO 21064. AFNOR, Switzerland. 2017.
- [15] Burns J, Crosbie J, Ouvrier R, et al. Effective orthotic therapy for the painful cavus foot. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2006;96(3):205–211.
- [16] Sautreuil P, Mane M, Missaoui B, et al. Premiers chaussages orthétiques dans la maladie de Charcot-Marie-Tooth. *Med Sci (Paris).* 2016;32:17–21.
- [17] Guillebaste B, Calmels P, Rougier PR. Assessment of appropriate ankle-foot orthoses models for patients with Charcot-Marie-Tooth disease. *Am J Phys Med Rehabil.* 2011;90(8):619–627.
- [18] Guzian MC, Bensoussan L, Viton JM, et al. Orthopaedic shoes improve gait in a Charcot-Marie-Tooth patient: a combined clinical and quantified case study. *Prosthet Orthot Int.* 2006;30(1):87–96.
- [19] Nonnekes J, Benda N, van Duijnhoven H, et al. Management of gait impairments in chronic unilateral upper motor neuron lesions: a review. *JAMA Neurol.* 2018;75(6):751–758.
- [20] Zuccarino R, Anderson KM, Shy ME, et al. Satisfaction with ankle foot orthoses in individuals with Charcot-Marie-Tooth disease. *Muscle Nerve.* 2021;63(1):40–45.
- [21] Dufek JS, Neumann ES, Hawkins MC, et al. Functional and dynamic response characteristics of a custom composite ankle foot orthosis for Charcot-Marie-Tooth patients. *Gait Posture.* 2014;39(1):308–313.
- [22] Ramdharry GM, Day BL, Reilly MM, et al. Foot drop splints improve proximal as well as distal leg control during gait in Charcot-Marie-Tooth disease: ankle foot orthoses in CMT. *Muscle Nerve.* 2012;46(4):512–519.
- [23] Ounpuu S, Garibay E, Acsadi G, et al. The impact of orthoses on gait in children with Charcot-Marie-Tooth disease. *Gait Posture.* 2021;85:198–204.
- [24] Ounpuu S, Garibay E, Solomito M, et al. A comprehensive evaluation of the variation in ankle function during gait in children and youth with charcot-marie-tooth disease. *Gait Posture.* 2013;38(4):900–906.
- [25] Code de la santé publique - Article D. 4322-1-1. Décret n°2019-835 du 12 août 20192022.
- [26] Sécurité Sociale - L'Assurance Maladie. Liste des Produits et des Prestations (LPP) de l'Assurance Maladie2022.
- [27] Phillips M, Radford K, Wills A. Ankle foot orthoses for people with Charcot Marie Tooth disease – views of users and orthotists on important aspects of use. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2011;6(6):491–499.
- [28] Ramdharry GM, Pollard AJ, Marsden JF, et al. Comparing gait performance of people with Charcot-Marie-Tooth disease who do and do not wear ankle foot orthoses: gait performance and orthoses in Charcot Marie-Tooth disease. *Physiother Res Int.* 2012;17(4):191–199.
- [29] Vinci P, Gargiulo P. Poor compliance with ankle-foot-orthoses a in Charcot-Marie-Tooth disease. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2008;44(5):27–31.
- [30] Swinnen E, Kerckhofs E. Compliance of patients wearing an orthotic device or orthopedic shoes: a systematic review. *J Bodyw Mov Ther.* 2015;19(4):759–770.
- [31] Jannink MJ, Ijzerman MJ, Groothuis-Oudshoorn K, et al. Use of orthopedic shoes in patients with degenerative disorders of the foot. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(4):687–692.
- [32] Peng Y, Wang Y, Wong DW-C, et al. Extrinsic foot muscle forces and joint contact forces in flexible flatfoot adult with foot orthosis: a parametric study of tibialis posterior muscle weakness. *Gait Posture.* 2021;88:54–59.
- [33] Ridge ST, Olsen MT, Bruening DA, et al. Walking in minimalist shoes is effective for strengthening foot muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51(1):104–113.
- [34] Kelaher D, Mirka GA, Dudziak KQ. Effects of semi-rigid arch-support orthotics: an investigation with potential ergonomic implications. *Appl Ergon.* 2000;31(5):515–522.
- [35] Likert R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology.* 1932;22(140):55–55.
- [36] <https://assurance-maladie.ameli.fr/etudes-et-donnees/entree-par-theme/pathologies/affections-de-longue-duree-ald/affections-longue-duree-ald>. 2021.
- [37] Chung KW, Kim SB, Park KD, et al. Early onset severe and late-onset mild Charcot-Marie-Tooth disease with mitofusin 2 (MFN2) mutations. *Brain.* 2006;129(Pt 8):2103–2118.
- [38] Scheffers G, Hiller C, Refshauge K, et al. Prescription of foot and ankle orthoses for children with charcot-marie-tooth disease: a review of the evidence. *Phys Ther Rev.* 2012;17(2):79–90.
- [39] Lahoud D, Teng CH, Nusem E, et al. Content analysis of child user and carer perspectives of ankle-foot orthoses. *Prosthet Orthot Int.* 2021;45(1):12–19.
- [40] Ramdharry GM, Day BL, Reilly MM, et al. Hip flexor fatigue limits walking in Charcot-Marie-Tooth disease: hip flexor fatigue in CMT. *Muscle Nerve.* 2009;40(1):103–111.
- [41] Gilardeau C. Maladie de Charcot-Marie-Tooth et exercice physique, rééducation et appareillage - Principes de traitement en médecine physique. CMT-France, Saint-Alban, France. 2010.
- [42] AFM Téléthon. La maladie de Charcot-Marie-Tooth 2015.
- [43] Jani-Acsadi A, Krajewski K, Shy M. Charcot-Marie-Tooth neuropathies: diagnosis and management. *Semin Neurol.* 2008;28(2):185–194.
- [44] Küçükdeveci AA, Stibrant Sunnerhagen K, Golyk V, et al. Evidence-based position paper on physical and rehabilitation medicine professional practice for persons with stroke. The european PRM position (UEMS PRM section). *Eur J Phys Rehabil Med.* 2019;54(6):957–970.
- [45] Lazovic M, Nikolic D, Boyer FC, et al. Evidence based position paper on physical and rehabilitation medicine practice for people with muscular dystrophies. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2021;57(6):1036–1044.
- [46] Johnson N, McCorquodale D, Pucillo E. Management of Charcot-Marie-Tooth disease: improving long-term care with a multidisciplinary approach. *JMDH.* 2016;7:7.
- [47] Haute Autorité de Santé. Evaluation des orthèses plantaires et des coques talonnières2018.
- [48] Ploeger HE, Bus SA, Brehm M-A, et al. Use and usability of custom-made dorsiflexion-restricting ankle-foot orthoses for calf muscle weakness in polio survivors: a cross-sectional survey. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2020;56(5):575–584.
- [49] Vinci P, Paoloni M, Ioppolo F, et al. Gait analysis in a patient with severe Charcot-Marie-Tooth disease: a case study with a new orthotic device for footdrop. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2010;46:355–361.
- [50] Menz HB, Bonanno DR. Footwear comfort: a systematic search and narrative synthesis of the literature. *J Foot Ankle Res.* 2021;14(1):63.
- [51] McKee PR, Rivard A. Biopsychosocial approach to orthotic intervention. *J Hand Ther.* 2011;24(2):155–162; quiz 163.
- [52] Engel GL. The need for a new medical model: a challenge for biomedicine. *Science.* 1977;196(4286):129–136.

- [53] Lobo MA, Hall ML, Greenspan B, et al. Wearables for pediatric rehabilitation: how to optimally design and use products to meet the needs of users. *Phys Ther.* 2019;99(6):647-657.

## Appendix 1

### Survey - Charcot-Marie-Tooth and foot management

1. At what age did you first experience problems with your feet?
2. Were these problems related to difficulties with:Footwear - Walking - Balance - Sprain - Other
3. Were these problems found to be related to the disease?Yes - No - Other
4. If yes, by whom?Yourself - Your family doctor - Your podiatrist - Your family - Your physiotherapist -Other
5. How did you get information about your disease?Your family - Health professional - Internet/Social networks - Neurologist who made the diagnosis - Other
6. What information did you receive about your disease?Muscle weakness - Sensory problems - Foot deformities - Sprains or imbalances - Other
7. What advice have you received about your foot deformities?Do daily stretching - Monitor their function and shape - Keep your muscles and joints in good shape - Other
8. Have you had any of the following assessments in relation to your foot deformities?Muscle assessment - X-ray assessment - Gait assessment - Foot contact points assessment - Other
9. Have you been reassessed:Because of pain - Because of changes in your deformities - Because of changes in muscle strength - When renewing your orthotic footwear/AFO - When renewing your foot orthoses - Never - Other
10. Several times a year: who follows you for your CMT?Family doctor - Neurologist - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Physiotherapist - Podiatrist - Pedorthist/orthoprosthodontist - Other
11. Once a year: who follows you for your disease?Family doctor - Neurologist - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Physiotherapist - Podiatrist - Pedorthist/orthoprosthodontist - Other
12. Once every 2 years: who follows your CMT?Family doctor - Neurologist - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Physiotherapist - Podiatrist - Pedorthist/orthoprosthodontist - Other
13. Once every 5 years: who follows you for your disease?Family doctor - Neurologist - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Physiotherapist - Podiatrist - Pedorthist/orthoprosthodontist - Other
14. Have you ever been prescribed orthotic device?Foot orthoses - Orthotic footwear - Ankle-foot orthoses - None - Other
15. If you are no longer using orthotic devices, please specify the reason:Aesthetic problem - Weight of orthotic device - Pain/cutaneous issues (redness, skin lesion) - No longer adapted - Not adapted - Fear of losing strength by wearing it all the time - Does not fit into the usual shoes - Was not effective - I did not give up wearing orthotic devices - I do not wear an orthotic device - Other
16. Have you had a follow-up visit for the orthotic device?Yes - No - Don't know - Other
17. Was the orthotic device reassessed in the following months?Yes - No - Don't know - Other
18. If yes, by whom?Neurologist - Family doctor - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Orthopaedic surgeon - Not concerned - Other
19. Has the orthotic device been renewed?Yes - No - Don't know - Other
20. If yes, by whom?Neurologist - Family doctor - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Orthopaedic surgeon - Not concerned - Other
21. How often?Once a year - Once every 2 years - Every 2 to 5 years - Every 5 years or more - Not concerned - Other
22. Have you ever had orthopaedic surgery for your feet problems?Yes - No - Don't know - Other
23. Do you consider your medical and paramedical care to be:Good - OK - Insufficient - Bad - Other
24. In which area would you have liked to receive more support?Information on the consequences of the disease - Choice of therapeutic solutions - Follow-up of therapeutic solutions - Other
25. How old are you?
26. At what age were you diagnosed with the disease?
27. At what age did you receive your first foot orthoses?
28. Who prescribed your foot orthoses?Neurologist - Family doctor - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Orthopaedic surgeon - Podiatrist - Not concerned - Other
29. What was the purpose of your foot orthoses?Instability - Falls - Toe catching - Conflict/pain in usual shoes - Problem of foot position when walking - Correction of deformities - Not applicable - Other
30. At what age did you receive your first AFO?
31. What was the purpose of your AFO?Instability - Falls - Toe catching - Conflict/pain in usual shoes - Problem of foot position when walking - Correction of deformities - Not applicable - Other
32. Who prescribed your AFO?Neurologist - Family Doctor - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Orthopaedic surgeon - Not concerned - Other
33. At what age did you receive your first orthotic footwear?
34. What was the purpose of your orthotic footwear?Instability - Falls - Toe catching - Conflict/pain in usual shoes - Problem of foot position when walking - Correction of deformities - Not applicable - Other
35. Who prescribed your orthotic footwear?Neurologist - Family doctor - PRM (Physical and Rehabilitation Medicine) physician - Orthopaedic surgeon - Not concerned - Other

## Annexe H. Enquête - Charcot-Marie-Tooth

1. À quel âge avez-vous eu vos premiers problèmes de pieds ?
2. Ces problèmes étaient-ils liés à des difficultés de :
  - Chaussures - Marche - Équilibre - Entorse - Autre
3. A-t-on constaté que ces problèmes étaient liés à la maladie ?
  - Oui - Non - Autre
4. Si oui, par qui ?
  - Vous-même - Votre médecin généraliste - Votre podologue - Votre famille - Votre kinésithérapeute - Autre
5. Comment avez-vous obtenu des informations sur votre maladie ?
  - Votre famille - Un professionnel de santé - Internet / Réseaux sociaux - Le neurologue qui a posé le diagnostic - Autre
6. Quelles informations avez-vous reçues sur votre maladie ?
  - Faiblesse musculaire - Problèmes sensoriels - Déformations du pied - Entorses ou déséquilibres - Autre
7. Quels conseils avez-vous reçus concernant vos déformations du pied ?
  - Faire des étirements quotidiens - Surveiller leur fonction et leur forme - Maintenir vos muscles et vos articulations en bonne forme - Autre
8. Avez-vous subi l'une des évaluations suivantes en rapport avec vos déformations du pied ?
  - Évaluation musculaire - Évaluation radiographique - Évaluation de la marche - Évaluation des points d'appuis des pieds - Autre
9. Avez-vous été réévalué :
  - En raison de la douleur - En raison de changements dans vos déformations - En raison de changements dans la force musculaire - Lors du renouvellement de vos chaussures orthopédiques/AFOs - Lors du renouvellement de vos orthèses plantaires - Jamais - Autre
10. Plusieurs fois par an : qui vous suit pour votre maladie CMT ?
  - Médecin généraliste - Neurologue - Médecin MPR (Médecine Physique et de Réadaptation) - Kinésithérapeute - Podologue - Podo-orthésiste/orthoprothésiste - Autre
11. Une fois par an : qui vous suit pour votre maladie CMT ?
  - Médecin généraliste - Neurologue - Médecin MPR (Médecine Physique et de Réadaptation) - Kinésithérapeute - Podologue - Podo-orthésiste/orthoprothésiste - Autre
12. Une fois tous les 2 ans : qui vous suit pour votre maladie CMT ?
  - Médecin généraliste - Neurologue - Médecin MPR (Médecine Physique et de Réadaptation) - Kinésithérapeute - Podologue - Podo-orthésiste/orthoprothésiste - Autre
13. Une fois tous les 5 ans : qui vous suit pour votre maladie CMT ?
  - Médecin généraliste - Neurologue - Médecin MPR (Médecine Physique et de Réadaptation) - Kinésithérapeute - Podologue - Podo-orthésiste/orthoprothésiste - Autre
14. Vous a-t-on déjà prescrit un appareillage ?
  - Orthèses plantaires - Chaussures orthopédiques - Orthèses de cheville-pied (AFOs) - Aucune - Autre
15. Si vous n'utilisez plus d'appareillage, veuillez en préciser la raison :
  - Problème esthétique - Poids de l'appareillage - Douleurs/problèmes cutanés (rougeur, lésion cutanée) - N'est plus adapté - N'est pas adapté - Peur de perdre de la force en le portant tout le temps - Ne rentre pas dans les chaussures habituelles - N'a pas été efficace - Je n'ai pas renoncé à porter les appareillages - Je ne porte pas d'appareillage - Autre
16. Avez-vous eu une visite de suivi pour l'appareillage ?
  - Oui - Non - Je ne sais pas - Autre
17. L'appareillage a-t-il été réévalué au cours des mois suivants ?

- Oui - Non - Je ne sais pas - Autre

18. Si oui, par qui ?

- Neurologue - Médecin généraliste - Médecin MPR (Médecine physique et de réadaptation) - Chirurgien orthopédique - Non concerné - Autre

19. L'appareillage a-t-il été renouvelé ?

- Oui - Non - Je ne sais pas - Autre

20. Si oui, par qui ?

- Neurologue - Médecin généraliste - Médecin MPR (Médecine Physique et de Réadaptation) - Chirurgien orthopédique - Non concerné - Autre

21. A quelle fréquence ?

- Une fois par an - Une fois tous les 2 ans - Tous les 2 à 5 ans - Tous les 5 ans ou plus - Non concerné - Autre

22. Avez-vous déjà subi une chirurgie orthopédique pour vos problèmes de pieds ?

- Oui - Non - Je ne sais pas - Autre

23. Considérez-vous que vos soins médicaux et paramédicaux sont :

- Bons - Corrects - Insuffisants - Mauvais - Autres

24. Dans quel domaine auriez-vous souhaité être davantage soutenu ?

- Information sur les conséquences de la maladie - Choix des solutions thérapeutiques - Suivi des solutions thérapeutiques - Autre

25. Quel âge avez-vous ?

26. À quel âge la maladie a-t-elle été diagnostiquée chez vous ?

27. À quel âge avez-vous reçu vos premières orthèses plantaires ?

28. Qui vous a prescrit vos orthèses plantaires ?

- Neurologue - Médecin généraliste - Médecin MPR (Médecine physique et de réadaptation) - Chirurgien orthopédique - Podologue - Non concerné - Autre

29. Quel était l'objectif de vos orthèses plantaires ?

- Instabilité - Chutes - Accrochage des orteils - Conflit/douleur dans les chaussures habituelles - Problème de position du pied lors de la marche - Correction de déformations - Non applicable - Autre

30. À quel âge avez-vous reçu votre première orthèse cheville pied (AFO) ?

31. Quel était l'objectif de votre orthèse de cheville-pied (AFO) ?

- Instabilité - Chutes - Accrochage des orteils - Conflit/douleur dans les chaussures habituelles - Problème de position du pied lors de la marche - Correction des déformations - Non applicable - Autre

32. Qui vous a prescrit votre orthèse de cheville-pied (AFO) ?

- Neurologue - Médecin généraliste - Médecin MPR (Médecine physique et de réadaptation) - Chirurgien orthopédique - Non concerné - Autre

33. À quel âge avez-vous reçu vos premières chaussures orthopédiques ?

34. Quel était le but de vos chaussures orthopédiques ?

- Instabilité - Chutes - Accrochage des orteils - Conflit/douleur dans les chaussures habituelles - Problème de position du pied lors de la marche - Correction de déformations - Non applicable - Autre

35. Qui vous a prescrit vos chaussures orthopédiques ?

- Neurologue - Médecin généraliste - Médecin MPR (Médecine physique et de réadaptation) - Chirurgien orthopédique - Non concerné - Autre



# Annexe I. Article “Cross-cultural adaptation and reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) – French version”

DISABILITY AND REHABILITATION  
https://doi.org/10.1080/09638288.2023.2203524



ORIGINAL ARTICLE



## Cross-cultural adaptation and reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) – French version

Cédric Blouin<sup>a,b,c</sup>, François Genet<sup>c,d,e</sup>, Wilfrid Graff<sup>b</sup>, Céline Bonnyaud<sup>a,f</sup> and Antoine Perrier<sup>b,g,h</sup>

<sup>a</sup>Université Paris Saclay, UVSQ, ERPHAN, Versailles, France; <sup>b</sup>Service de chirurgie orthopédique, Hôpital de la Croix-Saint-Simon, Groupe Hospitalier Diaconesses– Croix-Saint-Simon, Paris, France; <sup>c</sup>ISPC Synergies, Paris, France; <sup>d</sup>Unité Péri Opératoire du Handicap, (UPOH- Perioperative Disability Unit), Département PARASPORT- SANTE, service de Médecine Physique et de Réadaptation, Hôpital Raymond-Poincaré, Groupe Hospitalo-Universitaire APHP-Université PARIS SACLAY, Garches, France; <sup>e</sup>END: ICAP, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ); UFR Simone Veil - Santé, Montigny-le-Bretonneux, France; <sup>f</sup>Laboratoire d'analyse du mouvement, Service des Explorations Fonctionnelles, Hôpital Raymond Poincaré, APHP, Garches, France; <sup>g</sup>Laboratoire de Recherche Translationnelle et d'innovation en Médecine et Complexité TIMC, CNRS, Grenoble, France; <sup>h</sup>Service de diabétologie, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

### ABSTRACT

**Purpose:** The 6-item Foot Posture Index (FPI-6) is a reliable tool for the evaluation of foot deformities. Our aim was to translate and cross-culturally validate the FPI-6 for use in French-speaking countries and to determine the intra-rater and inter-rater reliability of the French version.

**Methods:** Cross-cultural adaptation was performed according to guidelines. Two clinicians assessed the FPI-6 in 52 asymptomatic individuals. We evaluated intra- and inter-rater reliability with the intraclass correlation coefficients (ICC), correlations ( $p$ -value < 0.05) and Bland-Altman plots. Standard error of measurement (SEM) and minimum detectable change ( $MDC_{95}$ ) were determined.

**Results:** For the cross-cultural adaptation, we modified several items of the FPI-6 user guide and added footnotes to ensure correct interpretation. ICC of the total FPI-6 scores were 0.94 to 0.96 for the intra- and inter-rater reliability for dominant and non-dominant lower limb. Correlations were significant ( $p < 0.001$ );  $r$  0.88 to 0.92. Total score SEM was 0.68 to 0.78 and  $MDC_{95}$  was 1.58 to 1.82.

**Conclusions:** Intra- and inter-rater reliability of this French version of the FPI-6 was excellent for the total score and good to excellent for each item. The French FPI-6 can be used in French-speaking countries. The identification of SEM and MDC scores is useful for clinical interpretation.

### > IMPLICATIONS FOR REHABILITATION

- The French version of the 6-item Foot Posture Index (FPI-6) can be used in clinical practice in French-speaking countries
- Intra- and inter-rater reliability of total FPI score are excellent
- We provide minimal detectable change value for clinical interpretation (1.58 to 1.82)

### ARTICLE HISTORY

Received 18 July 2022  
Revised 22 February 2023  
Accepted 12 April 2023

### KEYWORDS

Foot Posture Index;  
cross-cultural adaptation;  
foot deformities; reliability;  
validation study

## Introduction

Foot morphology impacts foot function and movement. Understanding the links between static foot posture and dynamic function is a major challenge, however forefoot and rearfoot alignment provides an indication of overall foot function that can be used to guide the management of individuals with foot problems [1].

Foot morphology is typically assessed in a static position. Assessment methods include non-quantitative visual inspection, anthropometric measurements [2–7], imprint measurements [8–15] or radiographic measurements [16]. The morphology of each part of the foot is usually described separately: the forefoot is described in the horizontal plane according to the alignment of the toes [15,17]; the midfoot is described in the sagittal plane according to the height of the arch, and the hindfoot is analysed in the frontal plane and described in terms of degrees of valgus or varus [15,18]. Radiographic measurements are considered as the gold-standard [19,20], however they only provide uniplanar, structural information that may not correspond to foot function [21]. Furthermore, ionizing radiation has adverse effects and therefore

radiography must be limited [22,23]. Clinical measurements, which are easy and cheap to perform, are often limited by their subjectivity [24], lack of clinical relevance [11,25], focus on a single movement plane [26], and low level of reliability [27].

One tool that has demonstrated reliability, as well as being indicative of dynamic foot function, is the 6-item Foot Posture Index (FPI-6). This tool was created to provide a systematic, clinical examination of each anatomical segment of the foot in all 3 planes, using pre-defined criteria [28]. It is currently the most widely used and recommended instrument [29,30]. The FPI-6 classifies foot morphology into 3 categories: neutral, pronated and supinated.

Compared with other commonly used clinical uniplanar assessments, the FPI-6 appears to correspond the most closely to the biomechanics of gait [31–35]. Nevertheless, this static assessment cannot explain gait biomechanics alone and should be considered as an indicator [31]. Studies involving video and 3D motion analysis highlighted that the FPI-6 cannot accurately predict midfoot and hindfoot dynamics [36–38]. These measures are to be used as a guide and are not meant to predict function.

**CONTACT** Cédric Blouin cedblouin@gmail.com Hôpital Raymond Poincaré, 104, Bd Raymond Potncaré, 92380 Garches, France

© 2023 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

FPI-6 score is affected by age [39]: higher scores were found in children and adolescents and in adults over the age of 60 [40] than in adults below 60 years. However, it is independent from sex and body mass index [41]. Intra- and inter-rater reliability is excellent in asymptomatic children and adults and in individuals with hemiparesis following stroke [42–46], and it is reliable, even when used by inexperienced clinicians [45]. Studies in 619 [40] and 930 adults [47] and 3217 children [48] found scores of +3 and +4 points, showing a tendency for foot pronation in the general population.

The FPI-6 appears to be the most relevant morphological assessment tool for the analysis of neurological deformities and their impact on foot function [40]. It is widely used in the field of neuro-orthopaedics [49–51].

FPI-6 scores are correlated with dynamic plantar pressures in asymptomatic adults and in children with pes planus deformities [52–55]. Scores also correlate with radiological measurements of the foot in symptomatic and non-symptomatic adults and children [53,56]. Therefore, the FPI-6 seems to be a pertinent tool to standardise clinical practice and to evaluate the effect of orthopaedic devices and surgery on foot morphology.

Use of the FPI-6 in France is currently limited by the fact it is in English. Furthermore, the definitions of some of the English terms used in the index are variable [57] and slight differences may exist with the French definitions of the same terms. Therefore, for use in French-speaking countries, the FPI-6 must be translated and cross-culturally adapted, as was done for the Portuguese-Brazilian version [58].

The first aim of this study was to translate and cross-culturally adapt the FPI-6 for use in French-speaking countries. The second aim was to determine the intra-rater and inter-rater reliability of the French FPI-6.

## Methods

This study involved 2 phases: 1) translation-back-translation and cross-cultural adaptation and 2) reliability assessment with asymptomatic individuals. The study was approved by the Research Ethics Committee of the Université Paris Saclay (reference CER-Paris-Saclay-2021-007). We obtained permission from the University of Leeds and the authors of the original FPI-6 for this cross-cultural adaptation.

## Cross-cultural adaptation

Cross-cultural adaptation of the FPI-6 followed the reference method described by Beaton et al. [59] (Figure 1). The original version (V0) of the FPI-6 was translated into French by 2 native French speakers independently. The 2 resulting versions, V1 and V1', were reviewed by a committee of 3 orthopaedic experts who produced a consensual French version, V2. This version was then translated back to English by 2 native English translators (J.R. and I.N.) independently. The 2 resulting versions, V3 and V3' were compared with V0 by the expert committee, who discussed any discrepancies with the 2 native English translators. A pre-final, consensual French version, V4, was then produced.

Cross-cultural adaptation was then undertaken by submitting V4 to 30 French-speaking clinicians [60,61] who each had at least 5 years' experience in the field of rehabilitation (7 orthopaedic surgeons, 5 physical and rehabilitation medicine doctors, 9 podiatrists and 9 physiotherapists). The clinicians were asked to rate the clarity of each item using a 7-point Likert scale [62] on which 1 = "Not at all clear" and 7 = "Perfectly clear". Any items rated 4 or less were submitted to the expert committee and the 2 native English translators for discussion and modification. This stage resulted in the creation of the final version (V5).

## Participants and FPI-6 assessment

We tested reliability in asymptomatic adults [63]. We recruited participants from the nursing staff of Raymond Poincaré Hospital, Garches, France. Inclusion criteria were aged between 18 and 59 years; no foot pain in standing or walking; and any type of foot morphology (including left-right asymmetry) as long as no pain was present.

Non-inclusion criteria were the presence of a malformation (congenital or other) that prevented part of the foot from touching the ground; musculoskeletal lower limb injury with anatomical lesions of the bone, muscle or ligament tissue [64,65] less than 3 months previously [66–69]; pain in the lower limbs when standing or walking; inability to stand for more than 3 min without a technical device; amputation; balance problems; and pregnancy or breastfeeding.

Participants were asked to march on the spot before adopting a relaxed stance position for the assessment [28]. The 6 items of the FPI-6 were rated for each foot. The whole assessment was performed on 1 foot, then the other. Two podiatrists (CB and AP),

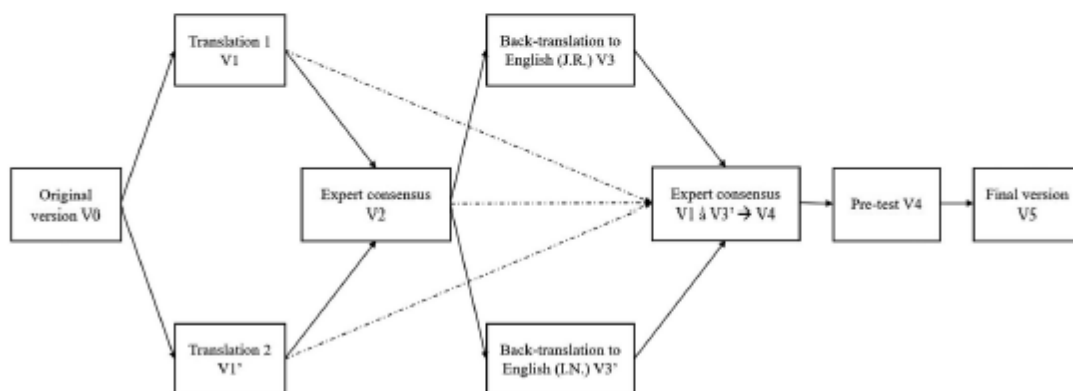


Figure 1. Cross-cultural adaptation process.

both with more than 10 years' experience using the FPI-6 and experts in the morphological evaluation of the feet of healthy and pathological subjects, performed the assessments. Both lower limbs of all participants were assessed to determine the inter-rater reliability at an interval of 1 h, and most of the participants underwent the second evaluation one week later to determine intra-rater reliability (CB). The dominant limb was identified by asking participants with which leg they kick a ball [70].

### Statistical analysis

The sample size calculation indicated that a minimum of 23 participants should be included, based on a good to excellent ICC (between 0.70 according to the null hypothesis, the minimum expected correlation, and 0.90) with  $\alpha=0.05$  and 80% power. However, Terwee et al. recommend at least 50 subjects for reliability studies for a cross-cultural adaptation [63].

We thus planned to include at least 50 participants.

We reported anthropometric data by the mean and standard deviation (SD) and categorical variables by their distribution. Normality was tested using the Shapiro-Wilk test.

We determined inter- and intra-rater reliability by calculating the intraclass correlation coefficient (ICC). Reliability was interpreted according to published recommendations: low for  $ICC < 0.40$ ; medium for  $0.40 \leq ICC \leq 0.59$ ; good for  $0.60 \leq ICC \leq 0.74$ ; and excellent for  $ICC \geq 0.75$  [71]. Pearson correlations were performed for inter- and intra-rater evaluations for each lower limb. Bland-Altman plots and respective 95% limits of agreement (LOA) were used to assess both inter- and intra-rater agreement and to quantify the systematic bias.

We calculated the standard error of measurement (SEM) with the following equation:

$$SEM = SD * \sqrt{1 - ICC};$$

with SD the SD of the scores of all the participants [72].

We calculated the Minimal Detectable Change ( $MDC_{95}$ ) with the following equation:

$$MDC_{95} = SEM * 1.96 * \sqrt{2}$$

[73]. The Chi<sup>2</sup> test was used to compare the distributions of the categorical variables (for the morphology classification of the FPI-6).

All the analyses were performed with R software 4.1.0 and  $p < 0.05$  was considered statistically significant.

## Results

### Cross-cultural adaptation

Several parts of the FPI-6 [74] User Guide were considered ambiguous, or required rewording according to the expert committee and the translators. Several concepts were also defined to facilitate cross-cultural adaptation, resulting in the final French version (available at <https://licensing.leeds.ac.uk/product/fpi--foot-posture-index>).

- Item 1 (Talar head palpation): the original version stated that: "Scores are awarded for the observation of the position". We wanted to clarify that the rater should mark the position of the talus on the skin and use this to facilitate the rating. We therefore

added (in French) "from observation of the position of the talus marked on the skin".

- Item 3 (Calcaneal frontal plane position): we added an explanatory note to define the concepts of varus/valgus and inversion/eversion because they are subject to confusion [57]: hindfoot varus and valgus are projected angles in 2 dimensions, and can be analogous to the terms inversion/eversion.

- Item 4 (Bulging in the region of the talonavicular joint), we added an explanatory note to ensure the accuracy of this measure. A bulge caused by pronation must be distinguished from a more dorsal convexity that could indicate supination (possibly cavus).

- Item 6 (abduction/adduction of the forefoot on the rearfoot), we added an explanatory note to explain the "Too many toes" sign [75], as we found it to be little detailed in the original FPI-6.

- To ensure clarity, we added the planes of observation for each FPI item at the beginning of the instruction for each item.

- FPI total score: the original version referred to foot "movement" and "function", despite the fact the relationship between FPI ratings and dynamic foot function has not yet been determined. We therefore chose to replace these terms by the term "posture".

### Reliability

Fifty-two asymptomatic subjects were included, their characteristics are shown in Table 1. Mean age was 30.5 (SD 10.8) years. Inter-rater reliability was determined using data from the 52 participants and intra-rater reliability using data from 40 participants (12 participants did not attend the 2nd evaluation). The scores of 288 FPI-6 assessments were analysed.

Intraclass coefficients for the total FPI-6 score for the dominant limb and for the non-dominant limb were between 0.94 and 0.96 (Tables 2 and 3). The correlations were significant for inter-rater total FPI-6 scores for the dominant ( $r=0.92$ ; 95% CI, 0.867 to 0.955;  $p < 0.001$ ) and non-dominant lower limbs ( $r=0.89$ ; 95% CI, 0.814 to 0.935;  $p < 0.001$ ), as well as intra-rater scores for the dominant ( $r=0.92$ ; 95% CI, 0.856 to 0.958;  $p < 0.001$ ) and non-dominant ( $r=0.88$ ; 95% CI, 0.790 to 0.937;  $p < 0.001$ ) lower limbs.

Bland-Altman plots with the mean difference and 95% LOA for the level of inter and intra-rater agreement for the dominant and nondominant lower limbs are provided in Figure 2. The mean difference in FPI-6 total score for inter-rater reliability for the dominant and non-dominant lower limbs was 0.40 and -0.15, respectively. The mean difference in FPI-6 total score for intra-rater reliability for the dominant and non-dominant lower limbs was -0.60 and 0.00, respectively.

Items 1 to 5 all had excellent ICC values. The ICC for item 6 was excellent for the intra-rater assessment of the non-dominant limb and good ( $0.60 \leq ICC \leq 0.74$ ), for the other 3 assessments.

Table 1. Participant characteristics.

Variable	N=52
	Mean (SD)
Age (years)	30.5 (10.8)
Weight (kg)	65.1 (12.4)
Height (m)	1.68 (0.09)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.1 (3.5)
	n (%)
Sex :	
Male	13 (25.0)
Female	39 (75.0)
Dominant lower limb:	
Right	48 (92.3)
Left	4 (7.7)

Inter-rater SEM for the total FPI-6 score was 0.68 for the dominant limb and 0.71 for the non-dominant limb; intra-rater SEM was 0.75 for the dominant limb and 0.78 for the non-dominant

**Table 2.** Inter- and Intra-rater reliability of the FPI-6 for the dominant lower limb.

Dominant LL N=52	Inter-rater			Intra-rater		
	ICC	SEM	MDC	ICC	SEM	MDC
Total FPI-6 score	0.96	0.68	1.58	0.95	0.75	1.76
Item 1	0.84	0.32	0.75	0.83	0.34	0.78
Item 2	0.86	0.28	0.65	0.88	0.31	0.71
Item 3	0.85	0.26	0.61	0.94	0.18	0.43
Item 4	0.88	0.26	0.60	0.78	0.38	0.88
Item 5	0.89	0.25	0.59	0.85	0.28	0.66
Item 6	0.74	0.41	0.96	0.74	0.42	0.98

LL: lower limb; Item 1: Talar head palpation; Item 2: Curves above and below the lateral malleolus; Item 3: Inversion/eversion of the calcaneus; Item 4: Prominence in the region of the talonavicular joint; Item 5: Congruence of the medial longitudinal arch; Item 6: Abduction/adduction forefoot on rearfoot.

**Table 3.** Inter- and Intra-rater reliability of the FPI-6 for the non-dominant lower limb.

Non-dominant LL N=52	Inter-rater			Intra-rater		
	ICC	SEM	MDC	ICC	SEM	MDC
FPI-6 score	0.94	0.71	1.67	0.94	0.78	1.82
Item 1	0.84	0.30	0.70	0.81	0.31	0.72
Item 2	0.83	0.31	0.71	0.77	0.35	0.82
Item 3	0.89	0.23	0.53	0.86	0.26	0.62
Item 4	0.84	0.27	0.63	0.75	0.38	0.88
Item 5	0.91	0.21	0.48	0.92	0.20	0.47
Item 6	0.68	0.40	0.93	0.76	0.36	0.84

LL: lower limb; Item 1: Talar head palpation; Item 2: Curves above and below the lateral malleolus; Item 3: Inversion/eversion of the calcaneus; Item 4: Prominence in the region of the talonavicular joint; Item 5: Congruence of the medial longitudinal arch; Item 6: Abduction/adduction forefoot on rearfoot.

limb. Inter-rater SEM for each of the 6 items ranged from 0.21 to 0.41 and the intra-rater SEM ranged from 0.18 to 0.42.

The MDC<sub>95</sub> for inter-rater reliability was 1.58 for the dominant limb and 1.67 for the non-dominant limb; for intra-rater reliability it was 1.76 for the dominant limb and 1.82 for the non-dominant limb. The MDC<sub>95</sub> of the 6 items ranged from 0.53 to 0.96 for inter-rater reliability and 0.43 to 0.98 for intra-rater reliability.

#### Morphological classification by the FPI-6

The morphological classifications of the participants' feet are presented in Table 4.

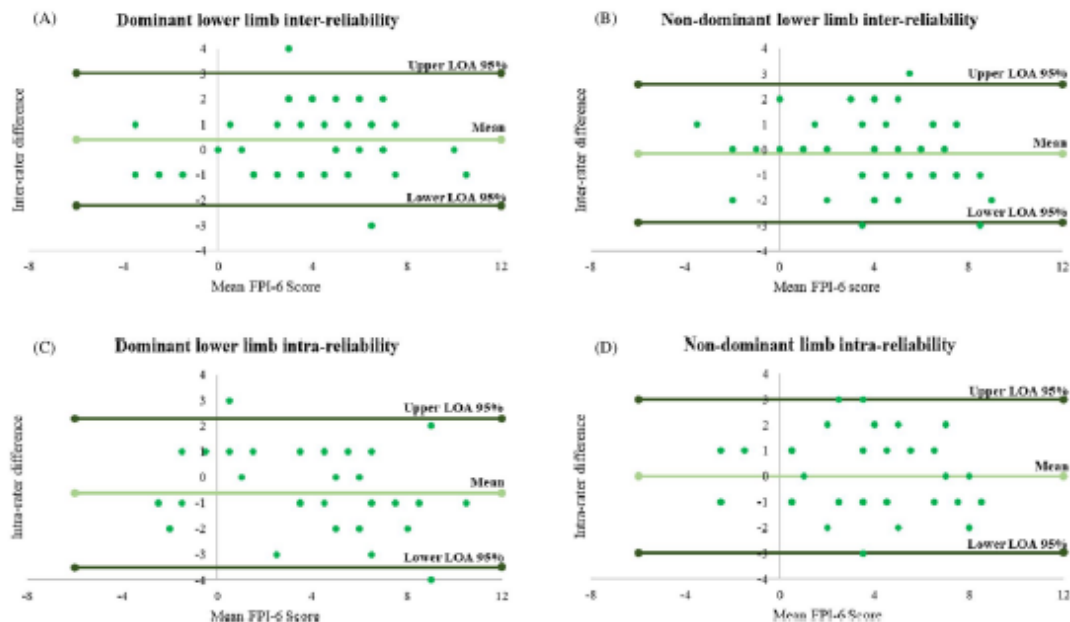
A neutral posture was the most common (163/288; 56.6%), followed by pronation (86/288; 29.9%), supination (31/288; 10.7%) and highly pronated (8/288; 2.8%). No highly supinated feet were found.

Morphology classifications differed between the 2 raters in 14.4% (15/104) of cases (Table 5). A total of 7 differences occurred for the dominant lower limb (7 feet classified as pronated by one rater and neutral by the other), and 8 differences for the non-dominant lower limb (5 feet classified as neutral or pronated, 2 feet classified as pronated or highly pronated, and 1 foot classified as neutral or supinated).

Morphology classifications differed intra-rater in 16.3% (13/80) of cases (Table 6).

Ten posture differences were found for the dominant lower limb (6 feet classified as neutral or pronated, 2 as pronated or highly pronated, 2 as neutral or supinated) and 3 differences for the non-dominant lower limb (3 classified as pronated or neutral).

Disagreements were between neutral and pronated postures in 75.0% of cases (21/28), with the score for item 6 disagreeing in 64.3% of cases (18/28).



**Figure 2.** Bland-Altman plots representing the reliability of total FPI-6 scores under 4 conditions: (A) Inter-rater reliability for dominant lower limb; (B) Inter-rater reliability for non-dominant lower limb; (C) Intra-rater reliability for dominant lower limb; (D) Intra-rater reliability for non-dominant lower limb.

**Table 4.** Foot morphology according to the FPI-6.

Morphology	Dominant LL			Non-dominant LL			Total
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3	
Highly supinated	0	0	0	0	0	0	0
Supinated	6	6	6	4	5	4	31
Neutral	28	31	20	31	29	24	163
Pronated	16	13	12	17	16	12	86
Highly pronated	2	2	2	0	2	0	8
Total	52	52	40	52	52	40	288

Stage 1: 1<sup>st</sup> rater; Stage 2: 2<sup>nd</sup> rater; Stage 3: 1<sup>st</sup> rater after 1 week; LL: lower limb.

**Table 5.** Inter-rater differences in morphology classification.

Disagreement		
Rater 1/Rater 2	Dominant LL	Non-dominant LL
Pronated/Neutral	3	2
Neutral/Pronated	4	3
Pronated/Highly pronated	0	2
Neutral/Supinated	0	1
Total	7	8

**Table 6.** Intra-rater differences in morphology classification.

Disagreement		
Rater 1 1 <sup>st</sup> rating/Rater 1 2 <sup>nd</sup> rating	Dominant LL	Non-dominant LL
Pronated/Neutral	1	2
Neutral/Pronated	5	1
Pronated/Highly pronated	1	0
Neutral/Supinated	2	0
Highly pronated/Pronated	1	0
Total	10	3

There was no significant difference in the classification of foot postures between raters ( $\chi^2$  test  $p$ -value = 0.93 for the dominant lower limb and 0.53 for non-dominant lower limb) or between ratings by the same rater ( $\chi^2$  test  $p$ -value = 0.59 for the dominant lower limb and 0.97 for the non-dominant lower limb).

## Discussion

Our aim was to allow French-speaking clinicians access to a valid, reliable, and relevant tool for the assessment of foot deformities to standardise clinical practice in France. Therefore, we translated and adapted the FPI-6 to French, assessed the inter-rater and intra-rater reliability and calculated the SEM and MDC of the French version.

### Cross-cultural adaptation

To adapt the FPI-6 to the French-speaking population, we had to add some clarifications to the terminology.

Some terms differ slightly in meaning/understanding between French and English, and are also commonly confused in English [57]. Inversion/eversion is a mixed movement that combines supination/pronation, adduction/abduction, and ankle plantarflexion/dorsiflexion. In contrast, hindfoot varus and valgus are static postures. Hindfoot valgus is defined as an inward angle of the Achilles tendon  $>5^\circ$  [15] and varus as an outward angle of  $>2^\circ$  [76]. The English terms "inversion/eversion" refer to movement and seem to encompass both hindfoot varus/valgus and supination/pronation of the foot relative to the ankle, as defined in French [77]. However, there seems to be a general tendency in French to use

the English terms "inversion/eversion" for open chain movements and/or movements of the hindfoot joint complex, and "supination/pronation" for closed chain movements and/or movements of the forefoot [57]. We therefore added footnotes to clarify the meaning of these terms in the FPI-6.

With regards to the assessment of the talonavicular joint bulge, we specified that a bulge that indicates a pronated foot should be distinguished from a more dorsal convexity, which could indicate a supinated and/or pes cavus foot. Pes cavus deformity corresponds to a Djian-Annonier angle (angle of the medial arch) of less than  $120^\circ$  and a Méary angle (between the long axis of the talus and the long axis of the first metatarsal) of more than  $5^\circ$ , which indicates an increase in plantar flexion of the first metatarsal on the talus [78–81]. This dorsal foot deformity should not be confused with a pronounced medial talonavicular bulge.

The "too many toes" sign for assessment of abduction/adduction of the forefoot on the rearfoot is not known in France and was not described in the original version of the FPI-6. Therefore, we specified that this test corresponds to the observation of too many lateral toes [75], when the foot is viewed from the back.

An important issue in the field of podiatry is the distinction and correlation between static foot posture and dynamic foot function. The original version of the FPI-6 refers on occasion to movement and function with regards to a static position. Furthermore, although FPI-6 ratings provide an indication of dynamic foot function [31,32], the relation between these concepts has not been properly evaluated. We therefore preferred to use the term posture.

### Reliability

Assessment of inter- and intra-rater reliability of the French version FPI-6 showed that both were excellent, according to the ICC and correlations.

The reliability of the total score of FPI-6 was excellent ( $ICC \geq 0.75$ ,  $r > 0.85$ ) and the reliability of the six items of FPI-6 varied from good ( $0.60 \leq ICC \leq 0.74$ ) to excellent ( $ICC \geq 0.75$ ). The excellent intra-rater reliability of the FPI-6 total score is in accordance with findings in other studies involving samples of asymptomatic adults [26,42,58,82–85], adults with musculoskeletal [83,86,87] or neurological pathologies [44], and asymptomatic children and adolescents [43,88]. Some authors found lower intra-rater reliability ICC scores in healthy adults and elderly individuals [39], which could be related to methodological biases such as inconsistent measurement intervals [89].

The excellent inter-rater reliability of the FPI-6 total score is also in accordance with that found by numerous studies in asymptomatic adults [45,58,83,84,90,91], adults with diagnosed pathologies [44,83,86,87], and children and adolescents [43,46,88]. The inter-rater reliability ICC in the present study was higher than that found in some studies [39,42]. This could relate to the difference in the experience of the raters in morphological foot analysis

using the FPI-6 [39,42]. In addition, some studies have found lower inter-rater reliability because of an anatomical regionalization approximation in the FPI-6 user guide and manual at item 4 [39,82]. The fact that we were aware of this approximation, and that we provided additional information precisely for item 4, may explain the higher level of reliability found by our results.

Only the inter-rater reliability ICC of item 6 (abduction/adduction of the forefoot to the hindfoot) were lower, but good, for both the dominant (ICC = 0.74) and non-dominant limbs (ICC = 0.68). The intra-rater reliability ICC of this item was also good for the dominant limb (ICC = 0.74) but was excellent for the non-dominant lower limb (ICC = 0.76). These results are similar to those of Martinez et al. (2021) [58] and could be explained by the difficulty observing the axis of the heel and not the longitudinal axis of the foot.

The Bland-Altman plots revealed low levels of bias (mean difference between 2 FPI-6 scores) and excellent agreement between the assessments (inter and intra-rater). The mean difference and LOA of the FPI-6 total score for the inter- and intra-rater assessments of the dominant and non-dominant lower limbs found in our study are very close to previous results [86,87].

The low SEM values (Tables 2 and 3) indicated a low level of measurement error, and are in accordance with the literature [58,82]. The MDC values indicated that changes in total FPI-6 score above 1.67 and 1.82 points for inter- and intra-rater reliability, respectively, can be considered as true changes in foot posture and not the result of a measurement error. These results are similar to those of Martinez et al. (2021) [58] but slightly superior to those found by Yang et al. (2022) [86].

Posture classifications differed little between raters and ratings (13 intra-rater differences and 15 inter-rater differences). This result indicates good reliability of FPI-6 classification from a clinical point of view, which has already been demonstrated by other studies in symptomatic adults [86,87]. Therefore, we conclude that the cross-cultural adaptation was valid, and assessment bias between practitioners was low. The assessment of abduction/adduction of the forefoot on the rearfoot was most often a source of disagreement. This suggests that the angle of observation from the posterior aspect using the axis of the heel could be a source of error. This item requires considerable experience to distinguish subtle differences. More specific iconographies in the FPI-6 user guide and manual could potentially be of interest, particularly relating to the observation of the talo-navicular joint and the angle of observation of the posterior foot.

### Limits

We only evaluated reliability in asymptomatic individuals. Furthermore, the range of FPI-6 scores was small for this reason. For example, none of the participants had a highly supinated foot. However, the FPI-6 original version has been found to be valid for use in individuals with Charcot-Marie-Tooth disease [92,93] and after stroke [44]. The small sample size could appear as a limitation but the results of the statistical power calculation confirm the confidence in our results. Future studies should assess reliability and MDC in individuals with pathologies that affect foot posture and function.

### Conclusion

This French version of the FPI-6 has excellent intra- and inter-rater reliability for the assessment of foot posture in asymptomatic individuals. Furthermore, we provided MDC values that can be used as a reference for clinicians.

We suggest that this tool should be routinely used in clinical practice to standardize foot posture assessments. A dynamic assessment of foot function using baropodometry should also be performed, if possible, to provide a comprehensive understanding of the individual's problem. If surgery is planned, radiographical measurements should also be taken.

Until the reliability of the French FPI-6 has been confirmed in symptomatic individuals, we believe that this version can be used in individuals with pathologies that affect the foot, in particular neuro-orthopaedic disorders, since the English version has been validated in several pathologies.

### Acknowledgements

The authors thank Johanna Robertson for language assistance and constructive criticism, and the University of Leeds for supplying the original FPI-6.

### Author contributions

**Cédric Blouin:** Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Visualization, Supervision, Project administration **François Genêt:** Conceptualization, Methodology, Validation, Visualization, Supervision, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Project administration, Funding acquisition **Wilfrid Graff:** Methodology, Validation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Visualization, Supervision, Project administration **Céline Bonnyaud:** Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Supervision, Project administration **Antoine Perrier:** Conceptualization, Methodology, Validation, Investigation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Supervision, Project administration

### Disclosure statement

The authors report there are no competing interests to declare.

### Funding

This research was supported by the Agence Régionale de Santé Ile-de-France and the Institut de Santé Parasport Connecté (ISPC).

### ORCID

Cédric Blouin  <http://orcid.org/0000-0002-1502-4668>  
Céline Bonnyaud  <http://orcid.org/0000-0002-4857-6389>

### References

- [1] Song J, Hillstrom H, Secord D, et al. Foot type biomechanics. Comparison of planus and rectus foot types. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1996;86(1):16–23.
- [2] Williams DS, McClay IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Physical Therapy.* 2000;80(9):864–871.
- [3] Jonson LSR, Gross MT. Intraexaminer reliability, interexaminer reliability, and mean values for nine lower extremity skel-

- et al. measures in healthy naval midshipmen. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1997;25(4):253–263.
- [4] Brody DM. Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *Orthop Clin North Am.* 1982;13(3):541–558.
- [5] Menz HB. Alternative techniques for the clinical assessment of foot pronation. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1998;88(3):119–129.
- [6] Rose G, Welton E, Marshall T. The diagnosis of flat foot in the child. *J Bone Joint Surg Br.* 1985;67(1):71–78.
- [7] Sell KE, Verity TM, Worrall TW, et al. Two measurement techniques for assessing subtalar joint position: a reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;19(3):162–167.
- [8] Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomech.* 1987;20(5):547–551.
- [9] Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(3):426–428.
- [10] Irwin LW. A study of the tendency of school children to develop Flat-Footedness. *Res Quart Am Phys Educ Assoc.* 1937;8(1):46–53.
- [11] Hawes MR, Nachbauer W, Sovak D, et al. Footprint parameters as a measure of arch height. *Foot Ankle.* 1992;13(1):22–26.
- [12] Clarke HH. An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in foot examinations. *Res Quart Am Phys Educ Assoc.* 1933;4(1):91–98.
- [13] Forriol F, Pascual J. Footprint analysis between three and seventeen years of age. *Foot Ankle.* 1990;11(2):101–104.
- [14] Goldcher A. *Podologie.* France: Elsevier/Masson. 2012. <http://site.ebrary.com/id/10572593>
- [15] Lelièvre J, Lelièvre JF. *Pathologie du pied : physiologie, clinique, traitement médical, orthopédique et chirurgical.* Masson; 1981.
- [16] Razeghi M, Batt ME. Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait Posture.* 2002;15(3):282–291.
- [17] Favreul E, Mainard D. *Classifications et scores en chirurgie orthopédique et traumatologie.* Springer; 2013.
- [18] Stockley I, Betts RP, Rowley DJ, et al. The importance of the valgus hindfoot in forefoot surgery in rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg Br.* 1990;72(4):705–708.
- [19] Lee KM, Chung CY, Park MS, et al. Reliability and validity of radiographic measurements in hindfoot varus and valgus. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(13):2319–2327.
- [20] de Cesar Netto C, Kunas GC, Soukup D, et al. Correlation of clinical evaluation and radiographic hindfoot alignment in stage II Adult-Acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Int.* 2018;39(7):771–779.
- [21] Thomas JL, Kunkel MW, Lopez R, et al. Radiographic values of the adult foot in a standardized population. *J Foot Ankle Surg.* 2006;45(1):3–12.
- [22] Currey JD, Foreman J, Laketic I, et al. Effects of ionizing radiation on the mechanical properties of human bone. *J Orthop Res.* 1997;15(1):111–117.
- [23] Limirio PHJO, Soares PBF, Emi ETP, et al. Ionizing radiation and bone quality: time-dependent effects. *Radiat Oncol.* 2019;14(1):15.
- [24] Cowan DN, Robinson JR, Jones BH, et al. Consistency of visual assessments of arch height among clinicians. *Foot Ankle Int.* 1994;15(4):213–217.
- [25] Hamill J, Bates BT, Knutzen KM, et al. Relationship between selected static and dynamic lower extremity measures. *Clin Biomech.* 1989;4(4):217–225.
- [26] Langley B, Cramp M, Morrison SC. Clinical measures of static foot posture do not agree. *J Foot Ankle Res.* 2016;9(1):45.
- [27] Jarvis HL, Nester CJ, Jones RK, et al. Inter-assessor reliability of practice based biomechanical assessment of the foot and ankle. *J Foot Ankle Res.* 2012;5(1):14.
- [28] Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. *Clin Biomech.* 2006;21(1):89–98.
- [29] Banwell HA, Paris ME, Mackintosh S, et al. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J Foot Ankle Res.* 2018;11(1):21.
- [30] Carrasco AC, Silva MF, Guenka LC, et al. Non-radiographic validity and reliability measures for assessing foot types: a systematic review. *Foot Ankle Surg.* 2021;27(8):839–850.
- [31] Buldt AK, Murley GS, Levinger P, et al. Are clinical measures of foot posture and mobility associated with foot kinematics when walking? *J Foot Ankle Res.* 2015;8(1):63.
- [32] Cornwall MW, McPoil TG. Relationship between static foot posture and foot mobility. *J Foot Ankle Res.* 2011;4(1):4.
- [33] Barton CJ, Levinger P, Crossley KM, et al. Relationships between the Foot Posture Index and foot kinematics during gait in individuals with and without patellofemoral pain syndrome. *J Foot Ankle Res.* 2011;4(1):10.
- [34] Buldt AK, Murley GS, Butterworth P, et al. The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: a systematic review. *Gait Posture.* 2013;38(3):363–372.
- [35] Chuter VH. Relationships between foot type and dynamic rearfoot frontal plane motion. *J Foot Ankle Res.* 2010;3:9.
- [36] Nielsen R, Rathleff M, Kersting U, et al. The predictive value of the Foot Posture Index on dynamic function. *J Foot Ankle Res.* 2008;1(51):O37.
- [37] Nielsen RG, Rathleff MS, Moelgaard CM, et al. Video based analysis of dynamic midfoot function and its relationship with Foot Posture Index scores. *Gait Posture.* 2010;31(1):126–130.
- [38] Paterson KL, Clark RA, Mullins A, et al. Predicting dynamic foot function from static foot posture: comparison between visual assessment, motion analysis, and a commercially available depth camera. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2015;45(10):789–798.
- [39] Aquino MRC, Avelar BS, Silva PL, et al. Reliability of Foot Posture Index individual and total scores for adults and older adults. *Musculoskelet Sci Pract.* 2018;36:92–95.
- [40] Redmond AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the Foot Posture Index. *J Foot Ankle Res.* 2008;1(1):6.
- [41] Jimenez-Cebrian AM, Morente-Bernal MF, Román-Bravo PD, et al. Influence of age, sex, and anthropometric determinants on the Foot Posture Index in a pediatric population. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2017;107(2):124–129.
- [42] Cornwall MW, McPoil TG, Lebec M, et al. Reliability of the modified Foot Posture Index. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2008;98(1):7–13.
- [43] Evans AM, Rome K, Peet L. The Foot Posture Index, ankle lunge test, beighton scale and the lower limb assessment score in healthy children: a reliability study. *J Foot Ankle Res.* 2012;5(1):1.
- [44] Lee JD, Kim YM, Kim K, et al. Reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) for assessment of stroke patients. *J Kor Phys Ther.* 2015;27(5):311–314.
- [45] McLaughlin P, Vaughan B, Shanahan J, et al. Inexperienced examiners and the Foot Posture Index: a reliability study. *Man Ther.* 2016;26:238–240.
- [46] Morrison SC, Ferrari J. Inter-rater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) in the assessment of the paediatric foot. *J Foot Ankle Res.* 2009;2(1):26.

- [47] Rokkedal-Lausch T, Lykke M, Hansen MS, et al. Normative values for the Foot Posture Index between right and left foot: a descriptive study. *Gait Posture*. 2013;38(4):843–846.
- [48] Gijon-Nogueron G, Martínez-Nova A, Alfageme-García P, et al. International normative data for paediatric foot posture assessment: a cross-sectional investigation. *BMJ Open*. 2019;9(4):e023341.
- [49] Burns J, Ryan MM, Ouvrier RA. Evolution of foot manifestations in children with Charcot-Marie-Tooth disease. *J Foot Ankle Res*. 2008;1(51):O5.
- [50] Burns J, Ryan MM, Ouvrier RA. Evolution of foot and ankle manifestations in children with CMT1A. *Muscle Nerve*. 2009;39(2):158–166.
- [51] Crosbie J, Burns J, Ouvrier RA. Pressure characteristics in painful pes cavus feet resulting from charcot-marie-tooth disease. *Gait Posture*. 2008;28(4):545–551.
- [52] Buldt AK, Forghany S, Landorf KB, et al. Foot posture is associated with plantar pressure during gait: a comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait Posture*. 2018;62:235–240.
- [53] Lee JS, Kim KB, Jeong JO, et al. Correlation of Foot Posture Index with plantar pressure and radiographic measurements in pediatric flatfoot. *Ann Rehabil Med*. 2015;39(1):10–17.
- [54] Sánchez-Rodríguez R, Martínez-Nova A, Escamilla-Martínez E, et al. Can the Foot Posture Index or their individual criteria predict dynamic plantar pressures? *Gait Posture*. 2012;36(3):591–595.
- [55] Teyhen DS, Stoltenberg BE, Eckard TG, et al. Static foot posture associated with dynamic plantar pressure parameters. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011;41(2):100–107.
- [56] Cho YJ, Lee JH, Kyung MG, et al. Correlation between Foot Posture Index and radiographic parameters. 2020. DOI:10.21203/rs.3.rs-40101/v1
- [57] McDonald SW, Tavener G. Pronation and supination of the foot: confused terminology. *The Foot*. 1999;9(1):6–11.
- [58] Martínez BR, Oliveira JCD, Vieira KVSG, et al. Translation, cross-cultural adaptation, and reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) - Brazilian version. *Physiother Theory Pract*. 2021;37(1):218–223.
- [59] Beaton DE, Bombardier C, Guillemin F, et al. Guidelines for the process of Cross-Cultural adaptation of Self-Report measures. *Spine*. 2000;25(24):3186–3191.
- [60] Pourtier-Piotte C, Pereira B, Soubrier M, et al. French validation of the foot function index (FFI). *Ann Phys Rehabil Med*. 2015;58(5):276–282.
- [61] Wild D, Grove A, Martin M, et al. Principles of good practice for the translation and cultural adaptation process for Patient-Reported outcomes (PRO) measures: report of the ISPOR task force for translation and cultural adaptation. *Value Health*. 2005;8(2):94–104.
- [62] Likert R. A technique for the measurement of attitudes. *Arch Psychol*. 1932;22(140):55–55.
- [63] Terwee CB, Bot SDM, de Boer MR, et al. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. *J Clin Epidemiol*. 2007;60(1):34–42.
- [64] Rodineau J, Saillant G. Panorama en traumatologie du sport: 20e journée de traumatologie du sport de la Pitié-Salpêtrière. Masson; 2002.
- [65] Al-Mohrej OA, Al-Kenani NS. Acute ankle sprain: conservative or surgical approach? *EFORT Open Rev*. 2016;1(2):34–44.
- [66] Coudreuse JM. Pathologies musculaires du sportif. *EMC - Traité De Médecine AKOS*. 2013;8(1):1–5.
- [67] D'Hooghe P, Cruz F, Alkhalaf K. Return to play after a lateral ligament ankle sprain. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2020;13(3):281–288.
- [68] Tassignon B, Verschueren J, Delahunt E, et al. Criteria-Based return to sport Decision-Making following lateral ankle sprain injury: a systematic review and narrative synthesis. *Sports Med*. 2019;49(4):601–619.
- [69] Grigoryan M, Lynch JA, Fierlinger AL, et al. Quantitative and qualitative assessment of closed fracture healing using computed tomography and conventional radiography. *Acad Radiol*. 2003;10(11):1267–1273.
- [70] van Melick N, Meddeler BM, Hoogeboom TJ, et al. How to determine leg dominance: the agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS One*. 2017;12(12):e0189876.
- [71] Cicchetti DV. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment*. 1994;6(4):284–290.
- [72] Beckerman H, Vogelaar TW, Lankhorst GJ, et al. A criterion for stability of the motor function of the lower extremity in stroke patients using the Fugl-Meyer assessment scale. *Scand J Rehabil Med*. 1996;28(1):3–7.
- [73] Weir JP. Quantifying Test-Retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res*. 2005;19(1):231–240.
- [74] Redmond AC. The FOOT POSTURE INDEX- Easy quantification of standing foot posture - Six item version FPI-6 - USER GUIDE and MANUAL. 2005;
- [75] Johnson KA. Tibialis posterior tendon rupture. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;177(&NA):140–147.
- [76] Perrier A. Conception et évaluation d'un modèle biomécanique, éléments finis, Patient-Spécifique, Du pied humain. Applications En Podologie, Orthopédie Et Diabétologie. 2016.
- [77] Foisy A, Perrier A. Méthodologie de recherche en podologie (2/3) : outils et tests d'évaluations. 2021;
- [78] Akoh CC, Phisitkul P. Clinical examination and radiographic assessment of the cavus foot. *Foot Ankle Clin*. 2019;24(2):183–193.
- [79] Drapé JL. Imagerie du pied et de la cheville. Elsevier Masson; 2010.
- [80] Maynou C, Szymanski C, Thioung A. The adult cavus foot. *EFORT Open Rev*. 2017;2(5):221–229.
- [81] Meary R. On the measurement of the angle between the talus and the first metatarsal. *Rev Chir Orthop*. 1967;53:389–391.
- [82] Kirmizi M, Cakiroglu MA, Elvan A, et al. Reliability of different clinical techniques for assessing foot posture. *J Manipulative Physiol Ther*. 2020;43(9):901–908.
- [83] Barton CJ, Bonanno D, Levinger P, et al. Foot and ankle characteristics in patellofemoral pain syndrome: a case control and reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(5):286–296.
- [84] Motantasut P, Hunsawong T, Mato L, et al. Reliability of novice and experienced physiotherapists using the normalized navicular height truncated and the Foot Posture Index-6 for classifying static foot posture in adults. *J Phys Ther Sci*. 2019;31(4):392–397.
- [85] Mentiplay BF, Clark RA, Mullins A, et al. Reliability and validity of the microsoft kinect for evaluating static foot posture. *J Foot Ankle Res*. 2013;6(1):14.
- [86] Yang J, Ou Z, Mao Z, et al. Reliability and validity of Foot Posture Index (FPI-6) for evaluating foot posture in participants with low back pain. *Sci Rep*. 2022;12(1):21168.
- [87] Wang Y, Chen Z, Wu Z, et al. Reliability of Foot Posture Index (FPI-6) for evaluating foot posture in patients with knee osteoarthritis. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;11:1103644.



- [88] Cain LE, Nicholson LL, Adams RD, et al. Foot morphology and foot/ankle injury in indoor football. *J Sci Med Sport*. 2007;10(5):311–319.
- [89] Mishra R, Samuel AJ. Letter to the editor, "reliability of Foot Posture Index individual and total scores for adults and older adults. *Musculoskelet Sci Pract*. 2018;37:e81.
- [90] Zuñil-Escobar JC, Martínez-Cepa CB, Martín-Urrialde JA, et al. Evaluating the medial longitudinal arch of the foot: correlations, reliability, and accuracy in people with a low arch. *Phys Ther*. 2019;99(3):364–372.
- [91] Fraser JJ, Koldenhoven RM, Saliba SA, et al. Reliability of ankle-foot morphology, mobility, strength, and motor performance measures. *Int J Sports Phys Ther*. 2017;12(7):1134–1149.
- [92] Burns J, Ouvrier R, Estilow T, et al. Symmetry of foot alignment and ankle flexibility in paediatric charcot–marie–tooth disease. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2012;27(7):744–747.
- [93] Burns J, Ouvrier R, Estilow T, et al. Validation of the Charcot-Marie-Tooth disease pediatric scale as an outcome measure of disability. *Ann Neurol*. 2012;71(5):642–652.

## **Annexe J. Adaptation transculturelle du FPI-6**

### **Foot Posture Index – Quantification facile de la posture du pied debout – Version à six items FPI-6**

#### **Guide et manuel de l'utilisateur**

##### **Introduction**

Le Foot Posture Index (FPI) est un outil clinique de diagnostic qui vise à quantifier le degré à partir duquel un pied peut être considéré comme ayant une position en pronation, en supination ou neutre. Il est conçu comme une méthode simple de notation des différentes caractéristiques de la posture du pied en un seul résultat quantifiable, qui donne à son tour une indication de la posture globale du pied.

Le FPI évalue une posture en charge selon une série de critères prédéfinis. Le FPI a commencé par une version préliminaire à huit items, qui au cours d'un processus de validation approfondie, a finalement été affinée pour aboutir à la version à six items, détaillée dans ce manuel.

Toutes les observations sont faites avec le sujet debout, en position relâchée, bipodale, immobile, les pieds en position libre représentative de l'angle d'ouverture du pied à la marche. Cette position de repos bipodale a été rapportée comme étant approximativement la position du pied pendant le cycle de marche.

##### **Conception du FPI**

Le FPI est le fruit d'une recherche documentaire qui a permis de recueillir des informations détaillées sur l'évaluation clinique dans plus de 140 articles. De ces 140 articles, 36 mesures cliniques distinctes ont été identifiées. Pour déterminer les mesures susceptibles d'être utilisées dans le FPI, l'accent a été mis sur celles répondant aux critères suivants :

- a) Les mesures doivent être faciles à mettre en œuvre
- b) Les mesures doivent être rapides
- c) La prise des mesures ne doit pas dépendre d'une technologie coûteuse
- d) Les résultats de la mesure doivent être simples à comprendre
- e) L'évaluation fournit des données quantifiables (au minimum au niveau ordinal)

En outre, l'ensemble des mesures choisies doit refléter la posture du pied dans les 3 plans anatomiques et également fournir des informations sur les segments arrière-pied, médio-pied et avant-pied.

##### **Notation de la posture du pied**

L'utilisateur attribue une note à une série d'observations qui sont couramment utilisées par des praticiens expérimentés. Les caractéristiques correspondant à une posture du pied approximativement neutre sont notées comme étant nulles, tandis que pour les postures en pronation est attribuée une note positive et pour les postures en supination une note négative.

Lorsque les scores sont combinés, la valeur agrégée donne une estimation de la posture globale du pied. Des valeurs cumulées positives élevées indiquent une posture en pronation, des valeurs cumulées négatives élevées indiquent une posture globale du pied en supination, tandis que pour un pied neutre, la note globale du FPI doit se situer autour de zéro. Bien que les mesures

soient effectuées en appui sur les deux membres inférieurs, chaque pied doit être noté indépendamment.

### **Items de notation du FPI**

Les six items cliniques utilisés par le FPI-6 sont :

1. Palpation de la tête du talus
2. Courbure supra et infra malléolaire externe
3. Position du calcaneus dans le plan frontal
4. Proéminence de la région de l'articulation talo-naviculaire
5. Forme de l'arche longitudinale médiale
6. Abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied

### **Critères de notation des items**

Des explications complètes de chacun des éléments constitutifs du FPI sont détaillées ci-après, et le calcul de chacun est référencé et détaillé dans l'annexe 1. Chacune des composantes des tests ou des observations est simplement notée 0 pour la valeur neutre, avec un score minimum de -2 pour les signes évidents de supination, et de +2 pour les signes évidents de pronation. Si les critères définis pour chacune des caractéristiques ne sont pas clairement observés, la note la plus prudente doit être attribuée. Il convient également de souligner que les notes doivent être attribuées sur la base des critères décrits ci-dessous. Les variations résultant d'observations fondées uniquement sur le "ressenti clinique" ou l'expérience passée entraîneront une erreur inter-observateurs inacceptable.

### **Préparation du patient**

Le patient doit se tenir debout en position bipodale et relâchée. Le patient doit être informé qu'il doit rester immobile, les bras le long du corps et regarder droit devant lui. Il peut être utile de demander au patient de piétiner sur place, avant de se positionner confortablement.

Pendant l'évaluation, il est important de s'assurer que le patient ne se retourne pas pour essayer d'observer ce qui est réalisé sur lui, car cela affectera considérablement la posture du pied. Le patient devra rester immobile pendant environ deux minutes au total, pour que l'évaluation puisse être effectuée. L'évaluateur doit pouvoir se déplacer autour du patient pendant l'évaluation et avoir un accès constant à la partie postérieure de la jambe et du pied.

#### **1. Palpation de la tête du talus (palpation de la congruence talo-naviculaire) (plan transversal)**

C'est le seul critère noté qui repose sur la palpation plutôt que sur l'observation. La tête du talus est palpée sur les faces médiale et latérale de la partie antérieure de la cheville, selon la méthode standard décrite par Root, Elveru et bien d'autres. Les scores sont attribués à partir de l'observation de la position du talus marquée sur la peau comme décrit ci-après.

**Illustration de la position des doigts lors de la palpation de la tête du talus. Les cercles indiquent les zones précises de palpation sur les faces médiale et latérale.**



**Note clinique :** Il ne s'agit pas de déterminer la position dite neutre au niveau de l'articulation sous-talaire. Pour la mesure du FPI, l'articulation sous-talaire n'est **pas** déplacée dans la position où la tête du talus est en congruence maximale avec le naviculaire. Pour la mesure du FPI, la tête du talus est simplement palpée en **position de repos** et l'orientation de la tête du talus est cotée.

Il peut cependant être utile dans certains cas de bouger le pied en inversion et en éversion tout en palpant la tête du talus car cela peut aider à déterminer si la tête est encore palpable chez les individus situés à la limite entre 1 et 2, ou -1 et -2.

Score	-2	-1	0	1	2
	Tête du talus palpable sur la face latérale / mais non palpable sur la face médiale	Tête du talus palpable sur la face latérale / légèrement palpable sur la face médiale	Tête du talus palpable sur les faces latérale et médiale de manière similaire	Tête du talus légèrement palpable sur la face latérale / palpable sur la face médiale	Tête du talus non palpable sur la face latérale / mais palpable sur la face médiale

## 2. Courbures supra et infra malléolaire latérale (plan frontal/transversal)

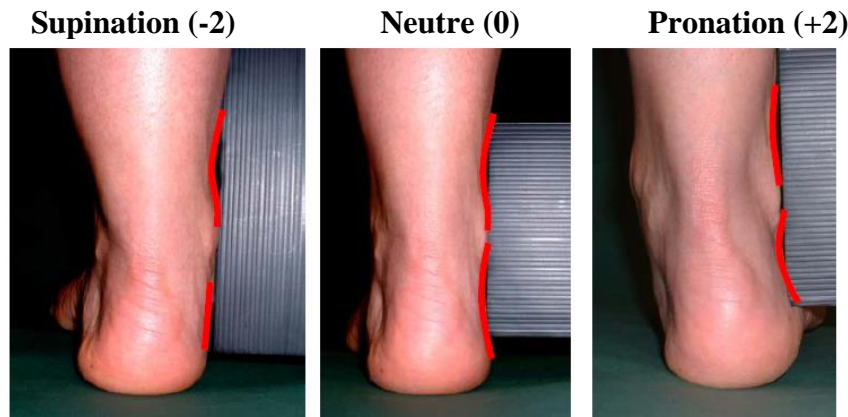
(Observation et comparaison des courbures au-dessus et au-dessous de la malléole latérale de cheville)

Lorsque le pied est en position neutre, les courbes sont sensiblement égales.

Pour le pied en pronation, la courbe AU-DESSOUS de la malléole sera plus prononcée que la courbe au-dessus en raison de l'abduction du pied et de l'éversion du calcaneus. Le contraire est vrai pour le pied en supination.

Note clinique 1 : Pour l'estimation de la courbure de la malléole, il peut être utile d'utiliser une ligne droite comme référence. Il peut s'agir d'une équerre, d'une règle ou même d'un stylo.

Note clinique 2 : Lorsque l'œdème ou l'obésité dissimule la courbure, ces mesures doivent être soit cotées à zéro, soit retirées de la notation et rapportées sur la fiche.

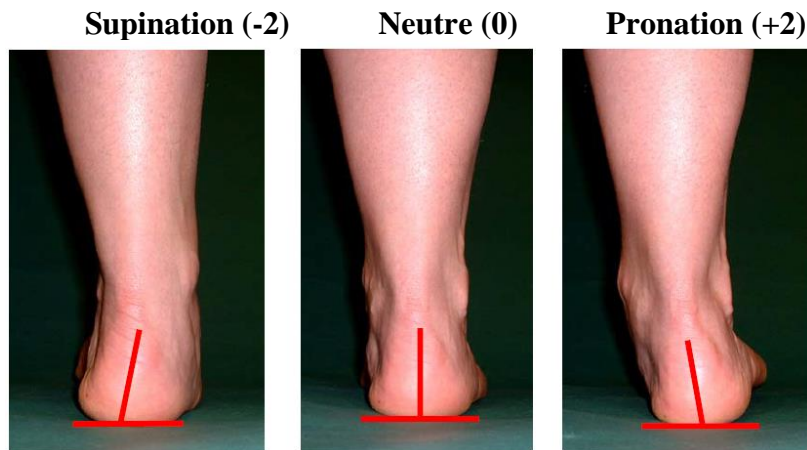


Score	-2	-1	0	1	2
	Courbure sous-malléolaire soit droite soit convexe	Courbure sous-malléolaire concave, mais plus plate/moins profonde que la courbe au-dessus de la malléole	Courbures infra et supra-malléolaires à peu près similaires	Courbure sous-malléolaire plus concave que la courbe supra-malléolaire	Courbure sous-malléolaire nettement plus concave que la courbure supra-malléolaire

### **3. Position du calcaneus dans le plan frontal (inversion / éversion du calcaneus)**

Il s'agit d'un équivalent observationnel des mesures souvent utilisées pour quantifier la position relâchée du calcaneus. La face postérieure du calcaneus est visualisée par l'observateur qui est aligné avec l'axe longitudinal du pied, le patient en position bipodale relâchée.

Les mesures angulaires ne sont pas nécessaires pour le FPI, le pied est classé en fonction de l'estimation visuelle de la position dans le plan frontal.



Score	-2	-1	0	1	2
	Supérieure à 5° d'inversion estimée (varus)	Entre la verticale et 5° d'inversion estimée (varus)	Verticale	Entre la verticale et 5° d'éversion estimée (valgus)	Supérieure à 5° d'éversion estimée (valgus)

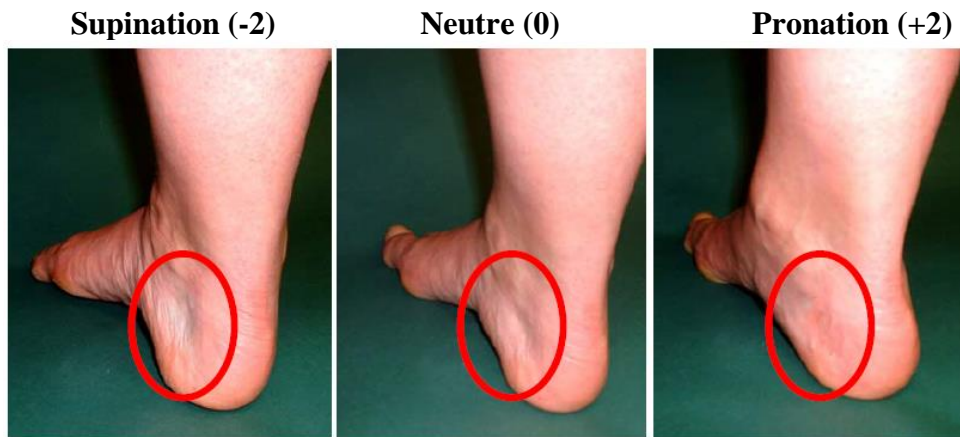
**Note pour les lecteurs :**

Concernant l'item numéro 3 relatif à la position du calcaneus dans le plan frontal, l'éversion du calcaneus peut être une analogie au valgus d'arrière-pied, l'inversion du calcaneus peut être une analogie au varus d'arrière-pied, car valgus et varus sont des angles 2D projetés de la pronation/supination, composantes de l'éversion/inversion.

**4. Relief de la région de l'articulation talo-naviculaire (plan transversal)**

Lorsque le pied est en position neutre, la zone de peau immédiatement superficielle à l'articulation talo-naviculaire sera plate. L'articulation talo-naviculaire devient plus proéminente si la tête du talus est en adduction avec une pronation d'arrière-pied. Le renflement de cette zone est donc associé à un pied en pronation. Pour le pied en supination, cette zone peut présenter une dépression.

Note clinique : Le renflement de l'articulation talo-naviculaire est courant lorsque les pieds sont en pronation. Cependant, une convexité de cette région n'est généralement observée qu'en position de supination importante. A moins qu'il n'y ait un renforcement manifeste, l'attribution de notes négatives à cette observation doit être effectuée de manière prudente.



Score	-2	-1	0	1	2
	Région de l'articulation talo-naviculaire nettement concave	Région de l'articulation talo-naviculaire légèrement, mais clairement concave	Région de l'articulation talo-naviculaire plate	Région de l'articulation talo-naviculaire légèrement bombée	Région de l'articulation talo-naviculaire nettement bombée

**Note pour les lecteurs :**

Concernant l'item numéro 4 relatif au relief de l'articulation talo-naviculaire, le renflement de la zone correspondant à un pied en pronation doit bien être distingué d'une convexité, plus dorsale, qui pourrait correspondre à un pied en supination (éventuellement *pes cavus*).

**5. Hauteur et forme de l'arche longitudinale médiale (plan sagittal)**

Si la hauteur de la voûte plantaire est un indicateur important de la fonction du pied, la forme de la voûte peut aussi être d'importance égale.

Dans un pied en position neutre, la courbure de la voûte doit être relativement uniforme, comme un arc de cercle.

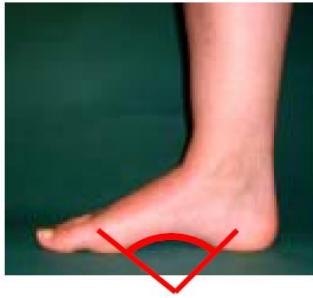
Lorsqu'un pied est en supination, la courbure de l'arche longitudinale médiale devient plus accentuée à l'extrémité postérieure de l'arche.

Dans le cas d'un pied en pronation excessive, l'arche longitudinale médiale s'aplatit au centre à mesure que les articulations du médio-tarse et de Lisfranc s'ouvrent.

Cette observation doit être faite en tenant compte à la fois de la hauteur et de la forme de la voûte.

Note clinique : Alors que la simple hauteur de la voûte sera généralement la plus évidente des deux composantes de cette mesure, la forme de la voûte est probablement plus subtile et instructive.

L'observation attentive de la forme de la voûte plantaire devrait être l'élément principal de cette mesure, la hauteur de la voûte étant prise en compte de manière secondaire.

**Neutre (0)****Pied en supination (-2)****Pied en pronation (+2)**

Score	-2	-1	0	1	2
	Voûte haute et formant un angle aigu vers l'extrémité postérieure de la voûte médiale	Voûte de hauteur modérée et formant un angle légèrement aigu à l'arrière	Hauteur de voûte normale et courbe régulière	Voûte abaissée avec un certain aplatissement dans la partie centrale	Voûte très basse avec aplatissement important dans la partie centrale – la voûte est en contact avec le sol

#### **6. Abduction/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied (signe « Too many toes ») (plan transversal)**

Lorsqu'il est vu directement de dos, et aligné avec l'axe du talon (et non avec l'axe longitudinal du pied), le pied neutre permettra à l'observateur de voir l'avant-pied de la même façon sur les côtés médial et latéral.

Lorsque le pied est en supination, l'avant-pied est en adduction par rapport à l'arrière-pied, rendant l'avant-pied plus visible sur le côté médial. A l'inverse, un pied en pronation entraîne l'abduction de l'avant-pied, rendant l'avant-pied plus visible sur le côté latéral.

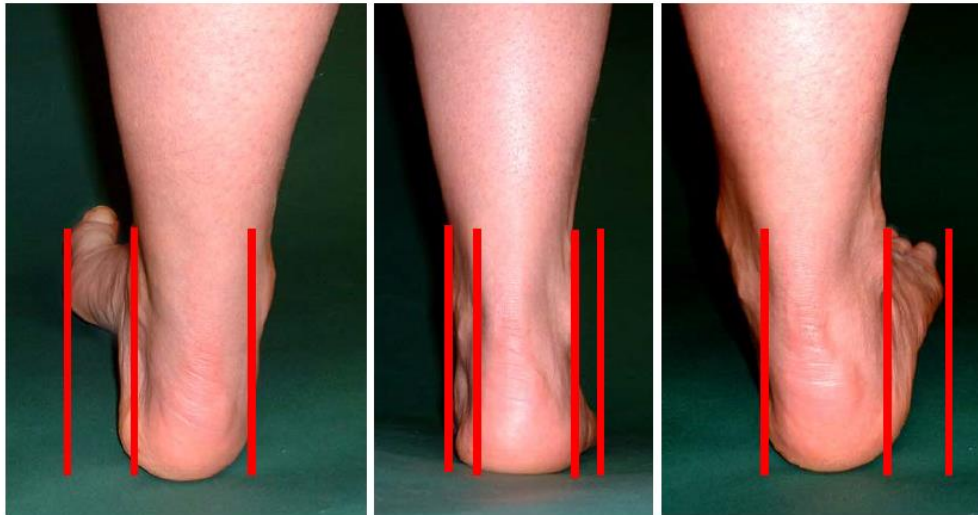
Note clinique : Cette observation doit être cotée précautionneusement en cas de déformation fixée d'adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied observable en décharge. Normalement, il est possible de voir les orteils si l'observateur augmente légèrement son angle de vision. Si les orteils sont masqués par d'autres structures, les articulations métatarso-phalangiennes ou des structures plus proximales peuvent servir de guide.



**Supination (-2)**

**Neutre (0)**

**Pronation (+2)**



Score	-2	-1	0	1	2
	Orteils latéraux non visibles. Orteils médiaux nettement visibles	Orteils médiaux nettement plus visibles que les latéraux	Orteils médiaux et latéraux visibles de manière égale	Orteils latéraux nettement plus visibles que les médiaux	Orteils médiaux non visibles. Orteils latéraux nettement visibles.

**Note pour les lecteurs :**

Concernant l’item numéro 6 relatif à l’abduction/adduction de l’avant-pied par rapport à l’arrière-pied, le signe « too many toes » correspond au fait d’observer chez le patient vu de dos, un trop grand nombre d’orteils en latéral (Johnson, 1983).

**Score final du FPI**

Le score final du FPI sera un nombre entier compris entre -12 et +12.

Dans la plupart des cas, les scores seront cohérents et le tableau clinique sera immédiatement clair. Cependant, chez certains patients, il y aura une accentuation de la posture dans l’un des trois plans corporels, ou une opposition entre les postures de l’avant-pied et de l’arrière-pied.

Les segments du pied et le plan de mesure pour chacune des observations sont indiqués sur la fiche technique du FPI. Le FPI fournit beaucoup plus d’informations que les techniques existantes d’évaluation par segment unique / plan unique. Alors que les informations nécessitent une interprétation clinique minutieuse basée sur la connaissance de l’anatomie et de la fonction par le clinicien, celles fournies par l’évaluation du FPI permettent à cette interprétation d’être mieux éclairée par les données.

**Exemples**

Exemple 1. Des observations anormales du plan frontal prédominant chez un patient, avec des mesures du plan transversal et du plan sagittal proches du neutre.



Palpation de la tête du talus	+1
Courbures malléolaires	+1
Inversion/éversion du calcaneus	+1
Proéminence talo-naviculaire	0
Forme de l'arche médiale longitudinale	0
Abd/adduction de l'avant-pied	+1
<b>TOTAL</b>	<b>+4</b>

Exemple 2. Les paramètres de l'arrière-pied peuvent être faiblement marquées chez un patient, tandis que les caractéristiques du médio-pied et de l'avant-pied indiquent une instabilité importante dans le médio-pied.



Palpation de la tête du talus	+1
Courbures malléolaires	+1
Inversion/éversion du calcaneus	+1
Proéminence talo-naviculaire	+2
Forme de l'arche médiale longitudinale	+2
Abd/adduction de l'avant-pied	+1
<b>TOTAL</b>	<b>+8</b>

Dans ces deux cas, le clinicien interprète les résultats des scores FPI pour resituer la posture du pied dans son contexte clinique pertinent. Le clinicien peut utiliser le FPI pour avoir un aperçu global de la posture du pied (en utilisant uniquement le score total), ou il peut préférer conserver de manière individuelle les informations par plan ou par segment afin de conserver la

différenciation des composantes individuelles du score. Dans les deux cas, le clinicien dispose de plus d'informations sur lesquelles il peut fonder sa décision.

### Apprendre à connaître le FPI

Le FPI est conçu pour être simple à utiliser et pour que les critères déterminés limitent la variabilité des cotations. Néanmoins, il est utile de s'entraîner à utiliser la mesure avant d'appliquer les scores définitivement.

Nous recommandons à l'utilisateur novice d'évaluer environ 30 personnes avec un éventail de types de pieds aussi large que possible avant d'utiliser le FPI officiellement en clinique.

#### Foot Posture Index Fiche technique

Nom du patient		Numéro d'identification						
	ITEMS	PLAN	SCORE 1		SCORE 2		SCORE 3	
			Date _____		Date _____		Date _____	
			Commentaire _____		Commentaire _____		Commentaire _____	
			Gauche -2 à +2	Droit -2 à +2	Gauche -2 à +2	Droit -2 à +2	Gauche -2 à +2	Droit -2 à +2
Arrière-pied	Palpation de la tête du talus	Transversal						
	Courbures au-dessus et au-dessous des malléoles latérales	Frontal/ transversal						
	Inversion/éversion du calcaneus	Frontal						
Avant-pied	Renflement de la région de l'articulation talo-naviculaire	Transversal						
	Forme de l'arche longitudinale médiale	Sagittal						
	Abd/adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied (too-many-toes)	Transversal						
TOTAL								

#### Valeurs de référence

Normal = 0 à +5

En pronation = +6 à +9, Fortement en pronation 10+

En supination = -1 à -4, Fortement en supination -5 à -12

©Anthony Redmond 1998