



**Approche diagnostique et fonctionnelle dans  
l'artériopathie oblitérante des membres inférieurs : étude  
de l'apprentissage et de l'enseignement de l'index de  
pression systolique de repos chez des étudiants en  
médecine, et développement d'une méthode ambulatoire  
de quantification de la douleur ischémique à la marche  
par couplage de moniteurs portables**

Ségolène Chaudru

► **To cite this version:**

Ségolène Chaudru. Approche diagnostique et fonctionnelle dans l'artériopathie oblitérante des membres inférieurs : étude de l'apprentissage et de l'enseignement de l'index de pression systolique de repos chez des étudiants en médecine, et développement d'une méthode ambulatoire de quantification de la douleur ischémique à la marche par couplage de moniteurs portables. Médecine humaine et pathologie. Université de Rennes, 2018. Français. NNT : 2018REN1B035 . tel-02051094

**HAL Id: tel-02051094**

**<https://theses.hal.science/tel-02051094>**

Submitted on 27 Feb 2019

**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.

# THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE DE RENNES 1

COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 605

*Biologie Santé*

Spécialité : « Physiologie, Physiopathologie, Biologie systémique médicale »

Par

**Sékolène CHAUDRU**

## APPROCHE DIAGNOSTIQUE ET FONCTIONNELLE DANS L'ARTÉRIOPATHIE OBLITÉRANTE DES MEMBRES INFÉRIEURS

Étude de l'apprentissage et de l'enseignement de l'Index de Pression Systolique de repos chez des étudiants en médecine, et développement d'une méthode ambulatoire de quantification de la douleur ischémique à la marche par couplage de moniteurs portables

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le Jeudi 25 Octobre 2018

Unité de recherche : CIC-P INSERM 1414 Équipe Ischémie Macro et Microcirculation

Thèse N° :

**Rapporteurs avant soutenance :**

|                      |                                                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------|
| Martine Duclos       | Professeur des universités, Université Clermont Auvergne |
| Antonia Pérez-Martin | Professeur des universités, Université de Montpellier    |

**Composition du Jury :**

Président : Professeur Martine Duclos

|                    |                         |                                                                |
|--------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Examineurs :       | Alessandra Bura-Rivière | Professeur des universités, Université de Toulouse             |
|                    | Frédéric Schnell        | Maître de conférences des universités, Université Rennes 1     |
| Dir. de thèse :    | Guillaume Mahé          | Professeur des universités, Université Rennes 1                |
| Co-dir. de thèse : | Alexis Le Faucheur      | Maître de conférences, HDR, École normale supérieure de Rennes |





**THÈSE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1**

*sous le sceau de l'Université Bretagne Loire*

pour le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES 1**

*Mention : Biologie et Sciences de la Santé*

*Spécialité : Physiologie, Physiopathologie, Biologie systémique médicale*

**École doctorale Biologie-Santé**

présentée par

**Ségolène CHAUDRU**

Préparée à l'unité de recherche CIC-P INSERM 1414

Équipe Ischémie, macro et microcirculation

Université Rennes 1

**APPROCHE  
DIAGNOSTIQUE ET  
FONCTIONNELLE DANS  
L'ARTÉRIOPATHIE  
OBLITÉRANTE DES  
MEMBRES INFÉRIEURS**

**Étude de l'apprentissage et de  
l'enseignement de l'Index de  
Pression Systolique de repos  
chez des étudiants en  
médecine, et développement  
d'une méthode ambulatoire  
de quantification de la douleur  
ischémique à la marche par  
couplage de moniteurs  
portables.**

**Thèse soutenue à Rennes  
le Jeudi 25 Octobre 2018**

devant le jury composé de :

**Martine DUCLOS**

Professeur des universités, Université Clermont  
Auvergne/ *rapporteur*

**Antonia PÉREZ-MARTIN**

Professeur des universités, Université de  
Montpellier/ *rapporteur*

**Alessandra BURA-RIVIÈRE**

Professeur des universités, Université de  
Toulouse / *examineur*

**Frédéric SCHNELL**

Maître de conférences des universités, Praticien  
Hospitalier, Université Rennes 1 / *examineur*

**Alexis LE FAUCHEUR**

Maître de conférences, HDR, École normale  
supérieure de Rennes / *co-directeur de thèse*

**Guillaume MAHÉ**

Professeur des universités, Université Rennes 1  
/ *directeur de thèse*





## REMERCIEMENTS

**À Guillaume Mahé**, pour m’avoir encadrée durant cette thèse. Passionné et insatiable tu m’as sans nul doute inspirée dans mon projet professionnel de « slasheuse ». #merci

**À Alexis Le Faucheur**, pour avoir co-encadré cette thèse. Je me revois, il y a neuf ans à l’IFEPSA où tu m’initiais à la recherche scientifique déjà avec la même rigueur et la même disponibilité. Merci à toi.

**À Madame Martine Duclos et Madame Antonia Pérez-Martin**, pour m’avoir fait l’honneur d’accepter de réviser ce travail de thèse.

**À Madame Alessandra Bura-Rivière et Monsieur Frédéric Schnell**, pour m’avoir fait l’honneur d’accepter de prendre part à ce jury de thèse.

**À Jean-Philippe Verhoye, Amélie Rébillard et Sylvain Durand**, pour vos conseils avisés lors des différents comités de thèse.

**À Pierre-Yves**. Que de chemins parcourus au sens propre comme au figuré depuis nos premières expérimentations. Ton investissement au sein de l’équipe m’a permis de bien avancer dans ce travail et je t’en remercie.

**Aux membres de l’équipe de médecine vasculaire du CHU de Rennes** et particulièrement à Vincent, Céline, Olivier, Loukman, Jean-Marc, Emmanuel, Eunice, Chadi, Marie, Awenig, Marielle, Philippe. Merci pour votre aide durant les expérimentations et votre bonne humeur permanente.

**À toute l’équipe de pharmacologie de la faculté de médecine de Rennes**, et en particulier à mes colocataires de l’appartement *vintage* : la CPE, Chantal, Marie-Jo, Julie, Régine, Clara, Audrey, Emmanuelle. À la revoyure !

**À mes compagnons de thèse**, Nouredine, Solène, Marc, Pierre, qui ont fait de ces années une expérience scientifique mais surtout humaine inoubliable.

**À Hervé le Bars** et toute l’équipe pédagogique de l’UCO-BS. Merci Hervé de m’avoir notamment accordé ta confiance pour la création et la coordination de ce parcours STAPS en Activité Physique Adaptée. C’est un réel plaisir pour moi de contribuer à ce projet.

**À Jennifer Maillard** et tous les « clients » de *SportDical*, pour votre accueil et votre bienveillance. Jennifer, étonnante créatrice, je tiens à te féliciter pour ton projet innovant et précurseur de salle d'activités physiques adaptées. Ta démarche est remarquable et ton investissement sans faille. Je suis fière de pouvoir travailler à tes côtés et j'espère que nous continuerons à mener à bien de nombreux projets ensemble.

**Aux membres actifs de la SFP-APA**, qui sont impliqués dans le travail de reconnaissance du métier d'Enseignant en Activité Physique Adaptée. Merci pour votre engouement communicatif et la confiance que vous m'accordez depuis maintenant quatre ans.

**À ma famille et à mes proches**, pour votre soutien et votre confiance qui ont beaucoup compté pour moi pendant ces années de thèse.

**Aux patients et étudiants**, qui se sont portés volontaires pour participer aux protocoles de recherche. Sans vous, la recherche clinique et ce travail n'existeraient pas.

Les travaux de recherche qui sont présentés dans le cadre de cette thèse ont pu être réalisés en partie grâce à une **allocation doctorale de la Région Bretagne**, gérée par la **délégation régionale Grand Ouest de l’Inserm** et au **prix de recherche SFETD-Fondation APICIL 2017**.

Le projet de recherche CLASH a été financé par le **CHU de Rennes (CORECT 2013)** et le **département Sciences du sport et éducation physique de l’École normale supérieure (ENS) de Rennes**.



## PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES LIÉES À LA THÈSE

### Articles publiés

DONNOU, C., CHAUDRU, S., STIVALET, O., PAUL, E., CHARASSON, M., SELLI, J.-M., MAUGER, C., CHAPRON, A., LE FAUCHEUR, A., JAQUINANDI, V. & MAHÉ, G. (2017): How to become proficient in performance of the resting ankle-brachial index: Results of the first randomized controlled trial. – *Vascular Medicine (London, England)*: 1358863X17740993.doi: 10.1177/1358863X17740993.

STIVALET, O., OMARJEE, L., CHAUDRU, S., HOFFMANN, C., BRESSOLLETTE, L., COHOON, K.P., JAQUINANDI, V. & MAHE, G. (2017): Noninvasive Peripheral Artery Disease Screening Tools: A Deficient Knowledge among French Vascular Residents from 4 Medical Schools. – *Annals of Vascular Surgery*. doi: 10.1016/j.avsg.2017.07.040.

CHAUDRU, S., DE MÜLLENHEIM, P.-Y., LE FAUCHEUR, A., JAQUINANDI, V., KALADJI, A. & MAHE, G. (2016): Knowledge about ankle-brachial index procedure among residents: being experienced is beneficial but is not enough. – *VASA. Zeitschrift für Gefässkrankheiten*, 45/1: 37–41. doi: 10.1024/0301-1526/a000493.

CHAUDRU, S., DE MÜLLENHEIM, P.-Y., LE FAUCHEUR, A., JAQUINANDI, V. & MAHÉ, G. (2015): Ankle brachial index teaching: A call for an international action. *International Journal of Cardiology*, 184: 489–491. doi: 10.1016/j.ijcard.2015.03.017.

### Revue publiée

CHAUDRU, S., DE MÜLLENHEIM, P.-Y., LE FAUCHEUR, A., KALADJI, A., JAQUINANDI, V. & MAHÉ, G. (2016): Training to Perform Ankle-Brachial Index: Systematic Review and Perspectives to Improve Teaching and Learning. – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery: The Official Journal of the European Society for Vascular Surgery*, 51/2: 240–247. doi: 10.1016/j.ejvs.2015.09.005.



## **Lettre publiée**

DONNOU, C., CHAUDRU, S., STIVALET, O., PAUL, E., CHARASSON, M., SELLI, J.-M., MAUGER, C., CHAPRON, A., LE FAUCHEUR, A., JAQUINANDI, V., OMARJEE, L. & MAHE, G. (2018): Medical students' proficiency in performance of the resting ankle-brachial index is not sustained at 6 months. – *Journal of Clinical Hypertension (Greenwich, Conn.)*. doi: 10.1111/jch.13206.

## **Article en préparation pour soumission au Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**

CHAUDRU, S., JEHANNIN, P., DE MÜLLENHEIM, P.-Y., KLEIN, H., JAQUINANDI, V., MAHÉ, G. & LE FAUCHEUR, A. (2018) Using wearable monitors to assess daily walking pain manifestation and limitation in PAD. – *Submitted in Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*

## **Communication orale en congrès national**

CHAUDRU, S., DE MÜLLENHEIM, P.-Y., LE FAUCHEUR, A., JAQUINANDI, V. & MAHÉ G. (SEPTEMBRE, 2015). Enseignement de l'index de pression systolique : un appel à l'action. Communication présentée au *14ème congrès de la Société Française de Médecine Vasculaire (SFMV)*, Nancy, France.

## **Communications orales en congrès international**

CHAUDRU, S., DE MÜLLENHEIM, P.-Y., KLEIN, H., JAQUINANDI, V., MAHÉ, G. & LE FAUCHEUR, A. (JULY, 2016). Assessing free-living impairment in peripheral artery disease patients by objectively quantifying walking pain occurrence: definition of a methodology using physical activity monitors. Communication presented at the *21st annual congress of the European College of Sport Science (ECSS)*, Vienna, Austria.

CHAUDRU, S., DE MÜLLENHEIM, P.-Y., KLEIN, H., JAQUINANDI, V., MAHÉ, G. & LE FAUCHEUR, A. (OCTOBER, 2016). Objective quantification of walking pain occurrences in free-living conditions in peripheral artery disease patients. Communication presented at the *27th World Congress of the International Union of Angiology (IUA)/ 15th Annual Congress of the French Society for Vascular Medicine (SFMV)*, Lyon, France.

## PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES COMPLÉMENTAIRES

### Articles publiés

DE MÜLLENHEIM, P.-Y., CHAUDRU, S., EMILY, M., GERNIGON, M., MAHÉ, G., BICKERT, S., PRIoux, J., NOURY-DESVAUX, B. & LE FAUCHEUR, A. (2018): Using GPS, accelerometry and heart rate to predict outdoor graded walking energy expenditure. – *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21/2: 166–172. doi: 10.1016/j.jsams.2017.10.004.

DE MÜLLENHEIM, P.-Y., CHAUDRU, S., GERNIGON, M., MAHÉ, G., BICKERT, S., PRIoux, J., NOURY-DESVAUX, B. & LE FAUCHEUR, A. (2016): Accuracy of a low-cost global positioning system receiver for estimating grade during outdoor walking. – *Physiological Measurement*, 37/10: 1741–1756. doi: 10.1088/0967-3334/37/10/1741.

KOCH, C., CHAUVE, E., CHAUDRU, S., LE FAUCHEUR, A., JAQUINANDI, V. & MAHÉ, G. (2016): Exercise transcutaneous oxygen pressure measurement has good sensitivity and specificity to detect lower extremity arterial stenosis assessed by computed tomography angiography. – *Medicine*, 95/36: e4522. doi: 10.1097/MD.0000000000004522.

### Revues publiées

DE MÜLLENHEIM, P.-Y., CHAUDRU, S., MAHÉ, G., PRIoux, J. & LE FAUCHEUR, A. (2016): Clinical Interest of Ambulatory Assessment of Physical Activity and Walking Capacity in Peripheral Artery Disease. – *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26/7: 716–730. doi: 10.1111/sms.12512.

KOCH, C., CHAUDRU, S., LEDERLIN, M., JAQUINANDI, V., KALADJI, A. & MAHÉ, G. (2016a): Remote Ischemic Preconditioning and Contrast-Induced Nephropathy: A Systematic Review. – *Annals of Vascular Surgery*, 32: 176–187. doi: 10.1016/j.avsg.2015.10.017.

## Lettres publiées

KOCH, C., **CHAUDRU, S.**, JAQUINANDI, V. & MAHÉ, G. (2015): Re. “Remote Ischemic Preconditioning to Reduce Contrast-Induced Nephropathy: a Randomized Controlled Trial.” – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 50/4: 540. doi: 10.1016/J.EJVS.2015.06.076.

KOCH, C., **CHAUDRU, S.**, JAQUINANDI, V., MAHÉ, G. & RAOULT, H. (2016): Re. “Contrast Induced Nephropathy and Long-term Renal Decline After Percutaneous Transluminal Angioplasty for Symptomatic Peripheral Arterial Disease.” – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 51/4: 605. doi: 10.1016/J.EJVS.2015.10.028.

KOCH, C., **CHAUDRU, S.** & MAHÉ, G. (2016): Remote Ischemic Preconditioning and Cardiac Surgery. – *The New England Journal of Medicine*, 374/5: 490. doi: 10.1056/NEJMc1514509#SA2.

# SOMMAIRE

|                                                                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Remerciements .....                                                                                                                                        | iii       |
| Productions scientifiques liées à la thèse .....                                                                                                           | vii       |
| Productions scientifiques complémentaires.....                                                                                                             | ix        |
| Sommaire .....                                                                                                                                             | 1         |
| Liste des abréviations principales.....                                                                                                                    | 3         |
| Liste des tableaux .....                                                                                                                                   | 5         |
| Liste des figures.....                                                                                                                                     | 7         |
| Liste des annexes.....                                                                                                                                     | 9         |
| Introduction .....                                                                                                                                         | 11        |
| <b>Chapitre 1 : Diagnostic de l'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs</b>                                                                       | <b>13</b> |
| 1. L'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs.....                                                                                                 | 15        |
| 2. Enseignement et apprentissage de l'Index de Pression Systolique de repos ....                                                                           | 27        |
| <b>Chapitre 2 : Approche fonctionnelle dans l'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs.....</b>                                                    | <b>81</b> |
| 1. Douleur ischémique à la marche et altérations fonctionnelles .....                                                                                      | 83        |
| 2. Méthodes d'évaluation de la capacité de marche et de la douleur ischémique associée .....                                                               | 92        |
| 3. Développement d'une méthode ambulatoire de quantification de l'occurrence de la douleur ischémique à la marche par couplage de moniteurs portables..... | 102       |
| Conclusion.....                                                                                                                                            | 133       |
| Bibliographie .....                                                                                                                                        | 135       |
| Annexes.....                                                                                                                                               | I         |
| Table des matières .....                                                                                                                                   | VII       |
| Communications orales principales présentées en tant que 1 <sup>er</sup> auteur.....                                                                       | XI        |



## LISTE DES ABRÉVIATIONS PRINCIPALES

|                         |                                                                                                                                |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACC/AHA</b>          | American College of Cardiology/ American Heart Association                                                                     |
| <b>AOMI</b>             | Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs                                                                               |
| <b>AP</b>               | Activité Physique                                                                                                              |
| <b>DMM</b>              | Distance Maximale de Marche                                                                                                    |
| <b>DMR</b>              | Distance de Marche Relative ( <i>Distance de marche sans douleur ischémique</i> )                                              |
| <b>DROP</b>             | Delta from Rest of Oxygen Pressure                                                                                             |
| <b>EACH</b>             | Estimated Ambulatory Capacity by History questionnaire                                                                         |
| <b>GPS</b>              | Géo-Positionnement par Satellites                                                                                              |
| <b>HAS</b>              | Haute Autorité de Santé                                                                                                        |
| <b>IPS</b>              | Index de Pression Systolique                                                                                                   |
| <b>IPSGO</b>            | Index de Pression Systolique au Gros Orteil                                                                                    |
| <b>MML</b>              | Micro Motionlogger® (Montre marqueur d'événement utilisé)                                                                      |
| <b>OS</b>               | Marche en extérieur ( <i>Outdoor Session</i> )                                                                                 |
| <b>PADHOC</b>           | Peripheral Arterial Disease Holter Control                                                                                     |
| <b>SIWP</b>             | <i>Stop Induced by Walking Pain</i> : Labélisation d'un appui montre indiquant un arrêt induit par une douleur ischémique      |
| <b>TcPO<sub>2</sub></b> | Mesure transcutanée de la pression partielle en oxygène                                                                        |
| <b>TMM</b>              | Temps Maximal de Marche                                                                                                        |
| <b>TMR</b>              | Temps de Marche Relatif ( <i>Temps de marche sans douleur ischémique</i> )                                                     |
| <b>VM</b>               | Vecteur Magnitude                                                                                                              |
| <b>WIQ</b>              | Walking Impairment Questionnaire                                                                                               |
| <b>WPM</b>              | <i>Walking Pain Manifestation</i> : Labélisation d'un appui montre indiquant l'apparition d'une douleur ischémique à la marche |



## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tableau 1.</b> Critères d'inclusion et de non inclusion du protocole CLASH .....                                                           | 103 |
| <b>Tableau 2.</b> Dérive temporelle (en secondes) des moniteurs portables au fil des jours .....                                              | 113 |
| <b>Tableau 3.</b> Caractéristiques des vingt-trois patients artériopathes inclus dans le cadre de ce travail de thèse .....                   | 118 |
| <b>Tableau 4.</b> Données issues des sessions de marche en extérieur .....                                                                    | 120 |
| <b>Tableau 5.</b> Caractérisation de la symptomatologie et du niveau d'activité physique lors des sept jours en condition de vie réelle ..... | 123 |





## LISTE DES FIGURES

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figure 1.</b> Illustration de la vascularisation artérielle des membres inférieurs.....                               | 18  |
| <b>Figure 2.</b> Illustration de la structure d'une artère .....                                                         | 19  |
| <b>Figure 3.</b> Illustration du processus d'athérosclérose.....                                                         | 21  |
| <b>Figure 4.</b> Illustration des altérations hémodynamiques induites par un rétrécissement artériel.....                | 23  |
| <b>Figure 5.</b> Mesure de l'Index de Pression Systolique (IPS) de repos.....                                            | 25  |
| <b>Figure 6.</b> Visuel de la démarche de recherche entreprise .....                                                     | 79  |
| <b>Figure 7.</b> Symptômes de douleur de jambe présents dans l'AOMI .....                                                | 86  |
| <b>Figure 8.</b> Mécanismes impliqués dans la détérioration fonctionnelle liée à l'ischémie d'exercice dans l'AOMI ..... | 89  |
| <b>Figure 9.</b> Spirale de déconditionnement du patient atteint d'AOMI.....                                             | 91  |
| <b>Figure 10.</b> Échelle de cotation de la douleur .....                                                                | 93  |
| <b>Figure 11.</b> Illustration du dispositif PADHOC .....                                                                | 101 |
| <b>Figure 12.</b> Dispositif utilisé pour quantifier la dérive des moniteurs portables sur sept jours .....              | 112 |
| <b>Figure 13.</b> Processus de fusion des données des deux moniteurs portables .....                                     | 114 |
| <b>Figure 14.</b> Procédure de labélisation des marqueurs montre .....                                                   | 115 |
| <b>Figure 15.</b> Dispositif SHERPAM (application mobile et GPS) .....                                                   | 129 |
| <b>Figure 16.</b> Copies d'écran de l'application mobile SHERPAM.....                                                    | 130 |



## LISTE DES ANNEXES

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Annexe 1.</b> Walking Impairment Questionnaire (WIQ) .....                                   | III |
| <b>Annexe 2.</b> Estimate Ambulation Capacity by History (EACH) questionnaire .....             | IV  |
| <b>Annexe 3.</b> Walking Estimated Lower Claudication by History (WELCH)<br>questionnaire ..... | V   |



## INTRODUCTION

Les travaux de recherche réalisés dans le cadre du présent travail de thèse ont porté sur deux axes distincts : l'approche diagnostique et l'approche fonctionnelle dans l'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs (AOMI).

Concernant l'approche diagnostique, nous nous sommes intéressés en particulier aux méthodes actuelles d'enseignement de l'Index de Pression Systolique (IPS) de repos dans les facultés de médecine françaises et avons évalué leurs pertinences pédagogiques vis à vis de l'apprenant (les étudiants en médecine). Il s'agissait à travers ces travaux de recherche d'optimiser l'apprentissage de cette mesure recommandée pour le diagnostic de l'AOMI.

Concernant l'approche fonctionnelle, nous avons développé une nouvelle approche méthodologique permettant la quantification à la fois des douleurs ischémiques ressenties à la marche par les patients atteints d'AOMI et celle des arrêts induits par ces douleurs en condition de vie réelle par couplage de moniteurs portables. Ces travaux visaient d'une part à étudier la faisabilité technique d'une telle approche en vue de caractériser la capacité de marche en condition de vie réelle et d'autre part à comparer les résultats recueillis en terme de capacité de marche avec ceux obtenus lors d'une évaluation en laboratoire et d'une session de marche en extérieur.

Ces deux axes de travail seront développés respectivement dans le chapitre 1 et le chapitre 2 de ce manuscrit de thèse.



## **CHAPITRE 1 : DIAGNOSTIC DE L'ARTÉRIOPATHIE OBLITÉRANTE DES MEMBRES INFÉRIEURS**

---

- 1. L'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs**
- 2. Enseignement et apprentissage de l'Index de Pression Systolique  
de repos**





## 1. L'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs

L'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs (AOMI) est une pathologie chronique induite par le processus physiopathologique d'athérosclérose; elle se caractérise par l'obstruction partielle ou complète d'une ou de plusieurs artères des membres inférieurs (CRIQUI & ABOYANS 2015).

### 1.1 Épidémiologie

#### 1.1.1 Prévalence

L'AOMI représente la troisième atteinte athéromateuse la plus fréquente après l'atteinte coronaire et cérébrovasculaire (FOWKES ET AL. 2013). Les dernières données épidémiologiques ont estimé à 202 millions le nombre de personnes dans le monde atteintes d'AOMI en 2010 dont 40,5 millions en Europe (FOWKES ET AL. 2013). En France métropolitaine, la prévalence de l'AOMI est estimée à 11 % dans une population de médecine générale âgée de plus de 40 ans présentant au moins un facteur de risque vasculaire (tabagisme, diabète, hypertension, ou sédentarité) (BOCCALON ET AL. 2000).

La prévalence de l'AOMI augmente significativement avec l'âge mais contrairement aux maladies coronariennes, il ne semble pas exister de différence de prévalence en fonction du sexe (FOWKES ET AL. 2013).

#### 1.1.2 Facteurs de risque

Le tabagisme est le premier facteur de risque de l'AOMI (CRIQUI & ABOYANS 2015). Il semble jouer un rôle plus important dans la survenue de l'AOMI que dans celles des autres pathologies liées à l'athérosclérose. Les études rapportent que le risque de développer une AOMI est de 1,9 à 3,4 fois plus important chez des personnes fumeuses par rapport à des personnes non fumeuses. Ce risque est proportionnel à la dose journalière et à la durée du tabagisme (POWELL ET AL. 1997; PRICE ET AL. 1999). En second lieu, le diabète est fortement associé à l'AOMI. Les études rapportent que les personnes diabétiques sont 1,9 à 4,0 fois plus à risque de développer une AOMI que les personnes non diabétiques (CRIQUI & ABOYANS 2015). L'hypertension artérielle est également associée au risque de développer une AOMI. Les personnes hypertendues ont en effet entre 1,3 et 2,2 fois plus de risques de développer une AOMI que les personnes non hypertendues. L'hypertension artérielle systolique paraît la plus

significativement associée à cette pathologie en comparaison avec la hypertension artérielle diastolique (FOWKES ET AL. 1992). Enfin, d'autres facteurs tels que le rapport cholestérol total/HDL, l'augmentation de certains marqueurs de l'inflammation (protéine C-réactive, fibrinogène), une concentration élevée en homocystéine et en créatinine, un style de vie sédentaire, l'anxiété et le stress ont également été identifiés comme étant, à moindre mesure, des facteurs de risque de développer une AOMI (CRIQUI & ABOYANS 2015). Tous ces facteurs sont à identifier chez les patients artériopathes afin d'optimiser leur prise en charge (WORLD HEALTH ORGANIZATION 2007).

### *1.1.3 Mortalité*

Expression locorégionale d'une maladie athéromateuse plus globale, la présence d'une AOMI est un facteur puissant de risque cardiovasculaire avec un risque relatif de mortalité associée multiplié par 3 à 7 par rapport à des personnes sans AOMI (CRIQUI & ABOYANS 2015).

Cela fait de l'AOMI une pathologie grave avec des taux de mortalité toutes causes confondues à 5 ans atteignant les 30 %, à 10 ans les 50 % et à 15 ans les 70 % (NORGREN ET AL. 2007).

## **1.2 Traitements**

La prise en charge des patients présentant une AOMI doit être transdisciplinaire et répondre à deux objectifs : i) réduire le risque général d'événements cardiovasculaires; ii) limiter le déclin de la capacité fonctionnelle induite par la maladie, prédicteur significatif de mortalité chez les patients atteints d'AOMI (MCDERMOTT ET AL. 2011). Afin de réduire les risques d'événements cardiovasculaires, un accompagnement vers l'arrêt du tabac est proposé à tous les patients artériopathes fumeurs et un triptyque médicamenteux associant hypolipémiant, antihypertenseur et antithrombotique est instauré. Ces traitements médicamenteux, efficaces pour la prévention de la survenue d'événements cardiovasculaires, n'ont en revanche que peu d'effets sur les capacités fonctionnelles. La réadaptation vasculaire est la procédure préconisée par les sociétés savantes européennes et américaines y compris la Haute Autorité de Santé (HAS) pour améliorer le statut fonctionnel des patients artériopathes limités à la marche (HIRSCH ET AL. 2006; NORGREN ET AL. 2007; TENDERA ET AL. 2011; HAS 2016). Prescrite en ambulatoire avec une supervision minimale ou en centre spécialisé (GARDNER ET AL. 2011), la réadaptation consiste

principalement en la réalisation d'exercices de marche sur tapis roulant ou en extérieur. Les protocoles prescrits sont divers en termes de modalité (*e.g.*, interval training, marche nordique) et d'intensité d'effort (GARDNER 2015). Plusieurs études montrent que ce type de réadaptation vasculaire permet une amélioration de la capacité fonctionnelle et de la qualité de vie à 6 mois et 1 an équivalente à celle permise par un traitement endovasculaire de type angioplastie ou endartériectomie (*i.e.*, en moyenne à six mois le temps maximal de marche est amélioré de  $5,8 \pm 4,6$  minutes) (MURPHY ET AL. 2012; FAKHRY ET AL. 2015).

Notons que pour les patients artériopathes ne pouvant suivre un réentraînement à la marche, un réentraînement à l'effort avec l'utilisation d'un vélo à bras peut être pertinent. Comme le réentraînement à la marche, il permet une amélioration de la distance maximale de marche (DMM) (ZWIERSKA ET AL. 2005). Des méthodes passives alternatives telles que la compression mécanique (DELIS & NICOLAIDES 2005) ou l'électrostimulation au niveau des mollets (ANDERSON ET AL. 2004), méthodes n'induisant pas de douleurs ischémiques, réalisables à domicile leur sont aussi alors parfois proposées sans que toutefois ces méthodes ne soient prises en compte pour le moment dans les recommandations actuelles.

Enfin, en seconde ligne, en cas de handicap persistant, la prise en charge chirurgicale peut être discutée (NORGREN ET AL. 2007).

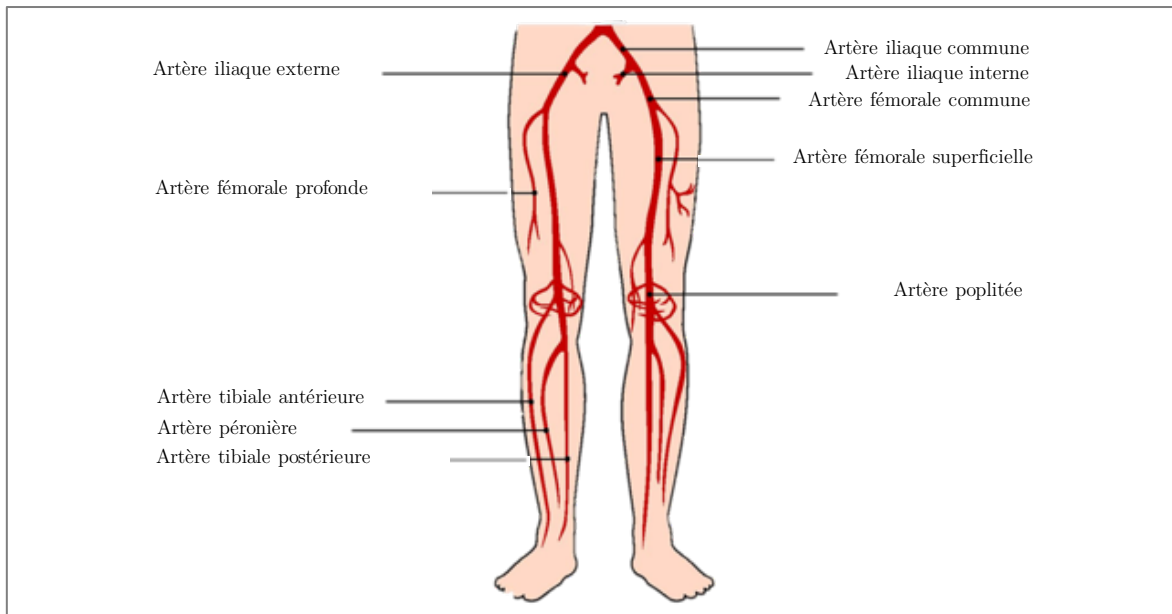
### 1.3 Pathogenèse

La compréhension de la physiopathologie de l'AOMI suppose l'analyse conjointe de l'anatomie des artères des membres inférieurs, des propriétés de leurs parois et des modalités d'écoulement sanguin.

#### 1.3.1 Anatomie des artères des membres inférieurs

Plusieurs artères vascularisent les membres inférieurs des muscles fessiers jusqu'aux pieds (cf Figure 1, p. 18). L'artère fémorale superficielle est l'artère nourricière principale de la jambe. Elle prend naissance au niveau du pli de l'aîne à partir de l'artère fémorale et se prolonge au niveau du genou par l'artère poplitée.

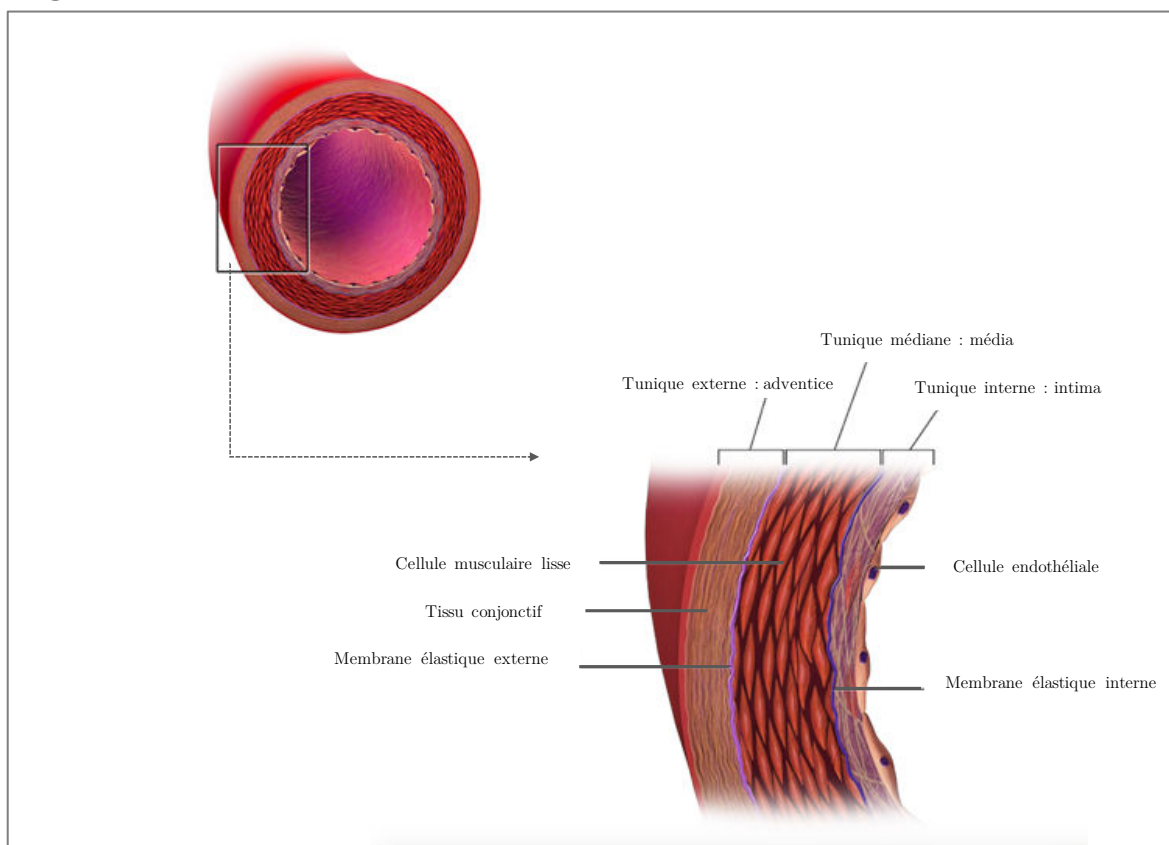
**Figure 1. Illustration de la vascularisation artérielle des membres inférieurs**



*Adapté de Peach, G., Griffin, M., Jones, K. G., Thompson, M. M., & Hinchliffe, R. J. (2012). Diagnosis and management of peripheral arterial disease. BMJ, 345(aug14 1), e5208–e5208. <https://doi.org/10.1136/bmj.e5208>*

### 1.3.2 La paroi artérielle

Les artères ne sont pas de simples conduits passifs mais composent un véritable organe dont la structure varie selon les territoires et dont la fonction est soumise à différents systèmes de régulation. Cette organisation permet de transformer le flux pulsatile imposé par la pompe cardiaque en un flux tissulaire périphérique continu tout en adaptant les régimes de pression et de débit sanguin aux besoins de chaque territoire. Ainsi, la paroi artérielle est organisée en trois tuniques concentriques (cf. Figure 2, p. 19), morphologiquement distinctes dénommées respectivement de la lumière vers l'extérieur de l'artère : intima, média et adventice (GRABOWSKI 2001).

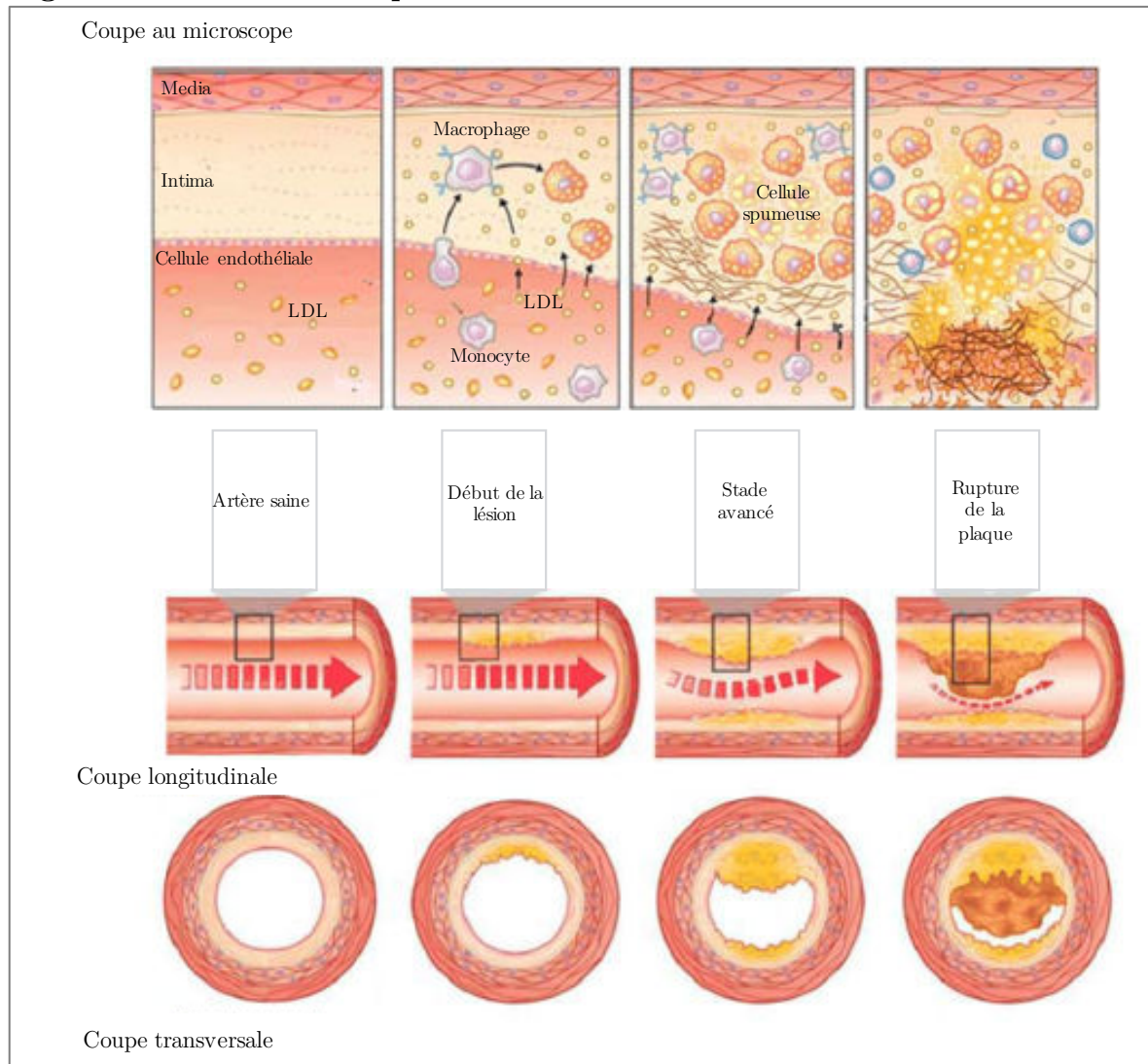
**Figure 2. Illustration de la structure d'une artère**

Adapté de Blausen (2014) Medical gallery of Blausen Medical. DOI:10.15347/wjm/2014.010

L'adventice est formée d'un tissu conjonctif constitué de fibroblastes, de fibres élastiques et de fibres de collagène. Son rôle principal est de protéger l'artère. La média est quant à elle constituée d'une superposition de couches concentriques de cellules musculaires lisses et de tissus conjonctifs (fibres de collagène, fibres élastiques et matrice extracellulaire). C'est elle qui conditionne les propriétés biomécaniques de la paroi artérielle (fonctions hémodynamiques de contraction et de dilatation). Enfin, l'intima, directement en contact avec le flux sanguin est formée d'une monocouche de cellules endothéliales étroitement jointes, d'une membrane basale et d'une couche de tissu conjonctif. A l'état physiologique, les cellules endothéliales, en formant une barrière imperméable et antithrombotique, jouent un rôle majeur dans les échanges et dans le maintien de l'intégrité des artères. C'est justement une dysfonction endothéliale qui est à l'origine du processus d'athérosclérose (LIBBY ET AL. 2002; GIMBRONE & GARCIA-CARDEÑA 2016).

### *1.3.3 Le processus d'athérosclérose*

L'athérosclérose est caractérisée par des lésions intimes à l'origine de plaques athéromateuses qui font saillie dans la lumière de l'artère et qui fragilisent la média sous-jacente (STARY 2000). Ces lésions intimes sont induites par une cascade d'événements qui trouvent leurs origines avec la pénétration de lipoprotéines LDL dans l'espace sous-endothélial (dysfonction endothéliale, cf. Figure 3, p. 21). Retenues dans l'intima, ces dernières sont transformées en LDL oxydées et provoquent l'adhésion des monocytes à la surface des cellules endothéliales de la paroi artérielle. Ces monocytes se différencient ensuite en macrophages qui vont alors absorber les lipoprotéines. Cette absorption conduit à les transformer en macrophages spumeux dont la mobilité est diminuée empêchant leur retour dans la circulation sanguine. Ces macrophages spumeux sont responsables de la formation de stries lipidiques, premier témoin du processus d'athérosclérose (HANSSON ET AL. 2006). Avec le temps, cette réaction inflammatoire va se pérenniser et induire la formation d'un corps riche en lipides, mou, instable et inerte à l'intérieur de la lésion que l'on appelle l'athérome (FALK 2006). Celui-ci va progressivement se couvrir d'une chape fibreuse à mesure que les cellules musculaires lisses s'accumulent et qu'elles produisent des matrices fibreuses. On parle alors de plaques athéromateuses. De couleur blanche ou jaunâtre ces plaques facilement reconnaissables, dont la taille varie de 0,3 à 1,5 centimètre de diamètre, font saillie dans la lumière de l'artère et réduisent de manière plus ou moins importante le calibre de l'artère. On parle alors de sténose artérielle.

**Figure 3. Illustration du processus d'athérosclérose**

Adapté de Glass, C. K., & Witztum, J. L. (2001). *Atherosclerosis. the road ahead. Cell*, 104(4), 503–516.

#### 1.3.4 Les conséquences de l'athérosclérose sur les modalités d'écoulement sanguin

Pour mieux appréhender les responsabilités de ces plaques dans les perturbations hémodynamiques artérielles il convient de rappeler les grandes lois qui régissent l'écoulement sanguin dans les vaisseaux de l'organisme. Ces lois sont complexes mais peuvent être appréhendées à partir des lois générales applicables à la dynamique des fluides (LEVICK 2010). Le long d'un vaisseau, l'écoulement sanguin s'effectue selon un gradient de pression ( $\Delta P$ ) c'est-à-dire qu'il s'opère d'un point où la pression est la plus élevée vers un point où la pression est la plus faible. Entre ces deux points, le débit d'écoulement ( $\dot{Q}$ , exprimé en  $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ) soit le volume sanguin s'écoulant dans le vaisseau en un temps donné est proportionnel gradient de pression en question ( $\Delta P$ ) et également inversement proportionnel aux résistances à



l'écoulement (R) présentes. Ainsi le débit peut être exprimé selon l'équation suivante

---

$$\dot{Q} = \Delta P / R \quad (\text{Loi de Darcy})$$

---

Les résistances à l'écoulement (R) qui s'opposent au débit peuvent être décrites avec la loi de Poiseuille. Selon cette loi, les résistances à l'écoulement d'un liquide dans un conduit sont proportionnelles à la longueur du conduit (L), à la viscosité du liquide ( $\eta$ ), et inversement proportionnelles à la quatrième puissance du rayon r du conduit considéré ( $r^4$ ). Ainsi :

---

$$R = (8.L.\eta) / (\pi.r^4) \quad (\text{Loi de Poiseuille}).$$

---

Les lois relatives à la dynamique des fluides qui viennent d'être évoquées ici n'expliquent pas à elles seules le débit d'écoulement sanguin dans les vaisseaux. Selon le principe de Bernoulli, l'énergie mécanique ( $E_m$ ) permettant la circulation du sang est la somme de trois composantes : i) l'énergie de pression ( $EP_r$ ); ii) l'énergie potentielle ( $EP_o$ ) et iii) l'énergie cinétique ( $E_c$ ).

Avec  $EP_r = P$  (où P = pression);  $EP_o = \rho gh$  (où  $\rho$ : densité; g: accélération de la pesanteur; h: hauteur) et  $E_c = (\rho V^2 / 2)$  (où  $\rho$ : densité et V la vitesse d'écoulement). Ainsi :

---

$$E_m = P + \rho gh + (\rho V^2 / 2) \quad (\text{Principe de Bernoulli}).$$

---

Sur un vaisseau donné, l'énergie cinétique et l'énergie de pression sont interconvertibles. Si nous reprenons le cas d'un tronçon artériel où se trouve une lésion qui réduit le diamètre du conduit, la vitesse de déplacement du sang qui arrive au niveau de cette lésion va être augmentée. Ceci ne se traduit pas pour autant par une augmentation du débit sanguin car le volume de sang qui peut être déplacé par unité de distance dans le tronçon lésé est diminué du fait du rétrécissement. L'augmentation de la vitesse de déplacement du sang à l'intérieur du tronçon lésé implique que l'énergie cinétique associée à un volume de sang donné est augmentée. L'augmentation de l'énergie cinétique est possible grâce à la conversion de l'énergie de pression en énergie cinétique lors de l'entrée du sang dans le tronçon lésé. Par conséquent, lorsque le sang traverse un tronçon artériel lésé, sa vitesse augmente, mais la pression dans le vaisseau chute. Lorsqu'un volume de sang donné sort du tronçon lésé, l'énergie cinétique est reconvertie en énergie de pression.

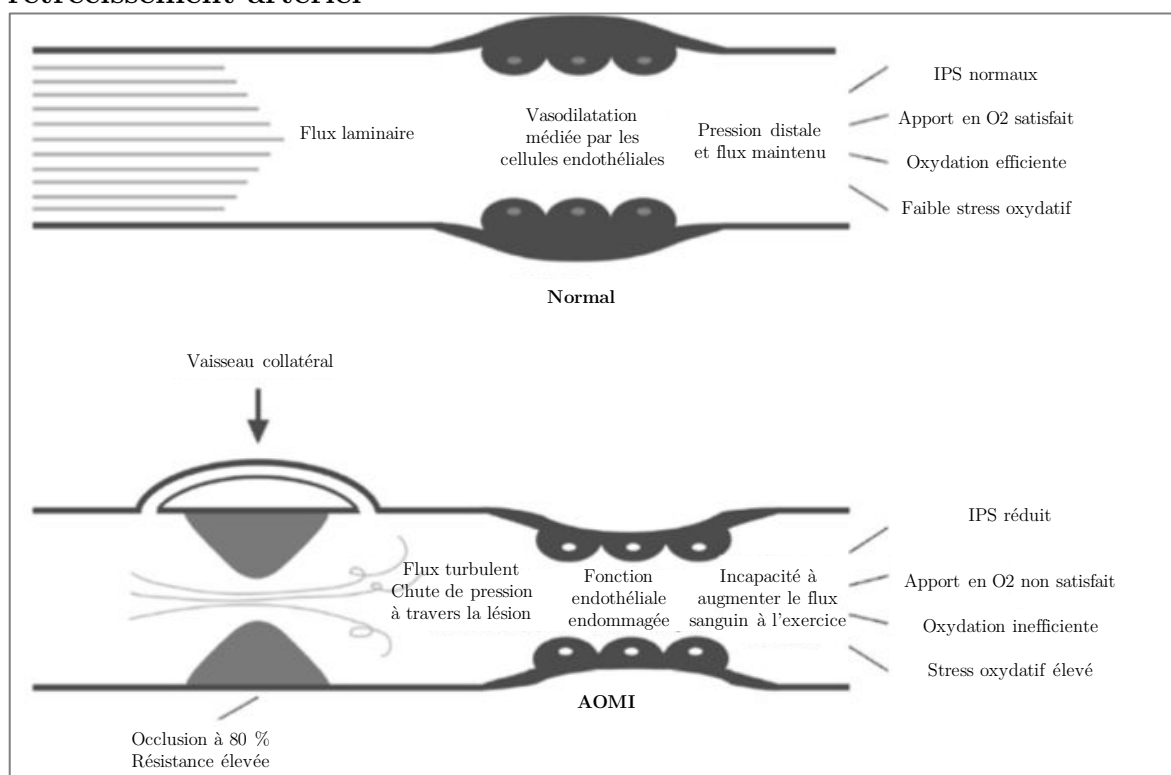
Toutefois, l'énergie de pression (et donc la pression sanguine) à la sortie du tronçon est plus faible qu'à l'entrée. Cette chute de pression résulte de l'apparition de turbulences qui conduit à dissiper l'énergie de pression sous forme de chaleur (LEVICK 2010). Ce phénomène de turbulences s'instaure dès lors que le nombre critique décrit par Reynolds (Re) est voisin de 2000.

Ce nombre, sans dimension, dépend de la vitesse (V), de la densité ( $\rho$ ) et de la viscosité du fluide ( $\eta$ ), ainsi que du diamètre (D) du conduit de telle sorte que :

$$Re = (V.D.\rho) / \eta$$

De fait, l'accélération du flux ou l'augmentation du diamètre, deux conditions qui sont réunies à la sortie d'un rétrécissement (vitesse élevée dans le jet de la sténose et dilatation post-sténotique) expliquent l'altération hémodynamique jusqu'en aval de la lésion (cf. Figure 4, p. 23)

**Figure 4. Illustration des altérations hémodynamiques induites par un rétrécissement artériel**

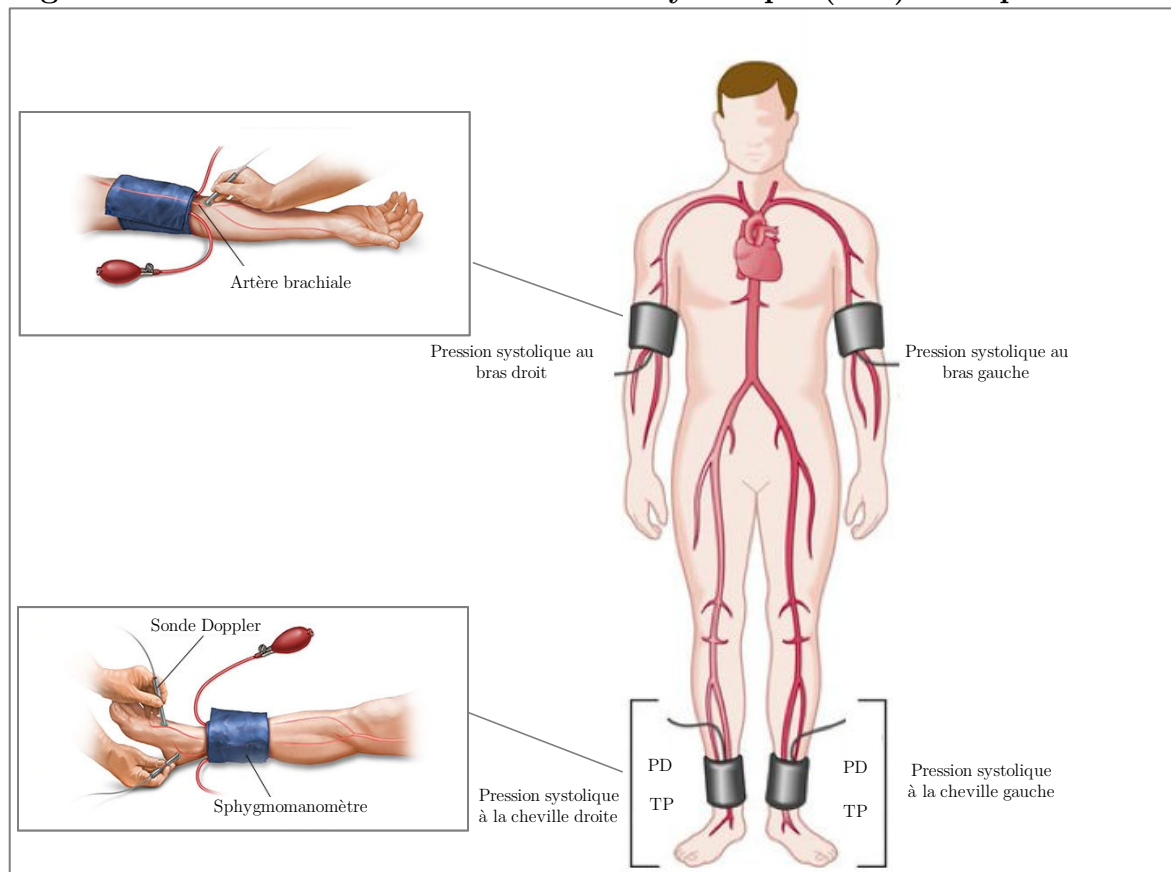


AOMI = Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs ; IPS = index de pression systolique ; O<sub>2</sub> = dioxygène. Adapté de "Pathogenesis of the limb manifestations and exercise limitations in peripheral artery disease" de W. R. Hiatt, E. J. Armstrong, C. J. Larson, et E. P. Brass, 2015, *Circ Res*, 116(9), p. 1529.

C'est d'ailleurs le retentissement global de ces potentielles perturbations qui est recherché dans le diagnostic de l'AOMI à travers la mesure de l'Index de Pression Systolique (IPS) de repos (HIATT ET AL. 2015).

### 1.4 Méthode diagnostique

La mesure de l'IPS de repos est la méthode diagnostique de référence de l'AOMI (ABOYANS ET AL. 2012). Décrite en premier par Winsor en 1950 (WINSOR 1950), cette mesure rapide (10 à 15 minutes), peu coûteuse et non invasive permet d'évaluer le retentissement hémodynamique occasionné par les lésions artérielles situées entre la circulation centrale et la circulation à la cheville. La méthode de mesure et de calcul de l'IPS de repos a fait l'objet de recommandations internationales récentes (ABOYANS ET AL. 2012). Pour cette mesure diagnostique, il est ainsi préconisé que le patient soit installé dans une pièce au calme à température constante comprise entre 19 et 22°C, allongé sur le dos depuis 5 - 10 minutes avec la tête et les pieds soutenus. Le clinicien doit mesurer à l'aide d'un sphygmomanomètre (brassard de largeur au moins équivalente à 40 % de la circonférence de la jambe), d'une sonde Doppler de 8 à 10 MHz et de gel Doppler les pressions artérielles systoliques dans un ordre bien défini : i) artère brachiale droite; ii) artère tibiale postérieure (TP) droite; iii) artère pédieuse (PD) droite; iv) artère tibiale postérieure (TP) gauche; v) artère pédieuse (PD) gauche; vi) artère brachiale gauche et à nouveau artère brachiale droite. La deuxième mesure au bras droit est réalisée afin de limiter l'effet « blouse blanche ». Les recommandations précisent qu'à chaque mesure le clinicien doit installer le sphygmomanomètre (au niveau de la cheville celui-ci doit effleurer la malléole) puis incliner la sonde Doppler de manière à respecter un angle de 45-60° avec l'axe présumé de l'artère examinée (cf. Figure 5, p.25). Une fois le signal du flux détecté, celui-ci doit gonfler le brassard 20 mmHg au-dessus de la disparition du signal du flux avant de le dégonfler lentement (rythme de 2 mmHg/s) pour détecter le niveau de pression de réapparition du signal du flux. L'inflation du brassard à la cheville est habituellement bien tolérée ; malgré tout, il faut éviter la mesure en cas d'ulcère de cheville ou de pontage jambier.

**Figure 5. Mesure de l'Index de Pression Systolique (IPS) de repos**

PD: artère pédieuse, TP: artère tibiale postérieure. Adapté de Hiatt WR: *Medical treatment of peripheral arterial disease and claudication*. *N Engl J Med* 344:1608-1621, 2001.

Pour chaque jambe, l'IPS de repos doit être déterminé en divisant la plus haute pression mesurée à la cheville par la plus haute pression mesurée aux bras. Notons que les deux pressions mesurées au niveau du bras droit sont moyennées sauf si la différence de pression entre les deux mesures est supérieure à 10 mmHg. Dans ce cas, uniquement la seconde valeur mesurée est considérée.

Un  $IPS \leq 0,90$  est associé à la présence d'une AOMI avec une spécificité comprise entre 83 et 99 % et une sensibilité plus faible comprise entre 69 et 79 % (ABOYANS ET AL. 2012). C'est cette valeur seuil qui est actuellement utilisée pour le diagnostic de l'AOMI. Ces valeurs plus faibles de sensibilité peuvent s'expliquer par le choix de la méthode de référence qui est le plus souvent une technique d'imagerie (échographie, artériographie, IRM). Ce choix est discutable car l'IPS évalue l'hémodynamique du membre inférieur donc le retentissement de la lésion mais pas sa présence. Lorsque les réseaux collatéraux sont bien développés, ils peuvent constituer une véritable voie de suppléance, les pressions en chevilles peuvent alors être  $> 0,90$  bien que les artères soient caractérisées comme pathologiques par l'imagerie. Le degré d'atteinte ischémique lié à l'AOMI peut être qualifié de i) « léger » lorsque l'IPS de repos est  $\leq 0,90$  et  $> 0,70$ ; ii) « modéré » lorsque l'IPS de repos est  $\leq 0,70$  et  $> 0,50$ ; iii) « sévère »

lorsque l'IPS de repos est  $\leq 0,50$  (WOOD & HIATT 2001). Des valeurs d'IPS de repos comprises entre 0,91 et 1,00 sont considérées comme « équivoques » et peuvent justifier la mise en place de tests complémentaires (*e.g.*, IPS post-effort, techniques d'imagerie) pour statuer plus précisément sur la présence ou non d'une AOMI (ABOYANS ET AL. 2012). En cas d'AOMI, une baisse des valeurs d'IPS de repos supérieure à 0,15 lors du suivi clinique est signe d'une progression de la pathologie (ABOYANS ET AL. 2012) et est associée à un doublement du risque de décès et ceci quelle que soit la valeur initiale d'IPS de repos (CRIQUI ET AL. 2008).

La performance diagnostique de l'IPS de repos semble plus faible dans certaines populations en particulier chez les sujets diabétiques, les personnes âgées et les personnes présentant une insuffisance rénale, pour qui la rigidité artérielle peut induire un IPS faussement normal (WILLIAMS ET AL. 2005). Ainsi dans le cas d'un IPS de repos  $> 0,90$  mais avec une forte suspicion clinique d'AOMI, d'autres tests non invasifs tels que l'IPS post-effort ou des techniques d'imagerie sont recommandés pour préciser le statut hémodynamique du membre inférieur (ABOYANS ET AL. 2012). Notons, que la mesure de l'Index de Pression Systolique au Gros Orteil (IPSGO) est une alternative utile lorsque l'IPS de repos ne peut être mesuré du fait d'une incompressibilité artérielle (la pression dans le brassard au niveau de la jambe n'abolit pas le flux; valeurs d'IPS de repos  $> 1,40$ ) (HØYER ET AL. 2013; SONTER ET AL. 2015). D'un point de vue pratique, des systèmes comme le SysToe<sup>®</sup> existent (PEREZ-MARTIN ET AL. 2010). Brièvement, le SysToe<sup>®</sup> utilise la photopléthysmographie (PPG) associée à un algorithme. La mesure est réalisée en mettant une manchette d'occlusion (taille adapté à l'orteil, type brassard pour nouveau-né) au niveau de la phalange proximale de l'orteil et en maintenant un capteur (cellule photoélectrique) au niveau de sa phalange distale. La manchette d'occlusion est gonflée automatiquement jusqu'à l'arrêt de la perfusion artérielle. Elle est ensuite dégonflée à une vitesse contrôlée. Le SysToe<sup>®</sup> détermine alors précisément la pression dans la manchette correspondant au retour de la perfusion artérielle détectée par le capteur (pression systolique). Cette pression est alors divisée par la pression brachiale pour obtenir l'IPSGO. Une valeur d'IPSGO  $< 0,70$  est généralement proposée pour identifier les sujets atteints d'AOMI (NORGREN ET AL. 2007). Notons cependant que ce seuil repose sur peu d'études avec de faibles cohortes et des méthodes variables (HØYER ET AL. 2013). Notons que lors de la réalisation de cette mesure, une attention toute particulière doit être portée sur la température cutanée des pieds. En effet, en cas de température basse, la vasoconstriction cutanée peut modifier les résultats du test. De fait, dans certains protocoles, une couverture chauffante est appliquée au niveau du pied avant toute

mesure et la température est contrôlée à l'aide d'un thermomètre mesurant la température à la surface de la peau. Notons que même si cette mesure est habituellement réalisée au niveau du gros orteil, elle peut être faite sur les autres orteils en cas de lésion sur ce dernier.

L'IPS est aussi proposé pour le dépistage de l'AOMI. Celui-ci doit être réalisé chez les sujets à risque vasculaire élevé tel que défini par les recommandations de la HAS : homme de cinquante ans et plus, femme de soixante ans et plus présentant au moins deux facteurs de risque dont au moins un majeur (diabète de type 2 traité ou non, tabagisme actif ou interrompu depuis moins de 3 ans) et au moins un mineur (dyslipidémie avec LDL > 1,6 g/L et/ou HDL – cholestérol < 0,4 g/L, hypertension artérielle > 140/90 mmHg traitée ou non, antécédents familiaux : infarctus du myocarde, mort subite avant cinquante-cinq ans (parent du premier degré masculin) ou soixante-cinq ans (parent du premier degré féminin) ou accident vasculaire cérébral avant quarante-cinq ans).

## **2. Enseignement et apprentissage de l'Index de Pression Systolique de repos**

### **2.1 Méthodes d'enseignement de l'Index de Pression Systolique en France**

Face à l'importance que revêt la mesure de l'IPS de repos dans la prise en charge clinique, il semblerait rationnel que celle-ci soit abordée de manière approfondie au cours i) de la formation initiale des étudiants en médecine (externat) et ii) de la formation continue des médecins vasculaires (Diplôme d'Études Spécialisées ou Capacité ou Diplôme d'Études Spécialisées Complémentaires).

Une cartographie réalisée en 2015 illustrant les méthodes d'enseignement de la mesure de l'IPS de repos en deuxième et troisième cycle de médecine en France souligne que la mesure de l'IPS de repos est systématiquement abordée lors du deuxième cycle de la formation médicale (MAHE 2015). Notons cependant que celle-ci est majoritairement (pour 73 % des facultés qui ont répondu) intégrée à un enseignement plus global sur

l'AOMI, cette approche ne laissant alors que peu de place à une formation pratique. Ainsi, en deuxième cycle, seules 20 % des facultés interrogées proposent un enseignement pratique de l'IPS de repos. En troisième cycle, elles sont 60 %. Partant de ce constat, nous avons souhaité évaluer quelles étaient les connaissances théoriques acquises par les étudiants via cette méthode d'enseignement, actuellement majoritairement en place dans les facultés de médecine françaises.

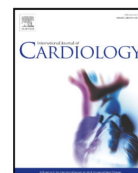
## 2.2 Connaissances des étudiants concernant l'IPS de repos

Afin d'évaluer les connaissances des étudiants français en médecine concernant la procédure d'IPS de repos, une étude prospective non interventionnelle a été réalisée. Nous avons demandé, à l'occasion d'un séminaire, à des étudiants en troisième cycle (internes de cardiologie,  $n = 44$ ) issus de six facultés de médecine françaises de remplir un questionnaire à choix multiples (5 items). Ce dernier, traduit de l'anglais, déjà utilisé dans une précédente étude permettait d'évaluer les savoirs théoriques acquis par les étudiants concernant à la fois la mesure, le calcul et l'interprétation de l'IPS de repos (WYATT ET AL. 2010). Les réponses à ces questions reposent sur les recommandations internationales récentes, rappelées dans le point 1.4 (p. 24) de cette thèse. L'analyse des réponses fournies par les étudiants révèle que parmi les quarante-quatre étudiants interrogés, aucun n'a su répondre correctement aux cinq items. La sous-analyse des réponses au questionnaire révèle que les lacunes concernent tant la mesure, que le calcul et l'interprétation de l'IPS de repos, avec des pourcentages de bonnes réponses de 23, 7 et 36 % respectivement. En somme, cette étude met en évidence que la formation universitaire actuelle ne permet pas aux étudiants en médecine d'acquérir les connaissances théoriques nécessaires à la réalisation et l'interprétation d'un IPS de repos selon les recommandations en vigueur. Ce travail a fait l'objet d'une [publication](#) dans la revue *International Journal of Cardiology*.



Contents lists available at ScienceDirect

## International Journal of Cardiology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ijcard](http://www.elsevier.com/locate/ijcard)

## Letter to the Editor

## Ankle brachial index teaching: A call for an international action

S. Chaudru<sup>a</sup>, P.-Y. de Müllenheim<sup>b</sup>, A. Le Faucheur<sup>a,b,c</sup>, V. Jaquinandi<sup>d</sup>, G. Mahé<sup>a,e,\*</sup><sup>a</sup> INSERM, Centre d'investigation clinique, CIC 1414, F-35033 Rennes, France<sup>b</sup> Movement, Sport and Health Laboratory, EA 1274, UFR APS, University of Rennes 2, Rennes F-35000, France<sup>c</sup> Department of Sport Sciences and Physical Education, ENS Rennes, Campus de Ker Lann, Bruz F-35170, France<sup>d</sup> Cabinet d'angiologie, 6 rue de Bellinière, Trélazé F-49800, France<sup>e</sup> CHU Rennes, Imagerie Cœur-Vaisseaux, F-35033 Rennes, France

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 21 January 2015

Accepted 2 March 2015

Available online 3 March 2015

## Keywords:

Ankle-brachial index

Teaching

Competency

Students

Residents

Peripheral artery disease

## To the Editor

Peripheral arterial disease (PAD) is a highly prevalent disease affecting ~202 million people worldwide [1]. Lower extremities PAD causes roughly a three-fold increase in mortality risk compared with people without PAD, and the cardiovascular mortality at 5-year ranges between 15 and 30% [2]. Since 20% to 50% PAD patients are asymptomatic, a screening of PAD using the ankle-brachial index (ABI) is recommended [3,4]. PAD can be diagnosed by performing the ankle-brachial index (ABI), which is calculated as the highest systolic pressure at the ankles divided by the highest systolic pressure between both arms. The ABI is also of interest since it is a powerful prognostic marker for overall and cardiovascular-related mortality [3]. The method for measuring, calculating and interpreting the ABI is standardized and guidelines have been published in 2012 [3]. Few studies have addressed how ABI procedure is taught whereas this might explained the weakness of its use in general practice. A poor level of residents' competency may suggest inappropriate medical educational processes. This study sought to assess

the knowledge about measurement, calculation and interpretation of the ABI among a sample of residents.

## 1. Method

Residents in cardiology from 6 French medical schools were invited during an annual cardiovascular seminar to fill in a questionnaire about ABI knowledge based on a previous one [5] (Fig. 1). This study was conducted according to the French Health Research Authority guidance.

## 2. Results

All residents ( $n = 44$ ) completed the questionnaire. Participants included 16 first-year residents and 28 second-to-fourth-year residents. Nineteen residents (43%) reported practical training regarding the ABI procedure during their medical school and 13 (29%) during their residency.

Ten (23%), 3 (7%) and 16 (36%) residents correctly answered the questions about ABI measurement, ABI calculation and ABI interpretation, respectively. Second-to-fourth-year residents answered significantly better ABI measurement questions compared with first-year residents ( $p = 0.0065$ , Chi-square test).

None of the residents correctly completed all tasks needed to perform ABI (Fig. 2). Three (7%) residents reported having performed more than twenty measurements during medical school or residency. Thirty-six (82%) residents do not feel adequately trained to perform ABI, and 33 (75%) would like more practical training.

## 3. Discussion

This study found that: i) none of the residents knows how to perform the whole ABI procedure; ii) older residents better measure the ABI than younger; and iii) residents would like to receive more practical training.

Medical education is a major determinant of future patients' care. This study is the first that highlights that none of the residents is able to perform the whole ABI procedure. Our results, which confirm previous studies from different countries [5,6], suggest that the way of teaching or learning the ABI procedure is probably deficient. Given the importance of the ABI in clinical practice, this lack of trainees' competency is disappointing. It appears that ABI required achievement of high levels of competency [5,6].

\* Corresponding author at: Pôle imagerie médicale et explorations fonctionnelles, Hôpital Pontchaillou, 2 rue Henri Le Guilloux, Rennes F-35033, France.

E-mail addresses: [maheguillaume@yahoo.fr](mailto:maheguillaume@yahoo.fr), [guillaume.mahe@chu-rennes.fr](mailto:guillaume.mahe@chu-rennes.fr) (G. Mahé).



- 1) To measure blood pressure, indicate the equipment which you would use (please tick)
- ☐ Automatic blood pressure monitor (ex: Dynamap) for brachial and ankle blood pressures
  - ☐ Automatic blood pressure monitor for brachial, and hand-held Doppler for ankle blood pressure
  - ☐ Hand-held Doppler for ankle and brachial blood pressures
  - ☐ I don't know
- 2) To measure ABI, you assess in each foot/ankle: (please tick)
- ☐ Three ankle pressures
  - ☐ Two ankle pressures
  - ☐ Only one ankle pressure
  - ☐ I don't know
- 3) To calculate ABI, you use: (please tick)
- ☐ The highest of the two brachial pressures
  - ☐ The lowest of the two brachial pressures
  - ☐ The average of the two brachial pressures
  - ☐ Only one brachial pressure
  - ☐ I don't know
- 4) You decide to perform an ABI measurement. The blood pressure measurements and ABIs are shown below. Which ABI do you use to define the patient diagnosis? (please tick)

| Arteries         | Systolic blood pressure (mmHg) | ABI  |
|------------------|--------------------------------|------|
| Dorsal pedis     | 100                            | 1.00 |
| Posterior tibial | 75                             | 0.75 |
| Fibular          | 80                             | 0.80 |

- ☐ Average of the three ABI
- ☐ Average of the two ABIs
- ☐ Lowest ABI
- ☐ Highest ABI
- ☐ I don't know

- 5) Match the ankle-brachial index (ABI) value in the left column with the correct diagnosis listed in the right column. Each diagnosis selection may be used more than once.

|          |       |                                               |
|----------|-------|-----------------------------------------------|
| ABI=1.50 | ..... |                                               |
| ABI=1.20 | ..... | A. Normal                                     |
| ABI=1.00 | ..... | B. Mild to moderate peripheral artery disease |
| ABI=0.80 | ..... | C. Severe peripheral artery disease           |
| ABI=0.60 | ..... | D. Non-compressible arteries                  |
| ABI=0.30 | ..... |                                               |

Fig. 1. Questionnaire (translated from the French version).

According to the literature, practical training can improve this competency. In French medical schools, teaching generally takes the form of lectures with very few practical training [4]. Georgakarakos et al. reported that performing twenty measurements seems necessary for accurate detection of PAD [6]. In our study, only three residents reported a previous experience of twenty or more ABI measurements. Interestingly, residents would like ABI procedure training. This opportunity should be

offered since studies have shown an improvement after educational interventions [5,6]. Limitation is that we assessed residents' competency through a questionnaire. It is unknown whether residents, who failed answering the questionnaire, could correctly perform the bedside procedure.

Finally, this report invites each person in charge of teaching to assess their students and develop educational interventions, which would

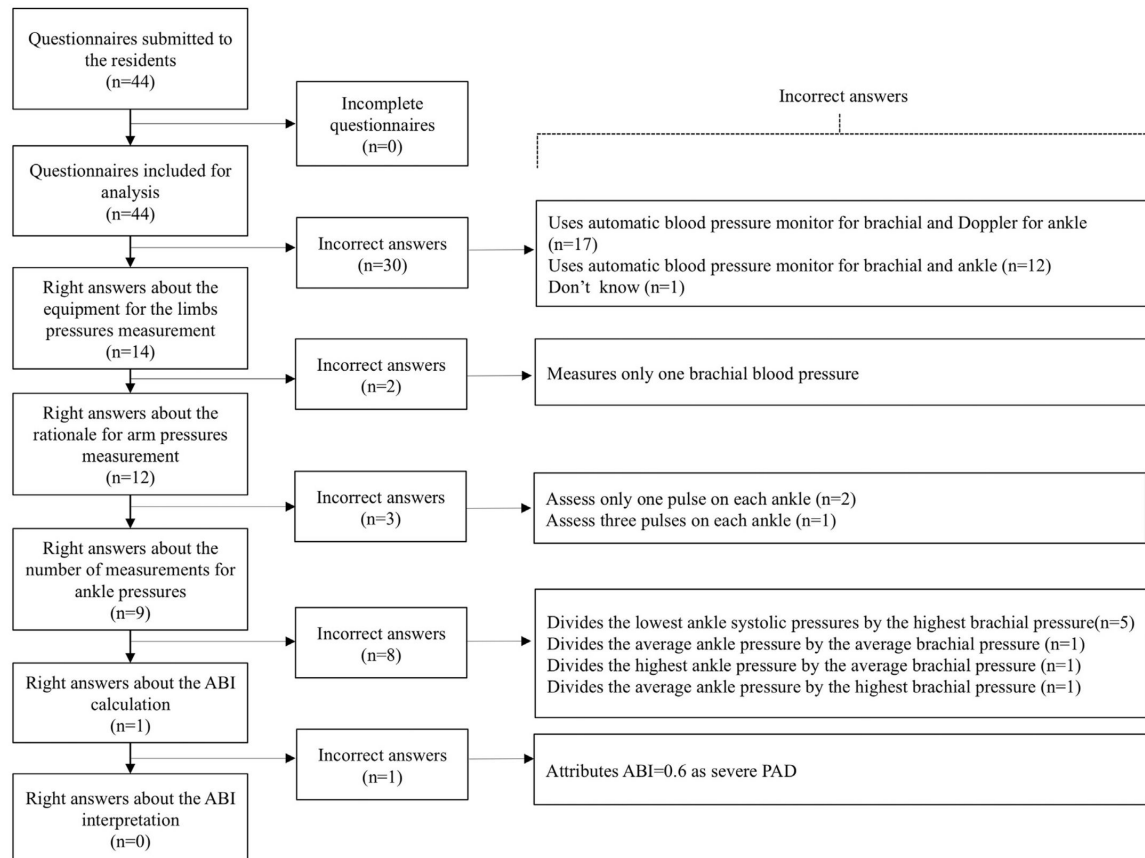


Fig. 2. Flow of the residents that gave cumulative right answers throughout the entire questionnaire (5 questions). n: number of residents.

improve students' competency and finally patient care. International recommendations to perform ABI teaching are required.

#### Conflict of interest

The authors report no relationships that could be construed as a conflict of interest.

#### Acknowledgment

The authors declare no conflict of interest. The authors thank Pr Daubert, Pr Fauchier and Pr Trochu for their help to organize this survey.

#### References

- [1] F.G. Fowkes, D. Rudan, I. Rudan, V. Aboyans, J.O. Denenberg, M.M. McDermott, et al., Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: a systematic review and analysis, *Lancet* 382 (2013) 1329–1340.
- [2] M.H. Criqui, R.D. Langer, A. Fronek, H.S. Feigelson, M.R. Klauber, T.J. McCann, et al., Mortality over a period of 10 years in patients with peripheral arterial disease, *N. Engl. J. Med.* 326 (1992) 381–386.
- [3] V. Aboyans, M.H. Criqui, P. Abraham, M.A. Allison, M.A. Creager, C. Diehm, et al., Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: a scientific statement from the American Heart Association, *Circulation* 126 (2012) 2890–2909.
- [4] G. Mahé, Ankle-brachial index measurement: methods of teaching in medical schools in France and review of literature, *J. Mal. Vasc.* (2015) (in press).
- [5] M.F. Wyatt, C. Stickrath, A. Shah, A. Smart, J. Hunt, I.P. Casserly, Ankle-brachial index performance among internal medicine residents, *Vasc. Med.* 15 (2010) 99–105.
- [6] E. Georgakarakos, E. Papadaki, V. Vamvakierou, D. Lytras, A. Tsiokani, O. Tzolaki, et al., Training to measure ankle-brachial index at the undergraduate level: can it be successful? *Int. J. Low. Extrem. Wounds* 12 (2013) 167–171.

Face à cette méconnaissance avérée des étudiants français en médecine concernant la procédure de l'IPS de repos, nous avons alors émis l'hypothèse que les étudiants ayant réalisé plus de vingt mesures d'IPS de repos au cours de leur cursus (dits « étudiants expérimentés ») auraient de meilleures connaissances théoriques concernant la mesure, le calcul et l'interprétation de l'IPS de repos comparés à ceux en ayant réalisé moins (« étudiants novices »). Ce seuil de vingt mesures correspond au nombre de mesures considérées comme nécessaires par l'équipe de Georgakarakos *et al.* pour ne pas commettre d'erreur diagnostique (GEORGAKARAKOS ET AL. 2013). Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons fait remplir ce même questionnaire à des étudiants en médecine (internes de cardiologie et capacitaires en angiologie) en leur demandant d'indiquer le nombre d'IPS de repos déjà réalisés au cours de leur cursus. Soixante-huit étudiants issus de six facultés françaises ont participé à cette étude prospective non interventionnelle. Les résultats de cette étude sont en faveur d'une supériorité des connaissances théoriques acquises, chez les étudiants « expérimentés » comparés aux étudiants « novices ». On note en effet, un sous-score aux questions portant sur la mesure de l'IPS de repos et un score total au questionnaire significativement supérieur chez les étudiants « expérimentés » comparés aux étudiants « novices » dans la procédure de l'IPS de repos ( $p = 0,0485$  et  $p = 0,0332$  respectivement). Néanmoins, malgré des scores supérieurs, les lacunes sont encore nombreuses : aucun des étudiants parmi les soixante-huit ne répond correctement aux cinq items concernant la procédure de l'IPS de repos. Ainsi, les étudiants sont nombreux à commettre des erreurs et/ou déviations aux recommandations en vigueur concernant la procédure de l'IPS de repos.

Parmi les déviations les plus courantes, nous avons identifié à travers cette étude les déviations suivantes: i) l'utilisation d'un brassard à tension automatique pour la mesure de la pression brachiale (pour 31 % des étudiants); ii) la mesure de la pression à un seul bras (pour 16 % des étudiants); iii) la mesure d'une seule pression artérielle au niveau de la cheville (pour 29 % des étudiants); iv) le choix de la plus basse pression à la cheville pour le calcul de l'IPS (pour 53 % des étudiants) et v) l'interprétation d'un IPS de repos = 0,60 comme indicateur d'une AOMI qualifiée de sévère (pour 48 % des étudiants). En tolérant certaines déviations aux recommandations : i) l'utilisation d'un brassard automatique pour la mesure de la pression brachiale (son utilisation pouvant être discutée notamment pour le dépistage de l'AOMI (GARDNER & MONTGOMERY 1998)); ii) la mesure de la pression aux niveaux des trois artères de chaque jambe (condition pour qu'en France, la mesure d'IPS de repos soit remboursée) et iii) l'interprétation d'un IPS de repos = 0,60 comme pathologique (sans jugement

du degré de sévérité) alors, 23,1 % des étudiants expérimentés réaliseraient la procédure d'IPS de repos sans erreur contre 2,4 % des étudiants novices ( $p = 0,0063$ ). Ce travail a fait l'objet d'une [publication](#) dans *VASA*.



# Knowledge about ankle-brachial index procedure among residents: being experienced is beneficial but is not enough

Sécolène Chaudru<sup>1</sup>, Pierre-Yves de Müllenheim<sup>2</sup>, Alexis Le Faucheur<sup>1,2,3</sup>, Vincent Jaquinandi<sup>4</sup>, Adrien Kaladji<sup>4,5</sup>, and Guillaume Mahe<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Inserm, Centre d'Investigation Clinique 1414, Rennes, France

<sup>2</sup> Movement, Sport and Health Laboratory, University of Rennes 2, France

<sup>3</sup> Department of sport sciences and physical education, ENS Rennes, Campus de Ker Lann, Rennes, France

<sup>4</sup> Cabinet d'Angiologie, University of Rennes, France

<sup>5</sup> Inserm U1099, Signal and Image Processing Laboratory, University of Rennes 1, France

<sup>6</sup> University Hospital, University of Rennes, France

**Summary:** *Background:* Ankle-brachial index (ABI) at rest is the main clinical tool to diagnose the presence of lower extremity peripheral artery disease (PAD). The method for ABI procedure (i.e., measurement, calculation and interpretation) is standardised and guidelines were published in 2012. This study sought to: i) assess knowledge about the three major steps of the ABI procedure (i.e., measurement, calculation and interpretation) among residents from different medical schools, ii) compare the ABI knowledge of experienced residents (i.e., who have already performed ABI procedure more than 20 times) with the knowledge of inexperienced residents, and iii) describe the most common errors by residents. *Methods:* Residents from six medical schools were invited to complete a questionnaire about the ABI procedure. *Results:* Sixty-eight residents completed the questionnaire. None of them knew how to perform the entire ABI procedure. Overall, 22 %, 13 % and 41 % of residents correctly answered questions about ABI measurement, ABI calculation and ABI interpretation, respectively. Score comparisons underlined the fact that experienced residents ( $n = 26$ ) answered ABI measurement questions to a significantly better level and had a significantly higher total score than inexperienced residents ( $n = 42$ ) ( $P = 0.0485$  and  $P = 0.0332$ , respectively). Errors were similar for most of the residents. *Conclusions:* Our study confirms that experienced residents have significantly better ABI procedure knowledge than inexperienced residents. However, none of them are able to perform the entire ABI procedure without any mistake with regard to current guidelines. It is important that training be given to residents in medical schools in order to improve their ABI procedure knowledge.

**Key words:** Peripheral artery disease, competency, teaching, diagnosis, vascular medicine

## Introduction

Ankle-brachial index (ABI) at rest is the main clinical tool to diagnose the presence of lower extremity peripheral artery disease (PAD) [1, 2]. Although some physicians screen patients for PAD on the basis of finding a complaint of intermittent claudication, fewer than 10 % of PAD patients will provide symptoms consistent with the Rose criteria for intermittent claudication [3, 4]. Therefore, international vascular societies [5–7] recommend a screening of PAD using ABI at rest but the interest of a screening is still debated [8].

The method for measuring, calculating and interpreting the ABI is standardised and guidelines were published in 2012 aiming to homogenise the procedure [6]. Several studies have also shown that ABI is not accurately per-

formed in general practice [9–11]. A possible explanation may be a lack of knowledge about the ABI procedure caused by poor educational processes [12]. Only a few studies [13, 14] have addressed the basic knowledge of the ABI procedure among residents and/or students, whereas these results may provide recommendations for optimal medical educational processes. Only one study has addressed knowledge of the entire ABI procedure among a small group of residents in one centre [14].

Our study sought to: i) assess basic knowledge about the three major steps of ABI procedure (i.e., measurement, calculation and interpretation) among residents from different French medical schools, ii) compare the ABI knowledge of experienced residents with the knowledge of inexperienced residents, and iii) describe the most common errors by residents.



**1/ To measure blood pressure, indicate the equipment which you would use (please tick) (1.5 points)**

- ☐ Automatic blood pressure monitor (ex: Dynamap) for brachial and ankle blood pressure
- ☐ Automatic blood pressure monitor for brachial, and hand-held Doppler for ankle blood pressure
- ☐ Hand-held Doppler for ankle and brachial blood pressure
- ☐ I don't know

**2/ To measure Ankle-Brachial Index (ABI), you assess in each foot/ankle: (please tick) (1.5 points)**

- ☐ Three ankle pressures
- ☐ Two ankle pressures
- ☐ Only one ankle pressure
- ☐ I don't know

**3/ To calculate ABI, you use: (please tick) (1.5 points)**

- ☐ The highest of the two brachial pressures
- ☐ The lowest of the two brachial pressures
- ☐ The average of the two brachial pressures
- ☐ Only one brachial pressure
- ☐ I don't know

**4/ You decide to perform an ABI measurement. The blood pressure measurements and ABIs are shown below. Which ABI do you use to define the patient diagnosis? (please tick) (1.5 points)**

| Arteries         | Systolic blood pressure (mmHg) | ABI  |
|------------------|--------------------------------|------|
| Dorsal pedis     | 100                            | 1.00 |
| Posterior tibial | 75                             | 0.75 |
| Fibular          | 80                             | 0.80 |

- ☐ Average of the three ABI
- ☐ Average of the two highest ABI
- ☐ Lowest ABI
- ☐ Highest ABI
- ☐ I don't know

**5/ Match the ABI value in the left column with the correct diagnosis listed in the right column. Each diagnosis selection may be used more than once. (0.5 points for each correct answer)**

ABI=1.50 .....  
 ABI=1.20 .....  
 ABI=1.00 .....  
 ABI=0.80 .....  
 ABI=0.60 .....  
 ABI=0.30 .....

- A. Normal
- B. Mild to moderate peripheral artery disease
- C. Severe peripheral artery disease
- D. Non-compressible arteries

**Figure 1.** Questionnaire (translated from the French version).

## Methods

Residents in cardiology and vascular medicine from six French medical schools were invited during an annual seminar to complete a questionnaire about ABI procedure knowledge. No selection criterion was used.

Based on previous studies [13, 14], this questionnaire was designed to assess whether the three fundamental tasks of the ABI procedure, namely measurement, calculation and interpretation, were assimilated by residents.

A score assessing the individual performance of each resident was developed. A scoring sheet was established for each answer, awarding the same number of points to each task (Fig. 1).

Three points were awarded for the measurement task (i.e., one-and-a-half point was awarded for each of the following: utilisation of a hand-held Doppler for ankle and brachial systolic blood pressure measurement, assessment of three systolic ankle pressures in each ankle). Three points were awarded for the calculation task (i.e., one-and-a-half point was awarded for each of the following: selection of the higher of the two systolic brachial pressures; selection of the higher of the systolic ankle pressures to define patient diagnosis). Three points were awarded for the interpretation task (i.e., one-half point for each correct interpretation). The sum of the three tasks defined the total score (maxi-

mum rating nine points). The higher the total score, the higher the resident's knowledge about ABI procedure. An experienced resident was considered as a resident who declared having performed more than 20 ABI measurements in clinical practice. This cut-off of 20 measurements was based on a previous study by Georgakarakos et al. [15]. This study was conducted according to the French Health laws.

## Statistical analyses

Scores comparisons between experienced residents and inexperienced residents were performed using a Mann-Whitney test because distributions were not normal (Shapiro-Wilk's test). A Chi-square test was performed to compare qualitative values between groups. Statistical analysis was performed with the programming language R version 3.1.3. A two-tailed probability level of  $P < 0.05$  was used to indicate significance.

## Results

All residents ( $n=68$ ) completed the questionnaire. Participants included 44 residents in cardiology and 24 vascular

medicine residents. Nine (13%) reported knowing the current American Heart Association (AHA) guidelines concerning ABI procedure but none of them knew how to perform the entire ABI procedure (ESM 1, Figure). Forty-seven (69%) residents did not feel adequately trained to perform ABI, and 53 (78%) would like more practical training.

Among these 68 residents, 15 (22%), 9 (13%) and 28 (41%) correctly answered the questions about ABI measurement, ABI calculation and ABI interpretation, respectively.

Score comparisons (ESM 2, Table) underlined that experienced residents ( $n=26$ ) answered ABI measurement questions significantly better and had a significantly higher total score, compared with inexperienced residents ( $n=42$ ) ( $P=0.0485$  and  $P=0.0332$ , respectively, Mann-Whitney test).

The most common errors were:

- Using an automatic blood pressure measurement device for the brachial systolic pressure assessment: 21 out of 68 residents (31%);
- Measuring the systolic brachial pressure in only one arm: 11 out of 68 residents (16%);
- Assessing only one systolic ankle pressure (tibial posterior or dorsalis pedis or fibular arteries): 20 out of 68 residents (29%);
- Calculating the ABI using the lowest ankle systolic pressures: 36 out of 68 residents (53%);
- Interpreting  $ABI=0.60$  as severe: 33 out of 68 residents (48%).

No significant difference existed between inexperienced and experienced residents' common errors except for two criteria. First, inexperienced residents were significantly more likely to use an automatic blood pressure measurement device to measure pressure at both brachial and ankle levels than experienced residents ( $P=0.0027$ ). Second, experienced residents were significantly more likely to measure three ankle pressures in each leg (tibial posterior, dorsalis pedis, and fibular arteries), than inexperienced residents ( $P<0.0001$ ).

## Discussion

ABI is an important and widely used non-invasive tool for the diagnosis of PAD. This study showed that i) deviations from the ABI procedure guidelines are commonplace among French medicine residents, ii) experienced residents have better results about ABI procedure knowledge than inexperienced residents, and iii) common errors are similar for most of the residents.

First, we demonstrated that French residents in the cardiovascular field have poor knowledge about ABI procedure. None of them obtained the maximal total score and knew the entire ABI procedure. These results obtained from residents from six different French medical schools showed that this lack of knowledge was not restricted to only one medical school but was more generalised. Wyatt et al., using a point based scoring system, assessed the per-

formance of twenty-nine internal medicine residents [14]. As shown in the present study, the authors observed a poor level of competency, showing that only 4% of the residents correctly measured the ankle pressures, 10% correctly performed the ABI, and 45% correctly interpreted the ABI. These similarities between these two studies suggest an educational medical problem worldwide.

We believe that this poor knowledge might explain the underutilisation and/or the incorrect use of the ABI in primary care settings such as other common barriers advocated in the literature (e.g., time consuming or expensive equipment) [4, 10, 16].

Second, we highlighted that experienced residents were more likely to follow ABI procedure guidelines. Experienced residents tended to obtain higher scores for ABI calculation and interpretation. They also had significantly higher ABI measurement and total scores ( $P=0.0485$  and  $P=0.0332$ , respectively). These results are in accordance with previous literature that showed that practical training improved the compliance with guidelines [14, 15]. Indeed, Georgakarakos et al. (2013) showed that the completion of 20 measurements in patients was required to achieve enough competency level to avoid misdiagnosing of PAD [15]. However, even among experienced residents, none of them knew how to perform the entire ABI procedure without any mistake with regard to current guidelines.

Third, common errors were similar for most of the residents. Three deviations (e.g., using automatic blood pressure measurement devices, measuring the brachial pressure in only one arm, and assessing only one ankle pressure on each leg) may more likely be attributed to the residents' willingness to reduce the time procedure than a real lack of knowledge about ABI procedure. Although the use of automatic devices is not admitted in the ACC/AHA guidelines [6], the use of such devices at the brachial level could be discussed, especially for PAD screening. Gardner and Montgomery (1998) compared three brachial blood pressure measurement methods and concluded that the accuracy of ABI measurement in PAD patients with intermittent claudication was not affected by the method used to obtain brachial systolic blood pressure ( $P=0.92$ ) [17]. Furthermore, we showed that experienced residents were significantly more likely to measure three artery pressures in each ankle (tibial posterior, dorsalis pedis and fibular arteries), than inexperienced residents ( $P<0.0001$ ). The reason for this is that, in the French health care system, reimbursement for ABI measurement is offered only if three different artery (tibial posterior, dorsalis pedis and fibular arteries) pressures are measured [11]. Another common error among residents was interpreting an  $ABI=0.60$  as severe PAD whereas normally an ABI equal to 0.60 is interpreted as mild to moderate PAD. This is not a major deviation since the patient will be classified as a PAD patient. The explanation could be that, in France, PAD severity indicators are rarely used [6, 14].

Finally, according to the French specificities previously mentioned, if we accept i) the use of automatic brachial blood pressure device, ii) the measurement of the three artery pressures in each ankle, and iii) the interpretation of



ABI=0.60 as PAD without any judgment about the severity, 23.1% (6/26) of the experienced residents performed the entire ABI procedure without any mistake, against 2.4% (1/42) of novice residents ( $P=0.0063$ , Chi-square test).

This study highlighted poor knowledge about the ABI procedure among French residents. Given the fact that teaching in French medical schools generally takes the form of lectures with very few practical training sessions, these results were not surprising [18]. The opportunity to have practical training should be offered, since the majority of residents (78%) stated that they would like to receive more practical training. Finally, on the basis of these findings, we recommended, as previously suggested by Ray et al. (1994), that junior doctors should not perform ABI measurements alone until they have performed several ABI procedures under supervision with an appropriately experienced instructor [12, 19].

### Limitations

This study had several limitations. First, we did not evaluate whether residents knew which pressures have to be used as numerator and as denominator. As shown by Wyatt et al. (2010), such a question would have induced many errors [14]. Second, we assessed the residents' knowledge about the ABI measurement task through a questionnaire and not through a direct supervision, which was used by Wyatt et al. [14]. As shown by the authors, the advantage of direct supervision is that respondents currently reported difficulties regarding skills or technical aspects of the procedure such as locating pulses in the ankle, or maintaining the position of the Doppler probe while inflating the blood pressure cuff [14, 15, 19]. However, our aim was to assess a high number of residents from different French medical schools and not to focus on one, as reported by Wyatt et al. [14]. In their limitations section, Wyatt et al. did not know whether their results were generalisable to a broader population or not. According to our results, it seems that this poor knowledge about ABI procedure is a global issue. Last, the experience of the residents was based on the answer to the question about the declarative number of ABI previously performed ( $n>20$ ) [15].

### Conclusions

Our study confirms that experienced residents (i.e., who have already performed more than 20 ABI procedures) had significantly better knowledge of the ABI procedure than inexperienced residents. It is important that training be offered to residents in medical schools in order to improve their ABI procedure knowledge. Identifying the best way to teach the ABI procedure requires other studies such as randomised controlled trials, which have not yet been conducted.

### Electronic Supplementary Material

The electronic supplementary material is available with the online version of the article at <http://dx.doi.org/10.1024/0301-1526/a000493>

*ESM 1. Figure.*

Flow of the residents that gave cumulative right answers throughout the entire questionnaire (5 questions).

*ESM 2. Table.*

Score comparisons for each task between experienced and inexperienced residents (mean $\pm$ SD).

### References

1. Dachun X, Jue L, Liling Z, et al. Sensitivity and specificity of the ankle-brachial index to diagnose peripheral artery disease: a structured review. *Vasc Med* 2010; 15 (5): 361 – 9.
2. Winsor T, Hyman C, Payne JH. Exercise and limb circulation in health and disease. *AMA Arch Surg* 1959; 78 (2): 184 – 92.
3. Rose GA. The diagnosis of ischaemic heart pain and intermittent claudication in field surveys. *Bull World Health Organ* 1962; 27: 645 – 58.
4. Belch JF, Topol EJ, Agnelli G, et al. Critical issues in peripheral arterial disease detection and management: a call to action. *Arch Intern Med* 2003; 163 (8): 884 – 92.
5. Rooke TW, Hirsch AT, Misra S, et al. 2011 ACCF/AHA Focused Update of the Guideline for the Management of Patients With Peripheral Artery Disease (updating the 2005 guideline): a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2011; 58 (19): 2020 – 45.
6. Aboyans V, Criqui MH, Abraham P, et al. Measurement and Interpretation of the Ankle-Brachial Index A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2012; 126 (24): 2890 – 909.
7. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, et al. Inter-society consensus for the management of peripheral arterial disease. *Int Angiol* 2007; 26 (2): 81 – 157.
8. Alahdab F, Wang AT, Elraiyah TA, et al. A systematic review for the screening for peripheral arterial disease in asymptomatic patients. *J Vasc Surg* 2015; 61 (3S): 42S – 53S.
9. Haigh KJ, Bingley J, Gollidge J, et al. Barriers to screening and diagnosis of peripheral artery disease by general practitioners. *Vasc Med* 2013; 18 (6): 325 – 30.
10. Davies JH, Kenkre J, Williams E. Current utility of the ankle-brachial index (ABI) in general practice: implications for its use in cardiovascular disease screening. *BMC Family Practice* 2014; 15 (1): 69.
11. Meyer D, Bureau JM, Vu Tri D. [Ankle brachial index: motivations, training, and practices among 165 general practitioners in Île-de-France]. *J Mal Vasc* 2014; 39 (1): 18 – 25.
12. Chaudru S, de Müllenheim PY, Le Faucheur A, et al. Training to perform Ankle-Brachial Index. Systematic Review and perspectives to improve teaching and learning. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. (Submitted).
13. Chaudru S, de Müllenheim PY, Le Faucheur A, et al. Ankle brachial index teaching: A call for an international action. *Int J Cardiol* 2015; 184: 489 – 91.
14. Wyatt MF, Stickrath C, Shah A, et al. Ankle brachial index performance among internal medicine residents. *Vascular Medicine* 2010; 15 (2): 99 – 105.
15. Georgakarakos E, Papadaki E, Vamvakierou V, et al. Training to Measure Ankle-Brachial Index at the Undergraduate Level: Can It Be Successful? *The International Journal of Lower Extremity Wounds* 2013; 12 (2): 167 – 71.



16. Hirsch AT, Criqui MH, Treat-Jacobson D, et al. Peripheral arterial disease detection, awareness, and treatment in primary care. JAMA 2001; 286 (11): 1317 – 24.
17. Gardner AW, Montgomery PS. Comparison of three blood pressure methods used for determining ankle/brachial index in patients with intermittent claudication. Angiology 1998; 49 (9): 723 – 8.
18. Mahé G. Ankle-brachial index: methods of teaching in French medical schools and review of literature. JMV 2015.
19. Ray SA, Srodon PD, Taylor RS, et al. Reliability of ankle:brachial pressure index measurement by junior doctors. Br J Surg 1994; 81 (2): 188 – 90.

Submitted: 26.06.2015

Accepted after revision: 20.07.2015

No conflicts of interest. SC received a grant «BOURSE ARED» from the «Région Bretagne»

**Correspondence address**

Dr. Guillaume Mahe, MD, PhD

Pôle imagerie médicale et explorations fonctionnelles

CHU Rennes

2 rue Henri Le Guilloux

35033 Rennes

France

maheguillaume@yahoo.fr

Suite à cette étude, nous avons voulu évaluer le niveau de connaissance des capacitaires en angiologie à propos de l'IPS de repos mais aussi à propos des autres

tests non invasifs recommandés en cas de suspicion d'AOMI à savoir l'IPSGO et l'IPS post-effort (ABOYANS ET AL. 2012).

### **2.3 Connaissances des capacitaires concernant l'IPS de repos et comparaison avec les autres tests non invasifs : l'IPSGO et l'IPS post-effort**

Afin d'évaluer les connaissances des capacitaires concernant les procédures d'IPS, d'IPSGO et d'IPS post-effort nous avons réalisé une étude prospective non interventionnelle. Nous avons demandé, à l'occasion d'un séminaire, à dix-neuf capacitaires en angiologie issus de quatre facultés de médecine françaises de remplir un questionnaire à choix multiples (18 items). Ce questionnaire a été conçu par notre équipe pour permettre l'évaluation des connaissances des capacitaires concernant l'indication clinique, la mesure, le calcul et l'interprétation de chacun de ces tests.

L'analyse des réponses au questionnaire révèle que seulement 11 % des capacitaires ont répondu correctement à l'ensemble des questions portant sur la procédure d'IPS de repos, et qu'aucun d'entre eux n'a été en mesure de répondre correctement, ni aux questions portant sur l'IPSGO, ni à celles portant sur l'IPS post-effort. En somme, aucun des capacitaires ne connaît les indications cliniques à la réalisation de chacun de ces trois tests non invasifs et n'a les connaissances théoriques nécessaires à leur réalisation et/ou interprétation. Des différences significatives existent concernant les connaissances des étudiants vis-à-vis de l'interprétation de ces trois tests. En effet, 63 % des capacitaires savent interpréter cliniquement un IPS de repos contre 21 % un IPSGO ( $p = 0,02$ ) et 11 % un IPS post-effort ( $p = 0,001$ ).

Cette étude souligne à nouveau le manque de connaissances théoriques des futurs médecins à propos des tests diagnostiques de l'AOMI et interpelle sur les méthodes d'enseignement actuelles. Rares sont les angiologues interrogés dans cette étude ayant reçu une formation pratique à ces tests, 21 % déclarent n'avoir jamais réalisé d'IPS post-effort et 47 % n'avoir jamais pratiqué d'IPSGO. Ce travail a fait l'objet d'une [publication](#) dans *Annals of Vascular Surgery*.

ACCEPTED MANUSCRIPT

1 Title: **Non-invasive Peripheral artery disease screening tools: A deficient**  
2 **knowledge among French vascular residents from four medical schools**

3  
4  
5  
6 Authors list:

7 STIVALET O<sup>1</sup>, OMARJEE L<sup>2</sup>, CHAUDRU S<sup>3</sup>, HOFFMANN C<sup>4</sup>, BRESSOLLETTE L<sup>4</sup>,  
8 COHOON KP<sup>5</sup>, JAQUINANDI V<sup>1,2</sup>, MAHE G<sup>1,2</sup>.

9 Affiliations:

10 1 Vascular Medicine, University Hospital of Rennes, France.

11 2 Vascular Medicine, University Hospital of Rennes, France.

12 3 Univ Rennes 1, France ; INSERM CIC 1414.

13 4 Vascular Medicine, University Hospital of Brest, France.

14 5 University of Wisconsin, WI, USA

15  
16 Corresponding author:

17 Guillaume MAHE.

18 Pôle imagerie médicale et explorations fonctionnelles. Hôpital Pontchaillou, 2 rue Henri Le  
19 Guilloux. Rennes, F-35033. France. Tel: +33 (0)2 9928 4321. Fax: +33 (0)2 9928 4364

20 E-mail: maheguillaume@yahoo.fr

21 Twitter : @GMahe\_

## ACCEPTED MANUSCRIPT

**Abstract****Background**

Ankle-brachial index (ABI) at rest, Post-exercise ABI and Toe-Brachial Index (TBI) are essential diagnostic tools recommended for peripheral artery disease (PAD) diagnosis. Our study investigates the level of knowledge on these three tests among vascular medicine residents from four French medical schools in France.

**Patients and methods**

We included nineteen vascular medicine residents in a cross-sectional study. During an annual obligatory seminar, all residents accepted to fill three questionnaires concerning knowledge about these three tests.

**Results**

All residents accepted to fill three questionnaires. None of the residents correctly knows how to perform all pressure measurements (ABI, Post-exercise ABI, and TBI). Two residents had the knowledge to perform the whole ABI at rest procedure whereas no resident had the knowledge to perform neither the Post-exercise ABI ( $p=0.48$ ), nor the TBI ( $p=0.48$ ). Twelve residents correctly completed the question regarding the interpretation of ABI at rest, while two correctly completed the Post-exercise ABI question ( $p=0.001$ ) and four the TBI question ( $p = 0.02$ ). The number of residents who have performed more than twenty measurements is higher regarding ABI at rest than Post-exercise ABI and TBI (84%, 5%, 37% respectively;  $p<0.001$  and  $p= 0.006$  respectively) and significantly less often in Post-exercise ABI than TBI (5% versus 37%;  $p=0.04$ ).

**Conclusion**

This study shows for the first time that residents' knowledge of pressure measurements (resting ABI, Post-exercise ABI and TBI) of four French medical school, are insufficient even though the importance

ACCEPTED MANUSCRIPT

of pressure measurement has been strongly highlighted by the new released PAD guidelines (2016) for  
PAD diagnosis.

52

### 53 **Keywords**

54 Peripheral artery disease; Ankle-brachial index; Post-exercise ankle-brachial index; Toe-brachial index;  
55 Residents; Exercise.

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

## ACCEPTED MANUSCRIPT

75 **1. Introduction**

76 Lower extremity peripheral artery disease (PAD) is a highly prevalent atherosclerotic condition  
 77 that affects approximately 202 million individuals worldwide.[1] Early diagnosis of PAD is essential as it  
 78 is associated with considerable morbidity that includes impaired functional capacity, frailty, poor quality  
 79 of life, as well as high medical care costs.[2] The prevalence of PAD is expected to increase due to the  
 80 aging population, increasing prevalence of diabetes, and rise in obesity.(3–5)

81 Different non- invasive complementary tests using pressure measurements are recommended to  
 82 diagnose PAD. [6–8]

83 According to intersociety consensus guidelines, PAD can be diagnosed using segmental blood  
 84 pressure measurements by obtaining a resting ankle-brachial index (ABI).[8] An ABI<0.90 is considered  
 85 abnormal and predictive of PAD.[8] Unfortunately, there are clinical conditions (i.e., diabetes, renal  
 86 insufficiency, and advanced age) when the resting-ABI measurement can be falsely within the normal  
 87 range.[8] In these cases, the American Heart Association (AHA) recommends the use of post-exercise  
 88 ABI or the toe-brachial index (TBI).[8] In addition, patients with exertional non-joint-related leg  
 89 symptoms and with a normal or borderline resting ABI (>0.90 and ≤1.40) should undergo exercise  
 90 treadmill ABI testing to evaluate for PAD. [8] Diagnostic criteria for PAD is a post exercise pressure  
 91 decrease of >30mm Hg or a post exercise ABI decrease of >20% from the resting values.[9–11] A TBI  
 92 value ≤0.70 is often used as the threshold value to diagnose the presence of PAD.[8]

93 All of these pressure measurements (ABI at rest, Post-exercise ABI and TBI) are key elements  
 94 in the clinical practice of vascular medicine for identifying PAD patients. Therefore, the method for  
 95 measuring, calculating and interpreting ABIs have been standardized and published in 2012 by the  
 96 American Heart Association (AHA).[12]

97 Yet, several studies have highlighted the lack of theoretical and practical training in measuring ABI at  
 98 rest among students in medicine, residents, cardiology residents and young general physicians or  
 99 surgeons .(13–16) In France, a vascular medicine physician must complete a two-year residency in

ACCEPTED MANUSCRIPT

100 vascular medicine at a university hospital, in addition to completing a general medicine training period  
101 that lasts a minimum of eight years (general practitioner). There is a paucity of studies evaluating  
102 whether vascular medicine residents in France are aware of all the different types of pressure  
103 measurements and how to calculate and interpret them to diagnose individuals with PAD.  
104 Therefore, our study sought to assess the theoretical knowledge on whether a sample of vascular  
105 medicine residents in France could correctly measure and calculate the resting ABI, Post-exercise ABI  
106 and the TBI.

## 107 **2. Materials and methods**

108 This study was conducted according to the French Health Research Authority guidance. All vascular  
109 medicine residents who volunteered to participate were present at an annual obligatory vascular  
110 medicine seminar from four French medical schools (Rennes, Brest, Nantes, Angers). All vascular  
111 medicine residents completed a French multiple-choice questionnaire (Figure I,II) (translated to English  
112 for this manuscript), specifically developed to evaluate each residents prior experience and knowledge  
113 about the three main noninvasive tools for PAD screening (Resting-ABI, Post-exercise ABI and TBI;  
114 Figure I; inspired on the Wyatt questionnaire).[15]

115 The multiple-choice questionnaire (18 questions) was divided into three distinct sections: i) Resting-ABI  
116 procedure (Figure I); ii) Post-exercise ABI procedure (Figure II); and iii) TBI procedure (Figure II). Each  
117 section included questions designed to assess whether the four fundamental tasks of each procedure:  
118 indication, measurement, calculation and interpretation were assimilated by each vascular medicine  
119 residents. (Figure I, II)

120 Statistical analysis: A proportion comparison test, the Fisher Exact Probability Test (MedCalc 12.6.1.0  
121 Software) was used to compare the number of vascular medicine residents knowing each task  
122 according to the procedure. A two-tailed p value <0.05 was considered as statistically significant.

## 123 **3. Results**

## ACCEPTED MANUSCRIPT

124 All nineteen vascular medicine residents participated in this study. Eleven first-year (i.e. six months after  
 125 beginning their vascular training) residents and eight second-year residents (i.e. eighteen months after  
 126 beginning their vascular training) completed the evaluation. A minority of participants (37%, 7 of 19)  
 127 reported previous experiential learning in ABI procedure during their medical school training (Figure II).  
 128 The number of measurements performed by the vascular medicine residents are shown in the Figure III.  
 129 Four participants (21%) have never performed a Post-exercise ABI and nine participants (47%) have  
 130 never performed a TBI.

131 The number of residents who have performed more than twenty measurements is higher regarding ABI  
 132 at rest than Post-exercise ABI and TBI (84%, 5%, 37% respectively;  $p < 0.001$  and  $p = 0.006$  respectively)  
 133 and significantly less often in Post-exercise ABI than TBI (5% versus 37%;  $p = 0.04$ ).  
 134 Figure IV, V, VI presented the flow of the residents that gave cumulative right answers throughout each  
 135 section of the multiple-choice questionnaire, and figure VII presented the numbers of right answers for  
 136 each question of the 3 questionnaires.

137 Four (21%) vascular residents reported knowing the current American Heart Association (AHA)  
 138 guidelines concerning ABI procedure.

139 Two residents (11%) had the knowledge to perform the whole ABI at rest procedure whereas no  
 140 resident has the knowledge to perform neither the Post-exercise ABI ( $p = 0.48$ ) nor the TBI ( $p = 0.48$ ).  
 141 (Figure IV, V, VI)

142 Twelve (63%) residents correctly completed the question regarding the interpretation of ABI at rest,  
 143 while two (11%) correctly completed the Post-exercise ABI (in comparison with interpretation of ABI at  
 144 rest,  $p = 0.001$ ) and four the TBI (21%) (in comparison with interpretation of ABI at rest,  $p = 0.02$ ). There  
 145 was no significant difference concerning result interpretation between Post-exercise and TBI ( $p = 0.65$ ).  
 146 No (0%) resident correctly completed the question about indications for the TBI.

147 **4. Discussion**



ACCEPTED MANUSCRIPT

148 The importance of pressures measurement has been strongly highlighted as the first step for  
149 diagnosing individuals with PAD in the recently updated PAD guidelines released by AHA in November  
150 2016.[8] This study demonstrates that the theoretical procedure of knowing how to measure and  
151 interpret all the three main non-invasive tools used for diagnosing PAD is limited among French  
152 vascular medicine residents from four medical schools. Furthermore, this study underscores our clinical  
153 impression that a significant lack of knowledge exists among French vascular medicine residents from  
154 these four medical schools regarding not only the ABI procedure, but also the TBI and ABI Post-  
155 exercise procedures.[14,17]

156 Our study is similar to those found previously in France and in different countries, where the  
157 knowledge of measuring and interpreting the ABI at rest among residents in vascular medicine is poor.  
158 [13–16] One of the reasons may be the style of teaching as some authors have highlighted that the  
159 current academic training method may not have enough experiential ("hands-on") learning. This may  
160 have contributed to a poor level of competency with regard to the ABI procedure among residents.[13–  
161 16] ABI measurement teaching generally takes the form of lectures and in very few cases practical  
162 training.[18] However, it has been suggested that practical teaching would improve this competency.[19]  
163 Another reason may be the lack of coaching of this ABI measurement training. Residents are often left  
164 to themselves without real feedback of the senior vascular physician. A lack of reading can also be  
165 suggested since only four residents (21%) were aware of the AHA recommendations.[8]

166 This study also demonstrated that the Post-exercise and TBI procedures were similarly  
167 problematic or even more poorly understood among the vascular medicine residents than the  
168 measurement and interpretation of the resting ABI. Our result showed that none of the residents  
169 correctly answered all the questions concerning the fundamental knowledge needed to perform these  
170 two procedures and a majority were not aware of the indication for when to use these clinical tools.  
171 Moreover, our results were not restricted to residents only at one medical school, but were more  
172 generalized throughout the four different medical schools. The lack of didactic and/or experiential

## ACCEPTED MANUSCRIPT

173 learning, especially of the TBI and Post-exercise ABI, could be explained in part, by the lack of  
174 abundant high-level evidence based literature. The thresholds for Post-exercise ABI and TBI are  
175 discussed.[20] For Post-exercise ABI, two diagnostic thresholds are recommended by the AHA, but a  
176 recent study shows that these two criteria are discordant in 20% of the patients evaluated.[20] For TBI,  
177 studies have shown that normal threshold have demonstrated wide ranges from 0.49 and 0.74.[21]  
178 Currently, a TBI cutoff < 0.70 is suggested as diagnostic for PAD.[21]

179 There is a lack of studies about teaching methods. According to the literature, we suggest bedside  
180 teaching instead of theoretical teaching in order to enable students to know the technical aspects of the  
181 different procedures. The results of our systematic review about ABI teaching methods have suggested  
182 that bedside teaching should be performed. However, literature is sparse and no randomized controlled  
183 trial has been already performed neither for ABI nor for TBI and Post-exercise teaching.[19] A  
184 randomized controlled trial among French medical students to determine the best learning intervention  
185 to become proficient in ABI procedure is ongoing. Concerning the TBI and the post-exercise ABI  
186 procedures, to our knowledge no study has been yet conducted to determine how to improve current  
187 modalities of teaching. We suggest to know first basis about ABI at rest and then to learn the technical  
188 aspects of TBI and post-exercise ABI. The interest of online video demonstrating the different  
189 procedures should be addressed.

190 Limitations: This study had several limitations. First, we assessed the vascular medicine residents'  
191 knowledge through a multiple-choice questionnaire without assessing "hands-on" measurements and  
192 interpretation with real practice on an individual. However, it seems accurate to say that a resident who  
193 says taking the pressure with an automatic pressure monitor will take the pressures in real practice with  
194 this automatic monitor. Second, for the post-exercise ABI procedure, we have considered as a correct  
195 answer "to perform the procedure with at least two examiners". Indeed, the AHA recommends  
196 measuring post-exercise ABI on both ankles with hand help Doppler.[22] In that case, it is impossible to  
197 measure the post-exercise ABI with only one operator since measurement should be performed as

## ACCEPTED MANUSCRIPT

198 quickly as possible.[23] If there is only one examiner, the solution may be to assess arm pressure with  
199 an automatic blood pressure monitor and measure the ankle pressure with a hand held continuous  
200 Doppler. Gardner and Montgomery have shown at rest, that brachial systolic blood pressure was not  
201 significantly different ( $p=0.954$ ) among the Doppler ( $128.5 \pm 18.4$  mmHg), auscultatory ( $128.4 \pm 17.4$   
202 mmHg), and oscillometric ( $128.2 \pm 17.1$  mmHg) methods.[24] However, this should be assessed in a  
203 dedicated study to assess this procedure for post-exercise ABI. Third, the number of residents assessed  
204 in this study is limited, but represents all the vascular residents trained in four different medical schools  
205 with different vascular teachers. Therefore, these results cannot be generalizable to all training  
206 institutions in France and reflects only the residents at these four institutions.  
207 Fourth, we couldn't compare answer between first and second year residents because the two groups  
208 were too small to show a difference statistically significant. Fifth, we didn't use validated questionnaires  
209 to assess the level of knowledge of the residents. Indeed, it is possible that there isn't a good correlation  
210 between the residents' result in each questionnaire, and the capacity to perform the three pressures  
211 measurement tests correctly or to perform a test better than another.

## 212 5. Conclusion

213 We found a remarkably poor level of competency with regard to the three main PAD screening non-  
214 invasive complementary tools among vascular medicine residents from four French medical schools.  
215 Our studies may suggest the need of an evaluation of the vascular residents' knowledge in other French  
216 medical schools. At a minimum, residents should have didactic and experiential learning under the  
217 supervision of a qualified and experienced health vascular specialist; and that residents should be  
218 proficient in performing the technique as determined by quality control measures. Futures randomized  
219 studies should be completed to determine the optimal learning and evaluation of these three  
220 procedures.

## 221 Acknowledgment

222 S. Chaudru has received a grant from the region "Bretagne" (Bourse ARED).

ACCEPTED MANUSCRIPT

223 **Conflict of interest**

224 The authors declare no conflict of interest.

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

- 284 [15] Wyatt MF, Stickrath C, Shah A, Smart A, Hunt J, Casserly IP. Ankle-brachial index  
285 performance among internal medicine residents. *Vasc Med* 2010;15:99–105.  
286 doi:10.1177/1358863X09356015.
- 287 [16] Monti M, Calanca L, Alatri A, Mazzolai L. Accuracy of in-patients ankle-brachial index  
288 measurement by medical students. *VASA Z Gefasskrankheiten* 2016;45:43–8.  
289 doi:10.1024/0301-1526/a000494.
- 290 [17] Chaudru S, de Müllenheim P-Y, Le Faucheur A, Jaquinandi V, Kaladji A, Mahe G.  
291 Knowledge about ankle-brachial index procedure among residents: being experienced  
292 is beneficial but is not enough. *Vasa* 2016;45:37–41.
- 293 [18] Mahé G. Mesure de l'index de pression systolique de cheville : mode d'enseignement  
294 en deuxième et troisième cycles en France et revue de la littérature. *J Mal Vasc*  
295 2015;40:165–72. doi:10.1016/j.jmv.2015.03.001.
- 296 [19] Chaudru S, de Müllenheim P-Y, Le Faucheur A, Kaladji A, Jaquinandi V, Mahé G. Training  
297 to Perform Ankle-Brachial Index: Systematic Review and Perspectives to Improve  
298 Teaching and Learning. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2016;51:240–7.  
299 doi:10.1016/j.ejvs.2015.09.005.
- 300 [20] Mahe G, Pollak AW, Liedl DA, Cohoon KP, Mc Carter C, Rooke TW, et al. Discordant  
301 Diagnosis of Lower Extremity Peripheral Artery Disease Using American Heart  
302 Association Postexercise Guidelines: *Medicine (Baltimore)* 2015;94:e1277.  
303 doi:10.1097/MD.0000000000001277.
- 304 [21] Høyer C, Sandermann J, Petersen LJ. The toe-brachial index in the diagnosis of  
305 peripheral arterial disease. *J Vasc Surg* 2013;58:231–8. doi:10.1016/j.jvs.2013.03.044.
- 306 [22] Aboyans V, Criqui MH, Abraham P, Allison MA, Creager MA, Diehm C, et al.  
307 Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: a scientific statement  
308 from the American Heart Association. *Circulation* 2012;126:2890–909.  
309 doi:10.1161/CIR.0b013e318276fbcf.
- 310 [23] Laing SP, Greenhalgh RM. Standard exercise test to assess peripheral arterial disease.  
311 *Br Med J* 1980;280:13–6.
- 312 [24] Gardner AW, Montgomery PS. Comparison of three blood pressure methods used for  
313 determining ankle/brachial index in patients with intermittent claudication. *Angiology*  
314 1998;49:723–8. doi:10.1177/000331979804901003.

ACCEPTED MANUSCRIPT

- 322 Figure I. Questionnaire about the knowledge on pressures measurement for ABI at rest
- 323 Figure II. Questionnaire about the knowledge on pressures measurement for Post-exercise ABI and TBI
- 324 Figure III. Number of measurements performed by vascular medicine residents
- 325 Figure IV. Flow of the residents that gave cumulative right answers throughout the entire questionnaire
- 326 on ABI at rest
- 327 Figure V. Flow of the residents that gave cumulative right answers throughout the entire questionnaire
- 328 on Post-exercise ABI
- 329 Figure VI. Flow of the residents that gave cumulative right answers throughout the entire questionnaire
- 330 on TBI
- 331 Figure VII. Numbers of right answers for each question of the 3 questionnaires

## Ankle-brachial index at rest

**Corrects answers are written in bold and highlighted.**

1) To measure blood pressure, indicate the equipment which you would use. (please tick) **(equipment for limb pressures measurement)**

- ☐ Automatic blood pressure monitor (ex: Dynamap) for brachial and ankle blood pressures.
- ☐ Automatic blood pressure monitor for brachial, and hand-held Doppler for ankle blood pressure.
- ☒ **Hand-held Doppler for ankle and brachial blood pressures.**
- ☐ I don't know.

2) To calculate ABI, you use: (please tick) **(rationale for arm pressures measurement)**

- ☒ **The highest of the two brachial pressures.**
- ☐ The lowest of the two brachial pressures.
- ☐ The average of the two brachial pressures.
- ☐ Only one brachial pressure.
- ☐ I don't know.

3) To measure ABI, you assess in each foot/ankle: (please tick) **(number of measurements for ankle pressures)**

- ☐ Three ankle pressures.
- ☒ **Two ankle pressures.**
- ☐ Only one ankle pressure.
- ☐ I don't know.

4) You decide to perform an ABI measurement. The blood pressure measurements and ABIs are shown below. Which ABI do you use to define the patient diagnosis? (please tick) **(ABI calculation)**

| Arteries         | Systolic blood pressure (mmHg) | ABI  |
|------------------|--------------------------------|------|
| Dorsal pedis     | 100                            | 1.00 |
| Posterior tibial | 75                             | 0.75 |
| Fibular          | 80                             | 0.80 |

- ☐ Average of the three ABIs.
- ☐ Average of the two ABIs.
- ☐ Lowest ABI.
- ☒ **Highest ABI.**
- ☐ I don't know.

5) Match the ankle-brachial index (ABI) value in the left column with the correct diagnosis listed in the right column. Each diagnosis selection may be used more than once.

- ☐ ABI=1.50 ..... A. Normal.
- ☐ ABI=1.20 ..... B. Mild to moderate peripheral artery disease.
- ☐ ABI=1.00 ..... C. Severe peripheral artery disease.
- ☐ ABI=0.80 ..... D. Non-compressible arteries.
- ☐ ABI=0.60 .....
- ☐ ABI=0.30 .....

**Correct answer : DAABBC**

6) How many times do you have performed ABI at rest ?

- ☐ None.
- ☐ One time.
- ☐ Between 2 to 20.
- ☐ More than 20.

## ACCEPTED MANUSCRIPT

## Post-exercise ankle-brachial index

*Corrects answers are written in bold and highlighted.*

- 1) To measure Post-exercise ABI, indicate the equipment which you would use (please tick) (***equipment for limb pressures measurement***)
  - ☐ Automatic blood pressure monitor
  - ☐ **Continuous hand-held Doppler**
  - ☐ Pulsed Doppler
- 2) Do you measure arm pressures after exercise ? (***rationale for arm pressures measurement***)
  - ☐ No, I use arm pressure at rest.
  - ☐ Yes, I assess the two brachial pressures before ankle pressures.
  - ☐ Yes, I assess the two brachial pressures after ankle pressures.
  - ☐ **Yes, I assess simultaneously arm and ankle pressures, because we are many examiners.**
- 3) To measure ABI, you assess in each foot/ankle: (please tick) (***choice of the ankle artery to use***)
  - ☐ Almost systematically posterior tibial artery pressure.
  - ☐ Almost systematically posterior dorsal pedis artery pressure.
  - ☐ Two ankle pressures systematically.
  - ☐ **I begin by the artery with the highest pressure at rest.**
- 4) If a patient has an ABI at rest lower than or equal to 0,90, does a post-exercise ABI must be performed ? (***Post-exercise ABI indication***)
  - ☐ Yes
  - ☐ **No**
- 5) Which criteria is used to say that a patient is affected by a PAD ( multiple answers question) (***Post-exercise ABI interpretation***)
  - ☐ A Post-exercise ABI lower or equal to 0,90.
  - ☐ **A fall of Post-exercise ABI higher than 20 %.**
  - ☐ **A fall of ankle pressure higher than 30 mmHg.**
  - ☐ Post-exercise ABI lower than 0,50.
- 6) How many times do you have performed post-exercise ABI ?
  - ☐ None.
  - ☐ One time.
  - ☐ Between 2 to 20.
  - ☐ More than 20.

## Toe-brachial index

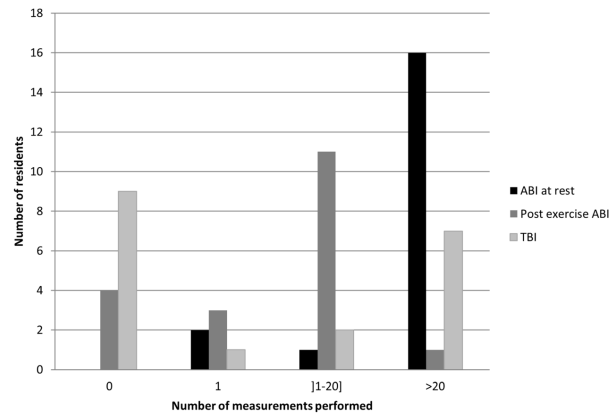
*Corrects answers are written in bold and highlighted.*

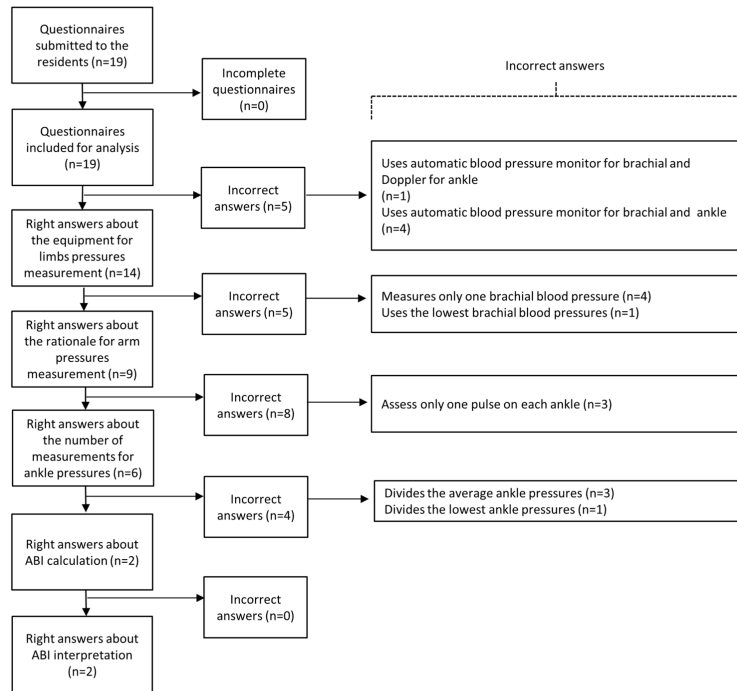
- 1) To measure big toe pressures, indicate the equipment which you would use (please tick) (***equipment for big toe pressures measurement***)
  - ☐ **Laser Doppler**
  - ☐ **Photoplethysmography**
  - ☐ Continuous hand-help Doppler
  - ☐ Pulsed Doppler
- 2) Does cutaneous skin temperature have a major role in TBI measurement ? (***relevance of cutaneous temperature measurement***)
  - ☐ **Yes**
  - ☐ No
- 3) When a TBI must be performed ? (***TBI indication***)
  - ☐ If the ankle ABI at rest > 0,90 and the patient suspected of PAD.
  - ☐ **If the ankle ABI at rest > 1,40.**
  - ☐ On diabetic patients regardless their ABI at rest.
  - ☐ ABI at rest >1,30.
- 5) Which criteria is used to say that a patient is affected by a PAD ( multiple answers question) (***TBI interpretation***)
  - ☐ TBI lower or equal to 0,90.
  - ☐ **TBI lower to 0,70.**
  - ☐ TBI lower to 0,30.
  - ☐ Other, precise ...
- 6) How many times do you have performed TBI ?
  - ☐ None.
  - ☐ One time.
  - ☐ Between 2 to 20.
  - ☐ More than 20.

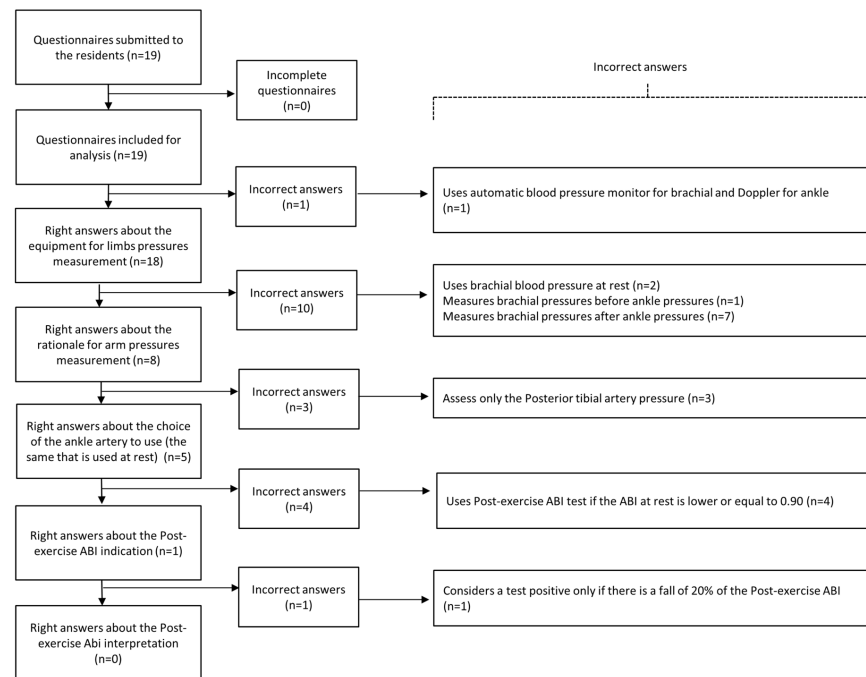
## Previous learning

- 1) Do you have a previous experiential learning in pressures measurement procedure (ABI at rest or Post-exercise ABI or TBI) during your medical school ?
  - ☐ Yes
  - ☐ No

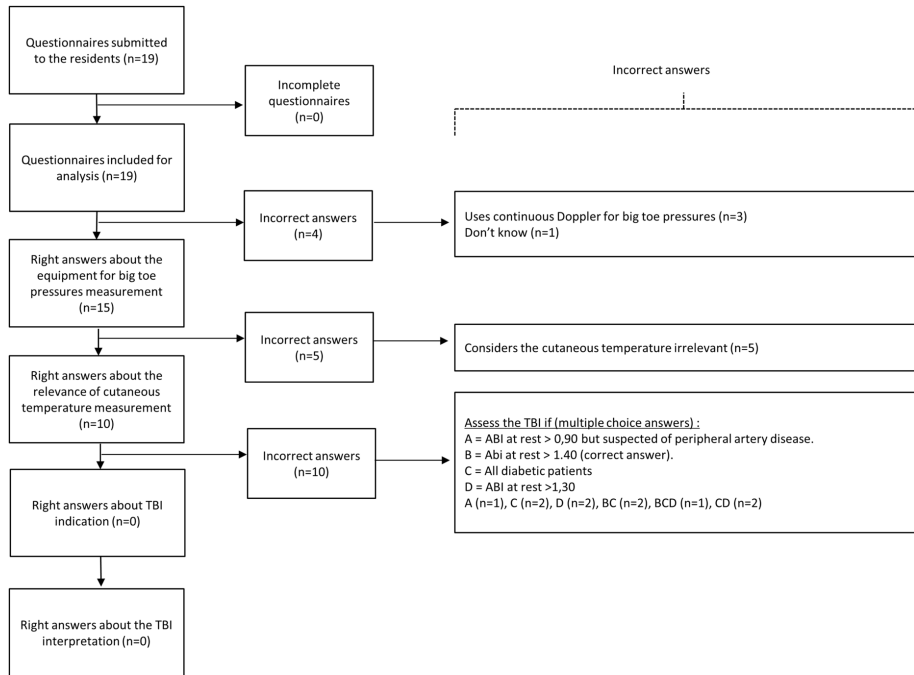


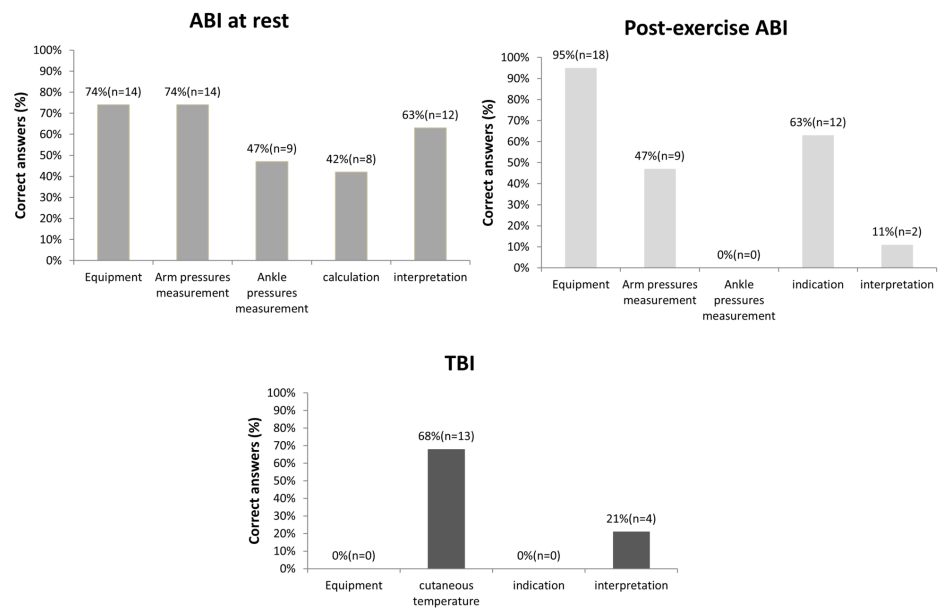






ACCEPTED MANUSCRIPT





Ces trois études ont permis de mettre en exergue le manque de connaissances théoriques à la fois des internes et des capacitaires en France concernant la ou les procédures (mesure, calcul et interprétation) diagnostiques de l'AOMI. Elles suggèrent la nécessité d'une réforme des méthodes d'enseignement de ces trois méthodes diagnostiques afin d'optimiser leur apprentissage par les étudiants. Nous nous sommes alors interrogés sur le contenu (sur le fond et la forme) que devrait avoir un enseignement optimal.

## **2.4 Les effets des interventions pédagogiques sur l'apprentissage de l'IPS de repos**

Face aux lacunes des étudiants vis-à-vis de la procédure d'IPS de repos nous avons souhaité identifier les données de la littérature existantes évaluant l'impact des interventions pédagogiques sur l'acquisition de compétence vis-à-vis de cette mesure diagnostique. À ce titre, nous avons réalisé une revue systématique de la littérature dans PubMed®, Embase® et Web of Science®. Bien que plus de 4000 publications sur PubMed® concernent l'IPS de repos, jusqu'en 2015, seules cinq études avaient été menées pour juger l'efficacité d'une intervention éducationnelle. Toutes de niveau méthodologique faible (selon le GRADE system), les études menées concernaient toutes que peu de sujets et variaient sur le fond (contenu de l'enseignement, population formée) et la forme (durée et support d'intervention, critères de jugement). Néanmoins, quelle que soit la formation proposée il ressort de ces études une amélioration des performances à l'issue de celle-ci. Cette amélioration semble néanmoins toute relative. En effet, dans son étude, Wyatt met en évidence que 50 % des étudiants formés à l'IPS de repos reproduisent les mêmes erreurs que celles commises en amont de la formation bien que ces dernières aient été identifiées, expliquées et corrigées (WYATT ET AL. 2010). De la même manière, dans son étude, Georgakarakos souligne que vingt mesures d'IPS de repos semblent requises pour pallier aux erreurs diagnostiques (GEORGAKARAKOS ET AL. 2013). Au regard des études publiées, nous avons répertorié sept points clefs qui sembleraient important à prendre en considération afin d'optimiser le processus d'apprentissage. Ce travail a fait l'objet d'une [publication](#) et d'[audioslides](#) dans *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*.

## REVIEW

## Training to Perform Ankle-Brachial Index: Systematic Review and Perspectives to Improve Teaching and Learning

S. Chaudru <sup>a</sup>, P.-Y. de Müllenheim <sup>b</sup>, A. Le Faucheur <sup>a,b,c</sup>, A. Kaladji <sup>d</sup>, V. Jaquinandi <sup>e</sup>, G. Mahé <sup>a,f,\*</sup>

<sup>a</sup> INSERM, Centre d'Investigation Clinique CIC 1414, Rennes, France

<sup>b</sup> Movement, Sport and Health Laboratory, University of Rennes 2, Rennes, France

<sup>c</sup> Department of Sport Sciences and Physical Education, ENS Rennes, Bruz, France

<sup>d</sup> University of Rennes 1, Signal and Image Processing Laboratory, Rennes, France

<sup>e</sup> Cabinet d'Angiologie, Trélazé, France

<sup>f</sup> CHU Rennes, Imagerie Cœur-Vaisseaux, Rennes, France

### WHAT THIS PAPER ADDS

Ankle-brachial index (ABI) is widely used to diagnose peripheral artery disease. To date no review has been performed on medical education and ankle-brachial index teaching. This systematic review focuses on the impact of training programs on ABI performance by medical students, or doctors or primary care providers. Using different databases, it was found that only five studies have addressed the impact of such training programs. It is underlined that the literature is sparse, but without good teaching, a task cannot be performed well. High quality studies are required to define the best training program for ABI teaching and learning.

**Objective:** To conduct a systematic review focusing on the impact of training programs on ankle-brachial index (ABI) performance by medical students, doctors and primary care providers. Lower extremity peripheral artery disease (PAD) is a highly prevalent disease affecting ~202 million people worldwide. ABI is an essential component of medical education because of its ability to diagnose PAD, and as it is a powerful prognostic marker for overall and cardiovascular related mortality.

**Methods:** A systematic search was conducted (up to May 2015) using Medline, Embase, and Web of Science databases.

**Results:** Five studies have addressed the impact of a training program on ABI performance by either medical students, doctors or primary care providers. All were assigned a low GRADE system quality. The components of the training vary greatly either in substance (what was taught) or in form (duration of the training, and type of support which was used). No consistency was found in the outcome measures.

**Conclusion:** According to this systematic review, only few studies, with a low quality rating, have addressed which training program should be performed to provide the best way of teaching how to perform ABI. Future high quality researches are required to define objectively the best training program to facilitate ABI teaching and learning.

© 2015 European Society for Vascular Surgery. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Article history: Received 21 May 2015, Accepted 5 September 2015, Available online XXX

**Keywords:** Peripheral artery disease, Training program, Diagnosis, Curriculum, Vascular medicine

### INTRODUCTION

Ankle-brachial index (ABI) is the recommended method for diagnosis of lower extremity peripheral artery disease

(PAD), a highly prevalent disease affecting ~202 million people worldwide.<sup>1,2</sup> It is an objective test initially proposed by Winsor,<sup>3</sup> which has high specificity and sensitivity, provided that is performed by well-trained health professionals.<sup>4</sup> Besides its ability to diagnose PAD, ABI is of interest as it is a marker for overall and cardiovascular related mortality.<sup>2,5–7</sup>

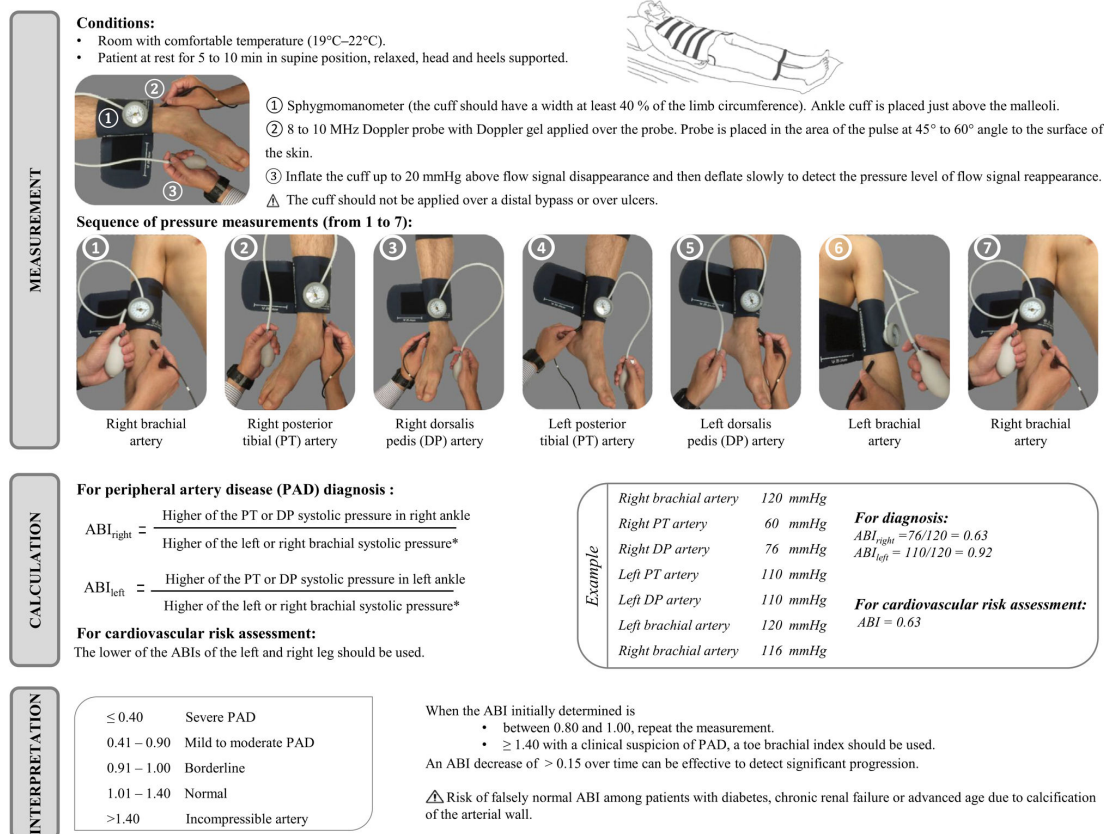
Although used as a medical procedure for more than 50 years, the method for measuring, calculating and interpreting the ABI was standardized and guidelines were published in 2012.<sup>2</sup> A summary of these guidelines is presented in Fig. 1.

\* Corresponding author. Pôle imagerie médicale et explorations fonctionnelles, Hôpital Pontchaillou, 2 rue Henri Le Guilloux, Rennes, F-35033, France.

E-mail address: [maheguillaume@yahoo.fr](mailto:maheguillaume@yahoo.fr) (G. Mahé).

1078-5884/© 2015 European Society for Vascular Surgery. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2015.09.005>



**Figure 1.** How to perform the ankle-brachial index (ABI) in clinical practice according to American Heart Association (AHA) recommendations. \*For the right arm, average the first and second measurements except if the difference exceeds 10 mmHg. In that case, the first measurement must be disregarded.

Despite its non-invasive nature and inexpensive cost, a significant proportion of individuals with PAD (over 44%) remain undiagnosed in clinical practice.<sup>8–10</sup> Different factors have been proposed to explain why ABI is underused. For instance, it is reported by some physicians that performing ABI is time consuming, whereas others find the equipment expensive.<sup>11,12</sup> A lack of knowledge and technical expertise can represent another barrier to use the ABI for diagnosing PAD and stratifying cardiovascular risk.<sup>13–15</sup>

Despite the importance of the ABI in medical care, only few studies have addressed which training program should be used to provide the best way of teaching how to perform ABI. The aim of the present study was to conduct a systematic review focusing on the impact of training programs on ABI performance by either medical students, or doctors or primary care providers.

## MATERIALS AND METHODS

The literature was systematically reviewed and synthesized according to the method below.

## Search strategy

An electronic search was performed using Medline, Embase, and Web of Science databases, (updated May 2015). The search was conducted by two independent investigators (SC and GM) using the following key terms: “Ankle Brachial Index,” “Arterial occlusive diseases/diagnosis,” “Vascular Diseases/diagnosis,” “Peripheral Arterial Disease/diagnosis,” “Educational measurement,” “Teaching,” “Clinical competence,” “Training,” “Students medical,” “Internship,” “residency,” “undergraduate,” “residents,” “GPs,” and “general practitioners.”

This combination aimed to focus on articles dealing with the impact of training programs on improving ABI performance. No filter was used.

## Selection criteria

Two investigators (SC and GM) read the titles and abstracts of the articles yielded by the computer assisted search to select articles for full text reading. An article was considered suitable for full text reading if the abstract focused on the



## ARTICLE IN PRESS

4

S. Chaudru et al.

**Table 1.** Study design, participants' characteristics, and intervention components of each study.

|                                                                                                                          |                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wyatt et al., 2010 <sup>15</sup><br>(USA)<br>Non-randomized longitudinal cohort study<br>Low quality rate                | Total $n = 24$<br>Internal medicine residents:<br><br>- 13 first-year residents<br>- 8 second-year residents<br>- 3 third-year residents | Training program combining:<br><br>- direct feedback to participants on their individual errors and on the most common errors of the group;<br>- presentation of an internet video that included demonstration of an ABI measurement performed by an experienced vascular specialist and instructions regarding ABI calculation and interpretation<br><br>No information about duration of the training                                                                                                                                                                                                   |
| Georgakarakos et al., 2013 <sup>17</sup><br>(Greece)<br>Non-randomized longitudinal cohort study<br>Low quality rate     | Total $n = 5$<br>Fourth-year students                                                                                                    | 26-hour training program combining:<br><br>- 13 hours of theoretical lessons<br>- 13 hours of clinical practice<br><br>Twice per week, for 2 consecutive weeks, students received basic training course and demonstration of ABI procedure (proper application of the Doppler apparatus, choice of the appropriate size of sphygmomanometer cuff and technical tips such as gradual inflating and deflating the cuff while detecting the audible Doppler signal) given by an experienced vascular surgeon                                                                                                 |
| Willigendael et al., 2005 <sup>19</sup><br>(Netherlands)<br>Non-randomized longitudinal cohort study<br>Low quality rate | Total $n = 53$<br>General practitioners (GP)                                                                                             | 4-hour training program combining:<br><br>- plenary introduction on PAD<br>- theoretical introduction and training in i) performing ABI, ii) PAD diagnosis, iii) treatment and vascular risk factor management given by a vascular surgeon and a GP<br><br>All participants received the course book and a CD with ABI instructions on video                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Coe et al., 2014 <sup>18</sup><br>(USA)<br>Non-randomized longitudinal cohort study<br>Low quality rate                  | Total $n = 1$<br>Primary care provider                                                                                                   | 4-week training program:<br>1st week: observe a vascular technologist in the offices of a cardiologist, a vascular surgeon or at the hospital laboratory<br>2nd week: perform ABI procedure and interpret results to become proficient in the technique<br>3th week: shadow vascular surgeon who was performing PAD examination to become proficient in listening to the wave sounds<br>4th week: perform vascular assessment and ABI with interpretation that are evaluated by nurse practitioners or physicians on proficiency of performing and interpreting ABIs before performing them independently |

Please cite this article in press as: Chaudru S, et al., Training to Perform Ankle-Brachial Index: Systematic Review and Perspectives to Improve Teaching and Learning, European Journal of Vascular and Endovascular Surgery (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2015.09.005>

## ARTICLE IN PRESS

Training to Perform Ankle-Brachial Index

5

Ray et al., 1994<sup>20</sup>  
(Great Britain)  
Two arms, non-randomized  
longitudinal cohort study  
Low quality rate

Total  $n = 4$   
Junior doctors

Training program:  
Experiment 1: an expert showed the doctors  
once how to perform Doppler ultrasonographic  
systolic arterial blood pressure measurements  
Experiment 2: over 40 minutes an expert  
instructed doctors in the use of Doppler  
flowmeters and in the measurement of ankle  
systolic blood pressures. The doctors then  
practiced ABI under expert supervision which  
informed the doctor of any flaws

ABI = ankle-brachial index; PAD = peripheral artery disease; GP = general practitioner; CD = compact disc.

another lasted 4 weeks without any detail about the  
duration per week.<sup>18</sup>

insist only on didactic learning without any reference  
demonstrating that the literature is poor on this topic.<sup>2</sup>

### Outcome measures

Table 2 summarizes the outcome measures and the main findings of each study. Outcome measures took a variety of forms. Four studies<sup>17–20</sup> evaluated general competence outcomes (ability to correctly measure ABI) and one<sup>15</sup> evaluated task-specific competence outcomes (ability to perform each task of the ABI procedure: measurement, calculation, interpretation). In two studies, trainees' competency was assessed objectively through comparisons of ABI values obtained in PAD patients between trainees and trainers.<sup>17,20</sup> In two other studies, competency was assessed through comparisons between ABI values obtained in primary care practice and a vascular laboratory.<sup>18,19</sup> In other cases, trainees' competency was assessed through observation of ABI performance in healthy subjects and completion of a scoring sheet awarding marks for correct completion of the critical elements in ABI measurement.<sup>15</sup>

### Main findings

Wyatt et al. (2010) reported that at baseline 4% of residents correctly measured the ankle and brachial pressures, 10% correctly calculated the ABI, and 45% correctly interpreted the ABI.<sup>15</sup> Following the training program, 50% of these residents correctly measured the ankle and brachial pressures, 75% correctly calculated the ABI, and 88% correctly interpreted the ABI.

Willigendael et al. (2005) reported that, following the training program, the number of patients referred with PAD to a vascular outpatient clinic with a correct ABI measurement performed prior to referral, increased almost sixfold.<sup>19</sup>

### DISCUSSION

This is the first systematic review assessing the impact of a training program on ABI performance. One interesting result that emerged in the early stages of this systematic review was that only five studies have addressed the impact of a training program on ABI performance by either medical students, doctors or primary care providers, whereas there are more than 4000 papers about ABI in the PubMed database. This is surprising, because without good teaching, a task cannot be well-performed. Recent guidelines published in 2012 from the American Heart Association (AHA)

### Components of the training

This systematic review also highlights a lack of uniformity in the components of the training either in substance (what was taught) or in form (training duration, and type of support used). Yet, the choice of an adequate training program is essential for learning.

In 2015, a document entitled "COCATS (COre Cardiovascular Training Statement) 4 Task Force 9: Training in Vascular Medicine" was endorsed by the American Society for Vascular Medicine.<sup>21</sup> In this document, the ABI procedure is considered to be level I training. The authors emphasize that training for non-invasive vascular tests should include case presentations and formal lectures and at least 2 months of exposure to vascular medicine services. They indicate that training may occur either in a dedicated rotation or throughout the cardiovascular clinical training period in which trainees should encounter and receive instruction in the bedside evaluation of patients with PAD. In this systematic review, only two studies used a bedside procedure.<sup>18,20</sup> Ray et al.<sup>20</sup> compared two different bedside procedures of teaching: a "role model" and a "direct supervision after formal initial training session." During "role model" teaching, trainees observe the procedure conducted by the trainers. During "direct supervision", the trainee who performs the procedure is observed by the trainer, who can coach and inform him of any flaws. Ray et al. showed that the latter bedside procedure offered better results in the learning process than the "role model" strategy.<sup>20</sup> In the guidelines, the COCATS 4 also highlights that feedback should be an essential part of the teaching and learning process.<sup>21</sup> Feedback offers a time for exchanges and explanations between trainers and trainees. It helps students to understand the subject being studied, gives them clear guidance on how to improve their learning, and encourages active reflective practices.<sup>22,23</sup> Moreover, feedback can improve a student's confidence, self-awareness, and enthusiasm for learning. Interestingly, only two of the studies included in this systematic review reported the use of feedback.<sup>17,20</sup>

### Outcome measures

This systematic review highlights the lack of uniformity regarding outcome measures to evaluate ABI performance.

Please cite this article in press as: Chaudru S, et al., Training to Perform Ankle-Brachial Index: Systematic Review and Perspectives to Improve Teaching and Learning, European Journal of Vascular and Endovascular Surgery (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2015.09.005>

**Table 2.** Summary of outcome measures and main findings of the studies.

| Study                                    | Outcome measures, follow up                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Main findings                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wyatt et al., 2010 <sup>15</sup>         | 1/ABI measurement: in a standardized environment, participants were given written instructions directing them to perform an ABI measurement on a healthy subject. Performance was observed and scored by a trained observer using a standardized template<br>2/ABI calculation: participants were instructed to select the appropriate numerator and denominator required to calculate the right and left ABI for a hypothetical patient<br>3/ABI interpretation: participants were given a worksheet listing six ABI values with the appropriate interpretation<br>Outcomes assessed at baseline and intervention endpoint | At baseline, 4% of residents correctly measured the ABI, 10% correctly calculated the ABI, and 45% correctly interpreted the ABI<br>Performance was unaffected by year of residency<br>Following the training program, 50% of residents correctly measured the ABI, 75% correctly calculated the ABI and 88% correctly interpreted the ABI<br>The mean score for the tasks of ABI measurement, calculation and interpretation between baseline and post education were $4.6 \pm 3$ and $13.9 \pm 1.6$ ( $p < .001$ ), $1 \pm 0.9$ and $2.3 \pm 1.2$ ( $p = .002$ ) and $4.9 \pm 1.6$ and $5.9 \pm 0.3$ ( $p = .008$ ), respectively |
| Georgakarakos et al., 2013 <sup>17</sup> | Comparison of ABI values between trainees and trainer in the 13 limbs of severe PAD, 11 limbs of mild to moderate PAD, and 4 normal limbs<br>Outcomes assessed at the intervention endpoint and days after days                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | At the intervention endpoint there was no difference in ABI values between trainees and trainer for subjects with mild to moderate PAD ( $0.70 \pm 0.22$ vs. $0.77 \pm 0.19$ , $p = .95$ ). In the 4 normal limbs, ABI was $1.37 \pm 0.12$ and $1.16 \pm 0.11$ as measured by the trainer and the trainees ( $p < .0001$ ). In subjects with severe PAD, trainees tended to overestimate ABI ( $0.32 \pm 0.23$ vs. $0.23 \pm 0.07$ , $p = .0002$ ).<br>After completion of 20 measurements, ABI measurements in subjects with severe PAD no longer differed between trainees and trainer                                            |
| Willigendael et al., 2005 <sup>19</sup>  | Comparison of ABI measurement and adequate diagnosis between GPs and a vascular laboratory specialist<br>Outcomes assessed at baseline and 6 months after completion of the training session                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | At baseline, 40% of GPs correctly measured ABI<br>Following the training program, the number of patients referred for PAD to a vascular outpatient clinic with a correct ABI measurement performed prior to referral increased almost sixfold                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Coe et al., 2014 <sup>18</sup>           | Comparison of adequate diagnosis between trainee and specialist of the hospital vascular laboratory<br>Outcomes assessed at baseline and at intervention endpoint                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | At baseline, 61% of the ABI tested positive<br>Following the training program, the skill and competence of the primary care provider increased. There was an increase in identification of positive ABIs from 61% to 71%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ray et al., 1994 <sup>20</sup>           | Comparison of ABI values between trainees and trainers in PAD patients<br>Outcomes assessed after completion of the training session and over a 6-week period after the intervention                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | The mean difference in ABI measurement between the trainees and the trainer in Experiment 1 was greater than that in Experiment 2<br>Nearly 30% of the trainees' ABI measurements in Experiment 1 differed from those of the trainer by more than 0.15, in comparison with only 15% of the measurements performed in Experiment 2<br>In Experiment 2, over the 6 weeks, the difference between values of the trainees and the trainers did not decrease even if trainers gave feedback                                                                                                                                              |

ABI = ankle-brachial index; PAD = peripheral artery disease; GP = general practitioner.

Only two of five studies used the same outcome measure, which was the difference between ABI measurement performed in primary care practice and in a vascular laboratory.<sup>18,19</sup> It was noted, however, that the second measurement performed in the vascular laboratory, which is the benchmark, was not performed immediately after the first measurement. Between these two measurements, it cannot be excluded that the disease state did not change either positively or negatively. There is also a day-to-day spontaneous variability in ABI measurements caused by, for

example, caffeine or tobacco.<sup>24</sup> Finally, Baker et al. have shown that in PAD patients, ABI must change by at least 0.15 before this can be considered as significant.<sup>25</sup> Unfortunately, results for ABI measurement variations were not presented in these studies and they did not assess subjects who were not considered as suspected PAD patients in primary care practice.

One study examined the effectiveness of teaching ABI on all the components of ABI performance, which include measurement, calculation and interpretation.<sup>15</sup> This

Please cite this article in press as: Chaudru S, et al., Training to Perform Ankle-Brachial Index: Systematic Review and Perspectives to Improve Teaching and Learning, European Journal of Vascular and Endovascular Surgery (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2015.09.005>



## ARTICLE IN PRESS

Training to Perform Ankle-Brachial Index

7

evaluation was performed through a questionnaire. Most of the common mistakes in the ABI procedure include errors in technical aspects of the measurement (such as locating ankle pulses, maintaining the position of the Doppler probe), but deviations from guidelines in calculation and interpretation are also commonplace, leading to misdiagnoses.<sup>13–15</sup> As mentioned by Wyatt et al. it seems important to evaluate each of the tasks that together make up ABI procedure (measurement, calculation, interpretation).<sup>15</sup> However, Wyatt et al. did not consider the reliability of their questionnaire and attributed the improvement of ABI performance only to the training program and not to a potential test-retest variability in questionnaire results.

### Main considerations for the teaching procedure

Whatever the components of the training, all selected studies noted an improvement after a training program. However, it appears that, in spite of a training program, mistakes regarding ABI guidelines were still present. Wyatt et al. showed that half of the residents repeated the initial errors they had performed at the beginning of the training, even after errors had been explained and corrected by the trainers.<sup>15</sup> This suggests that ABI training requires time. These results are in agreement with the findings of Georgakarakos et al., who highlighted that after a basic training course, trainees correctly measured ABI in patients with mild to moderate PAD but tended to overestimate ABI in patients with severe PAD.<sup>17</sup> They demonstrated that completion of 20 measurements in PAD patients was required to achieve sufficient competency to avoid misdiagnosing patients.

### Limitations

All studies in this systematic review were rated as “low” quality. This low quality level was mainly caused by no randomization procedure, non-blinding of outcome assessors, small sample sizes, and limited generalizability of the results (because most studies recruited participants from a single center and characteristics of the trainees varied greatly). However, this review emphasizes the paucity of the literature on this topic. ABI teaching remains a significant challenge and clear definition of sound training programs in medical school with appropriate standardized methodology is needed.

### Perspectives

A summary of suggestions to improve learning and teaching of ABI performance in students is presented in Table 3. Initial ABI training should include methodological requirements for accurate and reproducible ABI measurement, as well as the theoretical basis and limitations of the test. The training should be given by a vascular expert. Indeed, Lazarides et al. highlighted that learning is strongly influenced by the interest of the trainers.<sup>26</sup>

The initial training should be completed with practical measurement by students on healthy subjects to achieve competency, such as familiarization with the technical

**Table 3.** Summary of suggestions to improve learning and teaching of ABI performance in students.

Current suggestions to improve ABI performance in students based on the available literature

1. Training program should be supervised by an experienced vascular professional interested in the subject (Lazarides et al., 2006<sup>26</sup>)
2. Training program should begin with case representation and formal lectures. (Ray et al., 1994<sup>20</sup>)
3. Training program should include exposure to vascular medicine services where trainees should encounter and receive instructions (role model and/or direct supervision) in bedside evaluation of patients with PAD (e.g. normal patients, patients with a range of abnormal or low ABI, patients with incompressible vessels) (Creager et al., 2015<sup>21</sup>; Ray et al., 1994<sup>20</sup>)
4. Feedback to the trainees should be provided after each training program. (Creager et al., 2015<sup>21</sup>)
5. At least 20 bedside procedures should be completed by the trainee (Georgakarakos et al., 2013<sup>17</sup>)
6. Each of the tasks that together make up ABI procedure (measurement, calculation, interpretation) should be evaluated (Wyatt et al., 2010<sup>15</sup>)
7. A long-term follow up should be organized to determine whether improved ABI measurement is durable

ABI = Ankle-Brachial Index; PAD = Peripheral Artery Disease.

aspects of the measurement (location of the pulses, proper application of the Doppler probe while inflating the blood pressure cuff, detection of an audible Doppler signal). Nevertheless, the best way for students to improve competency is by performing bedside training in a vascular laboratory, where they should: (i) be exposed to an environment with a sufficient number of vascular cases, (ii) receive practical instruction regarding the ABI test, and (iii) practice ABI on patients.<sup>21</sup>

Training on simulators may be an alternative solution, offering the opportunity for students to perform ABI procedure through “virtual” patients or legs. Unfortunately, such a “virtual” device is not currently available.

### CONCLUSION

ABI has high specificity and sensitivity for PAD diagnosis provided that it is evaluated by well-trained health professionals.<sup>4</sup> There is evidence that training of medical students and doctors during their early residency is rather limited, leading to unreliable and false measurements.<sup>13–15,27</sup> Given its importance in the diagnosis of PAD and in the prediction of cardiovascular morbidity and mortality, inadequate medical education could lead to a misuse of the ABI in routine clinical practice. Only few studies have addressed which training program is the best to teach how

Please cite this article in press as: Chaudru S, et al., Training to Perform Ankle-Brachial Index: Systematic Review and Perspectives to Improve Teaching and Learning, European Journal of Vascular and Endovascular Surgery (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2015.09.005>

## ARTICLE IN PRESS

8

S. Chaudru et al.

to perform ABI, and the quality of each study was poor. Future high quality researches are required to define objectively the best training program to facilitate ABI teaching and learning.

## CONFLICT OF INTEREST

None.

## FUNDING

None.

## REFERENCES

- 1 Fowkes FGR, Rudan D, Rudan I, Aboyans V, Denenberg JO, McDermott MM, et al. Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: a systematic review and analysis. *Lancet* 2013;**382**(9901):1329–40.
- 2 Aboyans V, Criqui MH, Abraham P, Allison MA, Creager MA, Diehm C, et al. Measurement and interpretation of the ankle brachial index: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2012;**126**(24):2890–909.
- 3 Winsor T, Hyman C, Payne JH. Exercise and limb circulation in health and disease. *AMA Arch Surg* 1959;**78**(2):184–92.
- 4 Nicolai SPA, Kruidenier LM, Rouwet EV, Bartelink M-LEL, Prins MH, Teijink JAW. Ankle brachial index measurement in primary care: are we doing it right? *Br J Gen Pract* 2009;**59**(563):422–7.
- 5 Doobay AV, Anand SS. Sensitivity and specificity of the ankle brachial index to predict future cardiovascular outcomes: a systematic review. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2005;**25**(7):1463–9.
- 6 Heald CL, Fowkes FGR, Murray GD, Price JF. Ankle Brachial Index Collaboration. Risk of mortality and cardiovascular disease associated with the ankle brachial index: systematic review. *Atherosclerosis* 2006;**189**(1):61–9.
- 7 Fowkes FGR, Murray GD, Butcher I, Heald CL, Lee RJ, Chambless LE, et al. Ankle brachial index combined with Framingham risk score to predict cardiovascular events and mortality: a meta-analysis. *JAMA* 2008;**300**(2):197–208.
- 8 Hirsch AT, Criqui MH, Treat-Jacobson D, Regensteiner JG, Creager MA, Olin JW, et al. Peripheral arterial disease detection, awareness, and treatment in primary care. *JAMA* 2001;**286**(11):1317–24.
- 9 Belch JFF, Topol EJ, Agnelli G, Bertrand M, Califf RM, Clement DL, et al. Critical issues in peripheral arterial disease detection and management: a call to action. *Arch Intern Med* 2003;**163**(8):884–92.
- 10 Davies JH, Kenkre J, Williams E. Current utility of the ankle brachial index (ABI) in general practice: implications for its use in cardiovascular disease screening. *BMC Fam Pract* 2014;**15**(1):69.
- 11 Haigh KJ, Bingley J, Golledge J, Walker PJ. Barriers to screening and diagnosis of peripheral artery disease by general practitioners. *Vasc Med Lond Engl* 2013;**18**(6):325–30.
- 12 Meyer D, Bureau J-M, Vu Tri D. Ankle brachial index: motivations, training, and practices among 165 general practitioners in Île-de-France. *J Mal Vasc* 2014;**39**(1):18–25.
- 13 Chaudru S, de Mullenheim P-Y, Le Faucheur A, Jaquinandi V, Kaladji A, Mahé G. Knowledge about ankle brachial index procedure among residents: be experienced is beneficial but is not enough. *Vasa* 2016 (January).
- 14 Chaudru S, de Mullenheim P-Y, Le Faucheur A, Jaquinandi V, Mahé G. Ankle brachial index teaching: a call for an international action. *Int J Cardiol* 2015;**184**:489–91.
- 15 Wyatt MF, Stickrath C, Shah A, Smart A, Hunt J, Casserly IP. Ankle brachial index performance among internal medicine residents. *Vasc Med* 2010;**15**(2):99–105.
- 16 Balshem H, Helfand M, Schünemann HJ, Oxman AD, Kunz R, Brozek J, et al. GRADE guidelines: 3. Rating the quality of evidence. *J Clin Epidemiol* 2011;**64**(4):401–6.
- 17 Georgakarakos E, Papadaki E, Vamvakierou V, Lytras D, Tsiokani A, Tsolakaki O, et al. Training to measure ankle brachial index at the undergraduate level: can it be successful? *Int J Low Extrem Wounds* 2013;**12**(2):167–71.
- 18 Coe ER. Screening for peripheral arterial disease in a rural community health setting. *J Vasc Nurs* 2014;**32**(4):137–8.
- 19 Willigendael EM, Teijink JAW, Bartelink M-L, Langenberg M, Welten RJT, Büller HR, et al. Combined training of GPs and practice-assistants on peripheral arterial disease: positive effects after six months. *Fam Pract* 2005;**22**(5):520–2.
- 20 Ray SA, Srodon PD, Taylor RS, Dormandy JA. Reliability of ankle: brachial pressure index measurement by junior doctors. *Br J Surg* 1994;**81**(2):188–90.
- 21 Creager MA, Gornik HL, Gray BH, Hamburg NM, Iobst WF, Mohler ER, et al. COCATS 4 task force 9: training in vascular medicine. *J Am Coll Cardiol* 2015;**65**(17):1832–43.
- 22 Hattie J, Timperley H. The power of feedback. *Rev Educ Res* 2007;**77**(1):81–112.
- 23 Nesbitt A, Pitcher A, James L, Sturrock A, Griffin A. Written feedback on supervised learning events. *Clin Teach* 2014;**11**(4):279–83.
- 24 Chobanian AV, Bakris GL, Black HR, Cushman WC, Green LA, Izzo JL, et al. Seventh report of the Joint National Committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure. *Hypertension* 2003;**42**(6):1206–52.
- 25 Baker JD, Dix DE. Variability of Doppler ankle pressures with arterial occlusive disease: an evaluation of ankle index and brachial-ankle pressure gradient. *Surgery* 1981;**89**(1):134–7.
- 26 Lazarides MK, Georgiadis GS, Papas TT, Nikolopoulos ES, Vretzakis G, Simopoulos CE. The effect of different teaching methods on final year medical students' skills in examining arteries and veins. *Med Teach* 2006;**28**(5):486.
- 27 Mahé G. Ankle brachial index: methods of teaching in French medical schools and review of literature. *J Mal Vasc* 2015;**40**(3):165–72.

Devant l'absence d'étude qualitative comparant les connaissances acquises à propos de la procédure d'IPS de repos à travers différentes méthodes d'enseignement, nous avons souhaité mener une étude randomisée afin de déterminer quel enseignement permettrait un apprentissage optimal de cette procédure.

### **2.5 Comparaison de trois méthodes d'enseignement sur l'apprentissage de la procédure d'IPS de repos**

Nous avons réalisé une étude randomisée comparant les effets de trois méthodes d'enseignement en France sur l'apprentissage de la procédure d'IPS de repos auprès d'étudiants en médecine à savoir : i) enseignement théorique seul; ii) enseignement théorique associé à un enseignement pratique sur sujet sain; iii) enseignement théorique associé à un enseignement pratique sur sujet malade. Pour cette étude monocentrique nous avons inclus trente étudiants (externes et internes volontaires de la faculté de médecine de Rennes). Ces derniers assistaient tous à une formation théorique d'une heure à propos de l'IPS de repos, formation animée par un médecin vasculaire expérimenté dans cette mesure diagnostique. Durant cette formation, dans un premier temps ont été présentées (50 minutes environ) les recommandations actuelles concernant la procédure d'IPS de repos (*i.e.*, indication de la réalisation de la mesure, méthode de mesure et de calcul, interprétation clinique). Dans un second temps, a été projetée aux étudiants une vidéo de 10 minutes (réalisée par notre équipe), montrant un médecin vasculaire effectuant une mesure d'IPS de repos. Dans cette vidéo, l'expert pour la mesure de l'IPS de repos, explique pas à pas les différentes étapes de la mesure en insistant sur les points de vigilance et les aspects techniques de la mesure (*i.e.*, utilisation du stylo Doppler, localisation des artères, qualité du signal doppler, méthode de gonflage et dégonflage du brassard à tension, méthode de calcul et interprétation de l'IPS de repos). Suite à ce cours théorique chaque étudiant a été soumis à une évaluation dite évaluation initiale afin de juger s'il était ou non performant dans la mesure de l'IPS de repos. Le critère de performance choisi reposait sur la réalisation et le calcul d'un IPS de repos (gauche ou droit) chez un sujet sain et un sujet malade. Pour être considéré comme performant, l'étudiant devait réaliser les IPS de repos selon les recommandations en vigueur et la différence entre la valeur de l'IPS de repos calculé par l'étudiant et celle calculée par l'expert (mesure en aveugle juste après celle réalisée par l'étudiant) devait être  $\leq 0,15$ . Suite à cette première évaluation, les étudiants étaient randomisés en trois groupes comme indiqué ci-avant.

Ainsi dix étudiants ont été répartis dans le groupe « enseignement théorique seul ». Ces derniers ne bénéficiaient alors pas d'entraînement complémentaire. Les vingt autres étudiants bénéficiaient d'un entraînement pratique complémentaire soit sur des sujets sains (pour dix d'entre eux) soit sur des patients (pour les dix autres étudiants). Pour les étudiants faisant partie du groupe « entraînement pratique sur sujet sain », trois sessions d'entraînement d'une heure furent organisées en l'espace de trois semaines environ. À chaque session d'entraînement les étudiants venaient par deux et chacun réalisait une mesure complète d'IPS de repos (droit et gauche) sur l'autre membre du binôme. Systématiquement réalisées sous la supervision d'un médecin vasculaire, ces sessions d'entraînement étaient l'occasion pour les étudiants de recevoir des feedbacks personnalisés les alertant sur les erreurs réalisées et les accompagnant vers des stratégies permettant d'améliorer la technique de mesure. Pour les étudiants faisant partie du groupe « entraînement pratique sur sujet malade », chacun d'eux bénéficiait chaque semaine durant trois semaines d'une session individuelle d'entraînement de trente minutes sur un patient. L'étudiant pouvait alors s'entraîner sur un patient à mesurer un IPS de repos. De la même manière, chaque entraînement était réalisé sous la supervision d'un médecin vasculaire chargé de fournir des feedbacks personnalisés à chaque étudiant.

À l'issue des formations pratiques, à nouveau, chaque étudiant a été réévalué (évaluation finale) suivant les mêmes critères de jugement que lors de l'évaluation initiale. Cette étude randomisée permet de mettre en évidence cinq éléments : i) à l'évaluation initiale, après le cours théorique, aucun des étudiants n'est compétent; ii) à l'évaluation finale, dans le groupe entraînement théorique seul, le nombre d'étudiant compétent n'est pas amélioré significativement par rapport à l'évaluation initiale (0/10 vs 1/10); iii) à l'évaluation finale, dans les groupes entraînement enseignement théorique associé à entraînement pratique, le nombre d'étudiant compétent est significativement amélioré par rapport à l'évaluation initiale (0/20 vs 11/20;  $p < 0,05$ ); iv) à l'évaluation finale aucune différence significative n'est retrouvée concernant le nombre d'étudiants compétents entre le groupe « entraînement sur sujet sain » et « entraînement sur malade ». En somme, cette étude randomisée souligne qu'une formation théorique unique (même avec visionnage et explication de la procédure de l'IPS de repos par un médecin expert) n'est pas suffisante pour que les étudiants acquièrent les connaissances nécessaires à la mesure pratique de l'IPS de repos. Y associer un enseignement pratique (trois sessions de formation sur sujet sain ou sur un patient) permet d'améliorer significativement l'apprentissage et est logistiquement réalisable auprès des étudiants en deuxième cycle de médecine. Ce travail a fait l'objet d'une [publication](#) dans *Vascular Medicine*.





Original Article

VASCULAR  
MEDICINE

## How to become proficient in performance of the resting ankle–brachial index: Results of the first randomized controlled trial

Céline Donnou<sup>1</sup>, Ségolène Chaudru<sup>2</sup>, Olivier Stivalet<sup>1,3</sup>,  
Eunice Paul<sup>1,4</sup>, Marie Charasson<sup>1,4</sup>, Jean-Marc Selli<sup>1,5</sup>,  
Chadi Mauger<sup>1</sup>, Anthony Chapron<sup>2</sup>, Alexis Le Faucheur<sup>2,6,7</sup>,  
Vincent Jaquinandi<sup>1,2</sup> and Guillaume Mahé<sup>1,2</sup>

Vascular Medicine  
1–5  
© The Author(s) 2017  
Reprints and permissions:  
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav  
DOI: 10.1177/1358863X17740993  
journals.sagepub.com/home/vmj  
 SAGE

### Abstract

The resting ankle–brachial index (ABI) is a first-line test to diagnose peripheral artery disease (PAD). No randomized controlled trial (RCT) has yet been conducted to determine the best teaching method to become proficient in the ABI procedure. We conducted a monocentric RCT to determine whether didactic learning alone or didactic learning combined with experiential learning improved proficiency in the ABI procedure. Medical students ( $n = 30$ ) received didactic learning, including (i) a presentation of the ABI guidelines and (ii) a video demonstration. Each student was then randomized into two groups ('no experiential learning group' and 'experiential learning group'). An initial evaluation was performed after the didactic learning and a final evaluation at the end of the intervention. A student was considered to be proficient when he or she performed a correct ABI procedure on a healthy individual and a patient. The correct procedure corresponds to (i) following guidelines and (ii) a difference in ABI measurement between a vascular specialist and a student of  $\leq 0.15$ . No student was proficient at the initial evaluation. At the final evaluation, in the didactic learning group, the number of proficient students was not improved compared with the initial evaluation (0/10 vs 1/10). In the experiential learning group, the number of proficient students was significantly improved (0/20 vs 11/20;  $p < 0.05$ ). At the final evaluation, there was a significant difference between the number of proficient students depending on their learning group. In conclusion, didactic learning alone is insufficient to gain proficiency in the ABI procedure. Combining didactic learning with experiential learning significantly improved the students' proficiency.

### Keywords

ankle-brachial index (ABI), peripheral artery disease (PAD), randomized controlled trial (RCT), medical education, vascular medicine training, teaching, diagnosis

### Introduction

Peripheral artery disease (PAD) is a widespread disease affecting more than 200 million people worldwide.<sup>1</sup> The ankle–brachial index (ABI; ratio of the highest systolic blood pressure measured at the ankle to that measured at the brachial artery) at rest is the recommended test to diagnose PAD (i.e.  $ABI \leq 0.90$ ) and is a major inclusion criterion in PAD studies.<sup>2</sup> The American Heart Association (AHA) has proposed guidelines for the measurement and interpretation of the ABI, as well as the ABI learning procedure.<sup>3</sup> 'Didactic and experiential learning under the supervision of a qualified and experienced health professional' is proposed but the level of evidence remains low (Class I; Level of Evidence C) as no randomized controlled trial (RCT) has yet been conducted.<sup>4</sup> We conducted an RCT to determine whether didactic learning alone or didactic learning combined with

experiential learning would improve proficiency in the performance of the ABI among medical students.

<sup>1</sup>Vascular Medicine, Centre Hospitalier Universitaire de Rennes, Rennes, France

<sup>2</sup>Université de Rennes, Centre Hospitalier Universitaire de Rennes, INSERM, Centre d'Investigation Clinique 1414, Rennes, France

<sup>3</sup>Vascular Medicine, Hôpital de Saint-Malo, France

<sup>4</sup>Vascular Medicine, Hôpital de Dinan, France

<sup>5</sup>Vascular Medicine, Hôpital de Paimpol, France

<sup>6</sup>Movement, Sport and Health Laboratory, EA 1274, UFR STAPS, Université de Rennes 2, Rennes, France

<sup>7</sup>Department of Sport Sciences and Physical Education, Ecole normale supérieure de Rennes, Bruz, France

### Corresponding author:

Guillaume Mahé, Centre Hospitalier Universitaire de Rennes,  
2 rue Henri Le Guilloux, Rennes, F-35033, France.  
Email: maheguillaume@yahoo.fr



## Methods

### Study design

We conducted an RCT in France, which was approved by the ethics review board of our institution (no. 16.150). All included medical students signed an informed consent form, and healthy and patient cohorts were orally informed according to the approved study procedure.

**Student training.** For this study, 4th to 6th-year undergraduate medical students (18 women and 12 men), with no prior experience in the evaluation of ABI, received a specific 1-hour didactic course provided by an experienced vascular specialist, including (i) a presentation of the AHA guidelines (50 minutes)<sup>3</sup> and (ii) a video demonstration of the ABI procedure with a clear description of each step and emphasis on correct technique (10 minutes). In this video, a vascular specialist performs an ABI measurement on both lower extremities of a patient. The video was recorded to: (i) explain the utility of the measurement in clinical practice; (ii) describe the appropriate care of the Doppler ABI; (iii) demonstrate the location of the pulses on the arms and lower legs; (iv) listen to the quality of the pulse of arterial blood flow; (v) list the tips for effectively using the Doppler probe; (vi) calculate the ABI; and (vii) state the significance of the ABI result. Following this didactic course, the students were randomized into two groups, as illustrated in Figure 1: 'no experiential learning group' and 'experiential learning group'. This latter group was randomly divided into two groups: 'experiential learning on healthy individuals group' and 'experiential learning on patients group'.

The healthy cohort had no medical risk factors and normal ABIs, whereas the patient cohort consisted of consecutive patients admitted to the vascular unit of the university hospital of Rennes, France for an ultrasound exam. We excluded patients with recent below the knee lower extremity arterial bypass, the presence of open wounds, ulcers, or fistulae contraindicating cuff placement, or who were unable to provide oral informed consent.

For experiential learning on healthy individuals, students came three times in pairs for a 1-hour session during which students trained on one another. For experiential learning on patients, students came three times individually when a vascular ultrasound exam was programmed. For each experiential learning session, students performed an ABI measurement on both lower extremities (right and left lower extremities) of the volunteer under the vascular specialist's supervision (i.e. seven pressures were recorded: right brachial artery, right posterior tibial artery, right dorsalis pedis artery, left posterior tibial artery, left dorsalis pedis artery, left brachial artery and right brachial artery). The equipment provided to the student included adult medium and large sized blood pressure cuffs, an 8-MHz Doppler ultrasound probe, ultrasound gel, a stethoscope, and an automatic blood pressure monitor, as previously reported by Wyatt et al.<sup>5</sup> Students were then instructed to calculate and interpret the ABI, according to the AHA recommendations (i.e. the ABI of each leg should be calculated by dividing the higher of the posterior tibial artery or dorsalis pedis artery pressure by the higher of the right or left arm systolic blood pressure).

During each experiential learning session, the vascular specialist identified all problems of the measuring process that may affect the accuracy of the ABI to provide pertinent and personalized feedback to the students. For example, the vascular specialist was careful with the choice or attachment of the cuff, the position and angle of the Doppler probe, or of insufficient contact via the transmission gel for the Doppler probe, which may dislocate during the measurement, and deflation of the cuff.

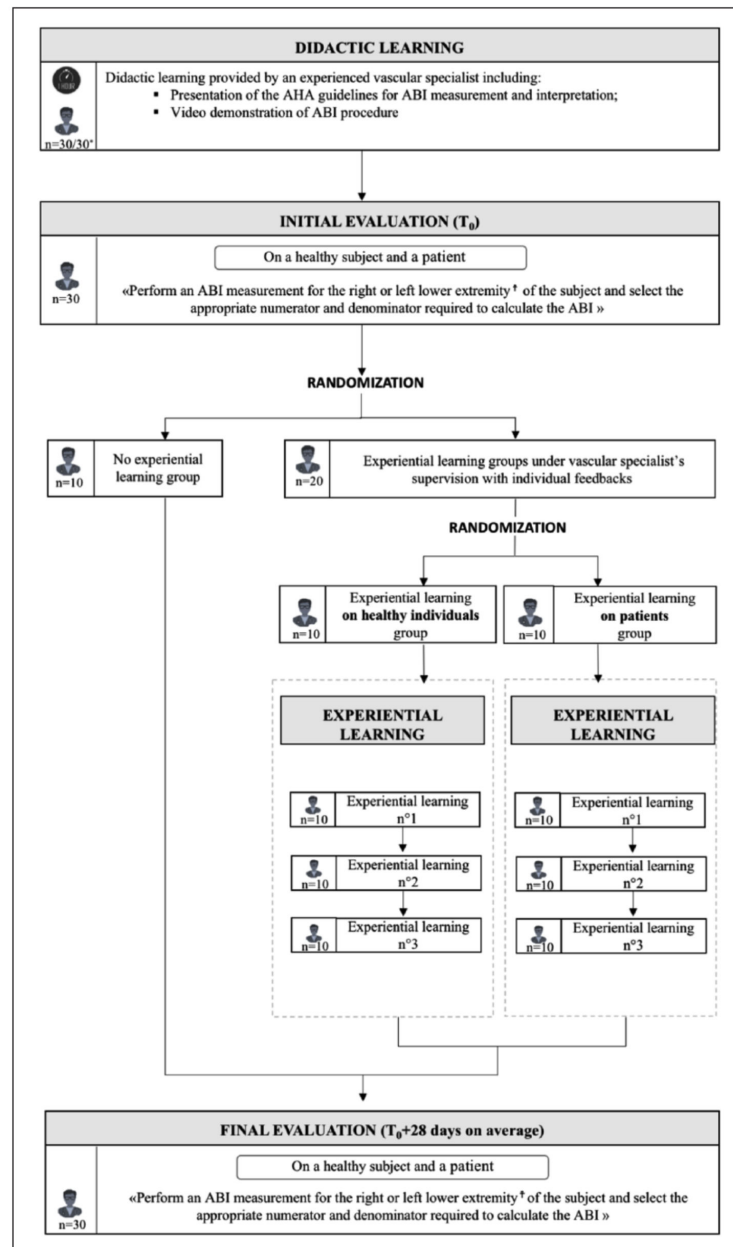
Immediately after completion of the ABI measurement, the vascular specialist provided (i) feedback to the students on their individual errors in performing the ABI measurement and its calculation and interpretation and (ii) a demonstration of the ABI measurement on both lower extremities of the same volunteer.

**Initial and final evaluations.** After the didactic course, a technician supervised an initial ABI procedure evaluation. During this evaluation, each medical student attempted to (i) perform an ABI measurement for the right or left lower limb extremity of a healthy subject, and then a patient, and (ii) select the appropriate numerator and denominator required to calculate the ABI of a hypothetical patient. One minute after the student finished, a vascular specialist blinded to the student's ABI measurements entered the examination room and repeated the ABI measurement.

The final evaluation was performed following the same procedure.

**Outcome measures.** A student was considered to be proficient in performing the ABI measurement if he or she correctly performed the following procedure during the evaluation on both a healthy individual and a patient: (i) installed the patient in a supine position with the head and heels supported; (ii) used the appropriate device among the equipment provided for each participant (i.e. sphygmomanometer cuff with a width of a least 40% of the limb circumference placed just above the malleoli, an 8-MHz Doppler probe with Doppler gel applied over the probe and placed in the area of the pulse at a 45° to 60° angle to the surface of the skin); (iii) inflated the cuff progressively up to 20 mmHg above the level of flow signal disappearance and then deflated slowly to detect the pressure level at flow signal reappearance; (iv) performed the pressure measurements in the accurate order (i.e. for the right ABI measurement: right brachial artery, right posterior tibial artery, right dorsalis pedis artery, left brachial artery, and right brachial artery again); (v) recorded each pressure; (vi) selected the appropriate numerator and denominator to calculate the ABI; and (vii) obtained an accurate ABI. Even if the ABI of the student was accurate, but the pressure measurements were not performed in the correct order, or the sphygmomanometer cuff was not correctly placed, the student was not considered to be proficient.

An ABI was considered to be accurate if the difference between the ABIs measured by the vascular specialist and the student was  $\leq 0.15$ , as previously reported.<sup>6,7</sup> Furthermore, this cut-off was chosen since a decrease of the ABI  $> 0.15$  over time is effective for detecting significant PAD progression, as stated in the AHA recommendations.<sup>3</sup> The intra-observer coefficient of variation for the ABI in our vascular laboratory is 9.4% (typical error of the estimate is 0.06).



**Figure 1.** Study design flow chart.

ABI, ankle-brachial index; AHA, American Heart Association; \*All medical students asked to participate agreed; † the choice of the ABI (right or left) was randomized.

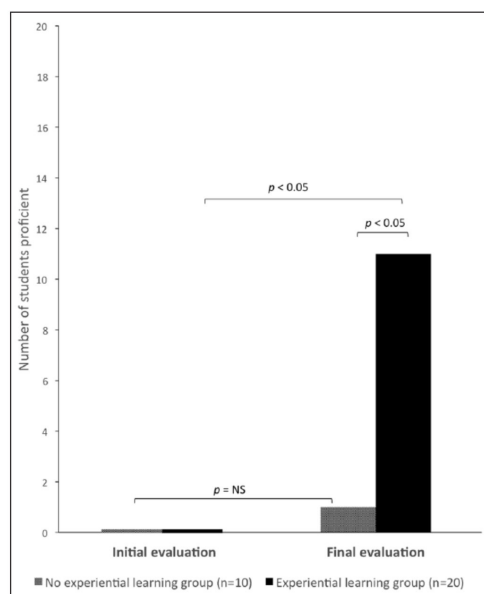
### Statistical analyses

The statistical analysis was performed using MedCalc Statistical Software version 12.6.1.0 (MedCalc Software bvba, Ostend, Belgium). A Fisher's test was used to compare the number of students proficient in performing the ABI procedure in each group between the initial and final evaluations. Between-group comparisons were also performed at the

initial and final evaluations. A two-tailed  $p$ -value  $< 0.05$  was considered to be statistically significant.

### Results

Thirty medical students were included in this RCT (Figure 1). Demographic and clinical characteristics of the patients who participated in the evaluations are presented in the



**Figure 2.** Comparison of the number of medical students proficient in performing the resting ABI procedure on healthy individuals and patients at the initial and final evaluation between the 'no experiential learning group' and the 'experiential learning group'. NS, non-significant.

online supplemental material. Of the 60 patients, 10 (17%) had diabetes mellitus, 25 (42%) dyslipidemia, 36 (60%) hypertension, 21 (35%) a kidney injury and 11 (18%) were current smokers. Thirteen (22%) had an ABI  $\leq 0.90$  or  $> 1.40$ .

The number of patients with an ABI  $\leq 0.90$  and  $> 1.40$  was not statistically different between the groups at the initial and final evaluations. At the initial evaluation, after the didactic learning alone, no student was proficient in performing the ABI procedure.

At the final evaluation, the number of proficient students in the didactic learning group was not significantly improved compared with the initial evaluation (0/10 vs 1/10;  $p =$  non-significant; Figure 2). In the experiential learning group, the number of proficient students significantly increased (0/20 vs 11/20;  $p < 0.05$ ) after three experiential ABI measurements on both lower extremities (right and left). At the final evaluation, there was a significant difference between the number of proficient students depending on their learning group (didactic alone (1/10) or didactic + experiential training (11/20)). There was no significant difference in the proficiency of the students according to their experiential learning group affiliation (healthy individuals vs patients).

## Discussion

ABI is an important and widely used non-invasive tool for the diagnosis of PAD and is part of the medical curriculum.<sup>8,9</sup>

Our RCT showed that (i) didactic learning alone, even with a video demonstration, is insufficient to ensure the proficiency of medical students in performing the ABI procedure, and (ii) didactic learning associated with three experiential training sessions significantly improved the students' proficiency relative to didactic learning alone.

Teaching of the ABI procedure in major medical schools consist of only a didactic session, evaluated by questionnaire,<sup>4,10,11</sup> which is insufficient to ensure competence with the theoretical procedure. Our RCT supports dropping didactic learning alone or combining it with experiential training.

The number of students proficient in performing the ABI procedure on both healthy individuals and patients was low (11/20), even after experiential learning. This result is in agreement with previous studies<sup>5,12</sup> and supports the necessity to repeatedly practice ABI measurements over time to ensure the comfort and competence of the students with both the equipment and the procedure.

There was no difference in student proficiency between the two experiential learning modalities (healthy individuals vs patients). Thus, experiential learning on healthy individuals may be preferable from a practical point of view (i.e. organization, feasibility) as a first step of teaching the ABI procedure.

The strength of this study is that we used the ABI measurement value of our vascular specialists as a 'gold standard' for comparison with the measurements performed by the students.

## Limitations

This study had some limitations. First, students in the 'no experiential learning group' received only 1 hour of didactic learning. It cannot be excluded that repeat didactic learning might have improved the final proficiency of the students in measuring the ABI. However, following only one didactic course corresponds to current practice in most French medical schools.<sup>9</sup> The present study confirms that such learning is insufficient and experiential training should be performed, as suggested by other studies.<sup>5,12</sup>

Second, the absence of a difference in the students' proficiency between the two experiential learning modalities must be considered with respect to the clinical characteristics of the patients in the final evaluation (ABI values between 0.58 and  $> 1.40$ ; see the online supplemental material), since it is more difficult to measure an ABI in severe PAD patients.<sup>12</sup> However, our aim was to determine the best teaching method to diagnose PAD and not to train vascular specialists.

## Conclusion

Didactic learning alone is insufficient for proficiency in performing the ABI procedure on both healthy individuals and patients; it should be combined with experiential learning (on healthy individuals or patients). Further studies are needed to: (i) determine the minimal amount of experiential learning required to be proficient; (ii) assess the effect of experiential learning modalities (healthy individual vs patient) on a larger population; and (iii) evaluate the students' proficiency in a follow-up study.



**Acknowledgements**

The authors thank Awenig Caryl, Marielle Delalande, Virginie Jégou, Philippe Landreau and Mathilde Ouvrard for their technical help. S. Chaudru has received a grant from the region 'Bretagne' (Bourse ARED).

**Declaration of conflicting interests**

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

**Funding**

The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

**Supplementary material**

The supplementary material is available online with the article.

**References**

1. Fowkes FGR, Rudan D, Rudan I, et al. Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: A systematic review and analysis. *Lancet* 2013; 382: 1329–1340.
2. Dachun Xu, Jue Li, Liling Zou, et al. Sensitivity and specificity of the ankle-brachial index to diagnose peripheral artery disease: A structured review. *Vasc Med* 2010; 15: 361–369.
3. Aboyans V, Criqui MH, Abraham P, et al. Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2012; 126: 2890–2909.
4. Chaudru S, de Müllenheim P-Y, Le Faucheur A, et al. Training to perform ankle-brachial index: Systematic review and perspectives to improve teaching and learning. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2016; 51: 240–247.
5. Wyatt MF, Stickrath C, Shah A, et al. Ankle brachial index performance among internal medicine residents. *Vasc Med* 2010; 15: 99–105.
6. Monti M, Calanca L, Alatri A, et al. Accuracy of in-patients ankle-brachial index measurement by medical students. *Vasa* 2016; 45: 43–48.
7. Ray SA, Srodon PD, Taylor RS, et al. Reliability of ankle:brachial pressure index measurement by junior doctors. *Br J Surg* 1994; 81: 188–190.
8. Creager MA, Gornik HL, Gray BH, et al. COCATS 4 Task Force 9: Training in Vascular Medicine. *J Am Coll Cardiol* 2015; 65: 1832–1843.
9. Mahé G. [Ankle-brachial index measurement: Methods of teaching in French medical schools and review of literature]. *J Mal Vasc* 2015; 40: 165–172.
10. Chaudru S, de Müllenheim P-Y, Le Faucheur A, et al. Ankle brachial index teaching: A call for an international action. *Int J Cardiol* 2015; 184: 489–491.
11. Chaudru S, de Müllenheim P-Y, Le Faucheur A, et al. Knowledge about ankle-brachial index procedure among residents: Being experienced is beneficial but is not enough. *VASA Z Für Gefäßkrankh* 2016; 45: 37–41.
12. Georgakarakos E, Papadaki E, Vamvakierou V, et al. Training to measure ankle-brachial index at the undergraduate level: Can it be successful? *Int J Low Extrem Wounds* 2013; 12: 167–171.

À l'issue de cette étude nous nous sommes interrogés sur le maintien à moyen terme de ces connaissances acquises par les étudiants concernant la procédure d'IPS de repos suite à ce type d'enseignement.

## 2.6 Maintien à moyen terme des connaissances des étudiants concernant l'IPS de repos

Pour évaluer le maintien des connaissances à moyen terme, nous avons réévalué à six mois dans les mêmes conditions que précédemment les étudiants compétents lors de l'évaluation finale ( $n = 12$ ). En gardant les mêmes critères de compétences, cette étude de suivi révèle que les connaissances ne sont pas maintenues à six mois. En effet, seuls trois étudiants sur douze restent compétents. Ce travail a fait l'objet d'une [publication](#) dans *The Journal of Clinical Hypertension*.

DOI: 10.1111/jch.13206

## LETTER TO THE EDITOR

WILEY

## Medical students' proficiency in performance of the resting ankle-brachial index is not sustained at 6 months

We read with interest the paper by Rakotz et al relating the poor proficiency of medical students on an 11-element skillset to blood pressure (BP) measurement.<sup>1</sup> BP measurement is also a basis of the ankle-brachial index (ABI) at rest that is the first-line test to diagnose peripheral artery disease (PAD), a disease affecting over 200 million individuals worldwide.<sup>2</sup> ABI proposed by Winsor is defined as the ratio of the highest systolic BP measured at the ankle to that measured at the brachial artery.<sup>3</sup> PAD screening is proposed by international guidelines and screening has shown to be cost-effective.<sup>4</sup> Thereby, one might assume that checking ABI would be at the top of the list of medical student proficiencies. A follow-up study conducted according to ethics review board (n°16.150) sought to evaluate the retention of ABI procedure among French medical students 6 months after the teaching. Indeed, we previously conducted a randomized control trial (RCT) which confirmed that (1) didactic learning alone is insufficient to ensure medical students performance of the ABI and (2) a didactic learning associated with 3 experiential learning sessions significantly improved the students' proficiency compared with didactic learning alone.<sup>5</sup> The methods have been extensively described elsewhere.<sup>5</sup> In this follow-up study we highlighted that medical students fail to retain ankle-brachial index skills. At 6 months, a significant difference was found compared with the number of students proficient in ABI procedure at the end of the learning procedure (Figure).

This study shows that without training on ABI between the two evaluations the medical students proficiency is not sustained. This questions: (1) how can we maintain the medical students' proficiency

in performance of ABI and (2) whether ABI measurement should be taught in medical schools for non-vascular specialist students since the proficiency is not sustained in medical students. Furthermore, this study strengthens the ideas that the current medical school curriculum needs to be redesigned as already suggested.<sup>1</sup> Didactic learning alone should be stopped or reinforced with experiential learning and competency testing should be carried out regularly to check retention.

## ACKNOWLEDGMENTS

S. Chaudru has received a grant from the region "Bretagne" (Bourse ARED).

## CONFLICT OF INTEREST

The authors report no specific funding in relation to this research and no conflicts of interest to disclose.

## ORCID

Guillaume Mahe  <http://orcid.org/0000-0003-1318-4745>

Céline Donnou MD<sup>1</sup>  
Ségolène Chaudru MSc<sup>1</sup>  
Olivier Stivalet MD<sup>1</sup>  
Eunice Paul MD<sup>1</sup>  
Marie Charasson MD<sup>1</sup>  
Jean-Marc Selli MD<sup>1</sup>  
Chadi Mauger MD<sup>1</sup>  
Anthony Chapron MD, PhD<sup>1</sup>  
Alexis Le Faucheur PhD<sup>2,3</sup>  
Vincent Jaquinandi MD, PhD<sup>1</sup>  
Loukman Omarjee MD<sup>1</sup>  
Guillaume Mahe MD, PhD<sup>1</sup> 

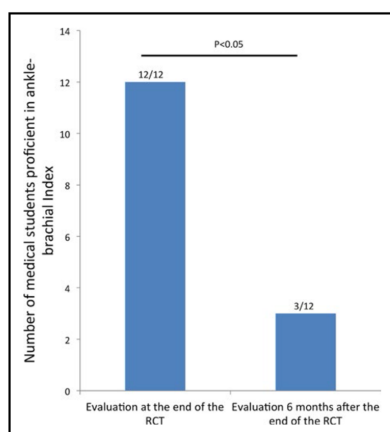
<sup>1</sup>CHU Rennes, CIC 1414, INSERM, Univ Rennes, Rennes, France

<sup>2</sup>Movement, Sport and Health laboratory, EA 1274, UFR APS, Université de Rennes 2 (Rennes 2 University), Rennes, France

<sup>3</sup>Department of Sport Sciences and Physical Education, Campus de Ker Lann Ecole, Normale Supérieure de Rennes, Bruz, France

## REFERENCES

1. Rakotz MK, Townsend RR, Yang J, et al. Medical students and measuring blood pressure: results from the American medical association blood pressure check challenge. *J Clin Hypertens*. 2017;19:614-619.



**FIGURE** Medical students' proficiency in the performance of ankle brachial index. RCT means randomized controlled trial

2. Chaudru S, de Müllenheim P-Y, Le Faucheur A, Kaladji A, Jaquinandi V, Mahé G. Training to perform ankle-brachial index: systematic review and perspectives to improve teaching and learning. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2016;51:240-247.
3. Winsor T. Influence of arterial disease on the systolic blood pressure gradients of the extremity. *Am J Med Sci*. 1950;220: 117-126.
4. Lindholt JS, Sogaard R. Population screening and intervention for vascular disease in Danish men (VIVA): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2017;390:2256-2265.
5. Donnou C, Chaudru S, Stivalet O, et al. How to become proficient in performance of the resting ankle-brachial index: results of the first randomized controlled trial. *Vasc Med*. 2017. <https://doi.org/10.1177/1358863X17740993>. [Epub ahead of print].



## RÉSUMÉ ET DISCUSSION

L'IPS de repos est la méthode diagnostique de référence de l'AOMI. Méthode d'évaluation vasculaire objective, non invasive, indolore et peu coûteuse, celle-ci constitue également un marqueur de risque d'évènements cardiovasculaires. Cette méthode devrait en toute logique être connue de tous les étudiants en médecine en France. Pourtant, les études menées au cours de cette thèse révèlent une toute autre réalité (*i.e.*, parmi quarante-quatre étudiants issus de six facultés de médecine françaises, aucun n'a les connaissances théoriques nécessaires à la réalisation et l'interprétation d'un IPS de repos selon les recommandations en vigueur publiées par l'*American Heart Association*). La formation médicale actuelle ne semble pas être efficace pour permettre aux étudiants d'acquérir les compétences nécessaires à la réalisation de cette procédure diagnostique. Nous nous sommes de fait interrogés sur les recommandations internationales concernant son enseignement. Dans les recommandations de l'*American Heart Association* figure trois préconisations concernant l'entraînement à la mesure de l'IPS de repos: i) la mesure et l'interprétation de l'IPS de repos doit faire partie du programme d'étude de base des étudiants en médecine et en sciences infirmières; ii) les professionnels de santé qui réalisent des IPS de repos doivent bénéficier d'un apprentissage didactique et expérientiel sous la supervision d'un professionnel de santé qualifié et expérimenté et iii) la compétence des professionnels vis-à-vis de la mesure de l'IPS de repos doit être évaluée objectivement à travers des comparaisons de mesures. Pour chacune de ces préconisations, le niveau de preuve associé est faible (niveau de preuve C) puisque comme nous l'avons mis en évidence dans notre revue systématique de la littérature très peu d'études se sont intéressées jusqu'alors à cette thématique (parmi les 4000 publications sur PubMed® concernant l'IPS de repos, seules cinq toutes de faible niveau méthodologique concernaient son apprentissage).

C'est dans ce contexte que nous avons alors souhaité conduire une étude randomisée visant à comparer les effets de trois méthodes d'enseignements sur l'apprentissage de la procédure d'IPS de repos auprès d'étudiants en médecine: i) enseignement théorique seul; ii) enseignement théorique associé à un enseignement pratique sur sujet sain; iii) enseignement théorique associé à un enseignement pratique sur sujet malade. Les résultats de cette étude confortent les préconisations édictées par l'AHA en mettant en évidence qu'une formation théorique unique (même avec visionnage et explication de la procédure de l'IPS de repos par un médecin expert) n'est pas suffisante pour que les étudiants acquièrent les connaissances nécessaires à la mesure



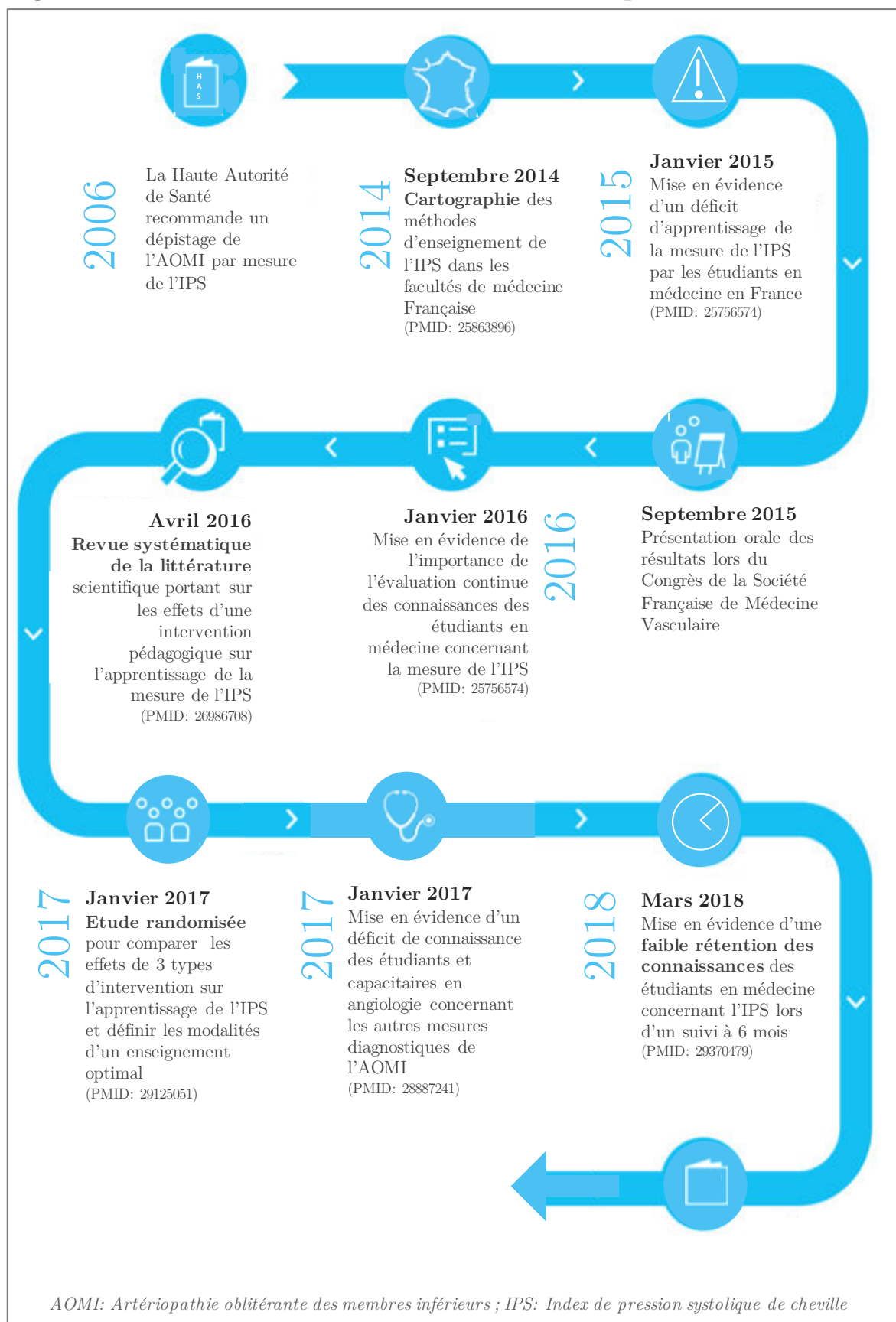
pratique de l'IPS de repos tandis qu'y associer un enseignement pratique (trois sessions de formation sur un sujet sain ou sur un patient) permet d'améliorer significativement l'apprentissage.

En somme, ces travaux de recherche (cf. Figure 6, p. 77) auront permis de mettre en exergue la nécessité d'une refonte des méthodes actuelles d'enseignement de l'IPS de repos dans le cursus médical français, encourageant à laisser plus de place à l'enseignement pratique, forme d'enseignement d'ailleurs souhaitée par la majorité des étudiants ayant participé à nos études. Notons, que ces résultats concernant l'apprentissage et l'enseignement de la procédure d'IPS dans le cursus médical français font échos avec ceux d'une étude récente remettant en cause les méthodes d'enseignement actuelles cette fois ci de la mesure de la pression brachiale par les étudiants en médecine aux États Unis (un étudiant sur cent cinquante-neuf seulement appliquant les recommandations internationales (RAKOTZ ET AL. 2017)).

Même si nos travaux auront permis d'apporter quelques éléments de réponses, des questions persistent encore concernant la place que doit prendre cet enseignement pratique dans le cursus médical actuel afin qu'il permette un apprentissage optimal mais aussi durable de la procédure d'IPS. Parmi celles-ci : de combien d'entraînements pratiques au minimum les étudiants devraient-ils bénéficier pour être compétents dans la procédure d'IPS de repos ? A quelle fréquence devrait-on évaluer les compétences des étudiants et de quelle manière ? Une pédagogie innovante (*e.g.*, jambe virtuelle) permettrait-elle un apprentissage facilité et plus durable ? Finalement, doit-on accorder plus de place aux systèmes de mesure automatique de l'IPS de repos notamment pour les campagnes de dépistage de l'AOMI ?

Toutes ces questions ouvrent des perspectives intéressantes sur le plan de la recherche dans le domaine vasculaire et le diagnostic de l'AOMI.

Figure 6. Visuel de la démarche de recherche entreprise





## **CHAPITRE 2 : APPROCHE FONCTIONNELLE DANS L'ARTÉRIOPATHIE OBLITÉRANTE DES MEMBRES INFÉRIEURS**

---

1. Douleur ischémique à la marche et altérations fonctionnelles
2. Méthodes d'évaluation de la capacité de marche et de la douleur ischémique associée
3. Développement d'une méthode ambulatoire de quantification de l'occurrence de la douleur ischémique à la marche par couplage de moniteurs



## 1. Douleur ischémique à la marche et altérations fonctionnelles

Chez les sujets sains, lors d'un effort, le débit sanguin augmente dans les muscles actifs pour répondre aux besoins musculaires (HIATT ET AL. 2015). Il peut ainsi passer de  $1000 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  à  $19000 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  au cours d'un effort (LEVICK 2010). Chez les patients artériopathes par contre, l'obstruction artérielle et les perturbations hémodynamiques associées peuvent limiter l'augmentation de ce débit sanguin dans les tissus situés en aval de la lésion. De fait, à l'effort, les apports en oxygène aux tissus peuvent être insuffisants pour répondre à la demande musculaire locale. Ce déséquilibre ainsi causé entre les apports et les besoins sanguins caractérise l'ischémie. Elle se définit comme un apport de sang insuffisant à une partie de l'organisme et qui est causé par l'obstruction ou la constriction d'un vaisseau sanguin (TORTORA & DERRICKSON 2013). Cette ischémie est plus ou moins symptomatique (MCDERMOTT ET AL. 2015).

### 1.1 La douleur ischémique à la marche des patients artériopathes

#### 1.1.1 Les différents profils symptomatologiques

##### 1.1.1.a La claudication intermittente : le symptôme classique

Le symptôme de claudication intermittente (« claudicare », boiter) a été le symptôme de douleur le plus couramment associé à l'AOMI. Dans les premières descriptions (ROSE 1962) la claudication intermittente était définie comme une douleur qui devait répondre aux critères suivants:

- i) les symptômes concernent spécifiquement le ou les mollets;
- ii) les symptômes doivent survenir à la marche;
- iii) les symptômes ne doivent pas commencer au repos;
- iv) les symptômes doivent obliger le patient à s'arrêter ou à ralentir son allure;
- v) les symptômes ne doivent jamais disparaître si la marche est poursuivie;
- vi) les symptômes doivent disparaître dans la majorité des cas en 10 minutes ou moins suite à l'arrêt de la marche.

Depuis 1962, la définition de la claudication intermittente a évolué au gré des publications de plusieurs sociétés savantes (*e.g.*, l'American Heart Association [AHA], l'American College of Cardiology [ACC], la Society for Vascular Surgery [SVS], le Trans-Atlantic Inter-Society Consensus [TASC]) élargissant alors les localisations des

symptômes à la claudication intermittente. Depuis, la claudication intermittente est présentée dans la littérature scientifique comme une sensation de gêne, d'inconfort ou de douleur (*e.g.*, crampe, fatigue) qui apparaît de manière reproductible dans les régions musculaires des membres inférieurs (*e.g.*, les hanches, et/ou les fesses, et/ou les cuisses, et/ou les mollets, et/ou la voûte plantaire) lors de la marche et qui est rapidement soulagée à l'arrêt de l'effort. Bien qu'étant le symptôme le plus couramment décrit dans la littérature, la claudication intermittente ne concerne en fait qu'une minorité de patients artériopathes (~10 à 35 %) (HIRSCH ET AL. 2006).

#### *1.1.1.b La claudication atypique : le symptôme prépondérant*

La majorité (40 à 50 %) des patients artériopathes qui se plaignent de douleurs à l'effort, présentent des symptômes qui ne correspondent pas à l'ensemble des caractéristiques de la claudication intermittente. La diversité des manifestations a été bien documentée par les travaux de McDermott et a conduit à l'émergence de la considération de la claudication atypique (cf. Figure 7, p. 86) Celle-ci regroupe les douleurs i) qui apparaissent à la marche mais qui n'imposent pas l'arrêt ni le ralentissement de la marche ou ii) qui apparaissent à la marche, imposent l'arrêt sans toutefois satisfaire tous les critères de la claudication intermittente tels que définis précédemment (*e.g.*, délai de disparition de la douleur supérieur à 10 minutes, douleur ne survenant pas au niveau des mollets). À noter que ce dernier aspect est en partie contradictoire avec la nouvelle définition de la claudication intermittente. En effet, cet aspect implique qu'une douleur qui surviendrait autre part qu'au mollet lors de l'effort pourrait ne pas être considérée comme un symptôme de claudication intermittente. Or, comme expliqué plus haut, la définition officielle de la claudication intermittente inclut les douleurs qui peuvent survenir sur l'ensemble du membre inférieur.

*1.1.1.c L'absence de symptômes déclarés : la face cachée de l'iceberg*

Les études de prévalence de l'AOMI ont montré que de nombreux patients (~20 à 50 %) bien qu'atteints d'AOMI (IPS de repos  $\leq 0,90$ ) ne rapportent pas de douleurs dans leur quotidien. Bien que cette absence de symptôme laisse à penser qu'il puisse s'agir d'un stade précoce ou bénin de la maladie, il n'en est rien (DIEHM ET AL. 2009). Les études épidémiologiques révèlent en effet que ces patients avec AOMI ont un risque de survenue d'événements cardiovasculaires et cérébrovasculaires similaire à celui des patients avec AOMI symptomatique (DIEHM ET AL. 2009). À 5 ans, le risque de décès par rapport aux sujets sains est augmenté tant chez les symptomatiques (Hazard Ratios : 1,89; IC 95 % : 1,55 – 2,30 %) que chez les asymptomatiques (Hazard Ratios : 1,66; IC 95 % : 1,38 – 2,00 %).

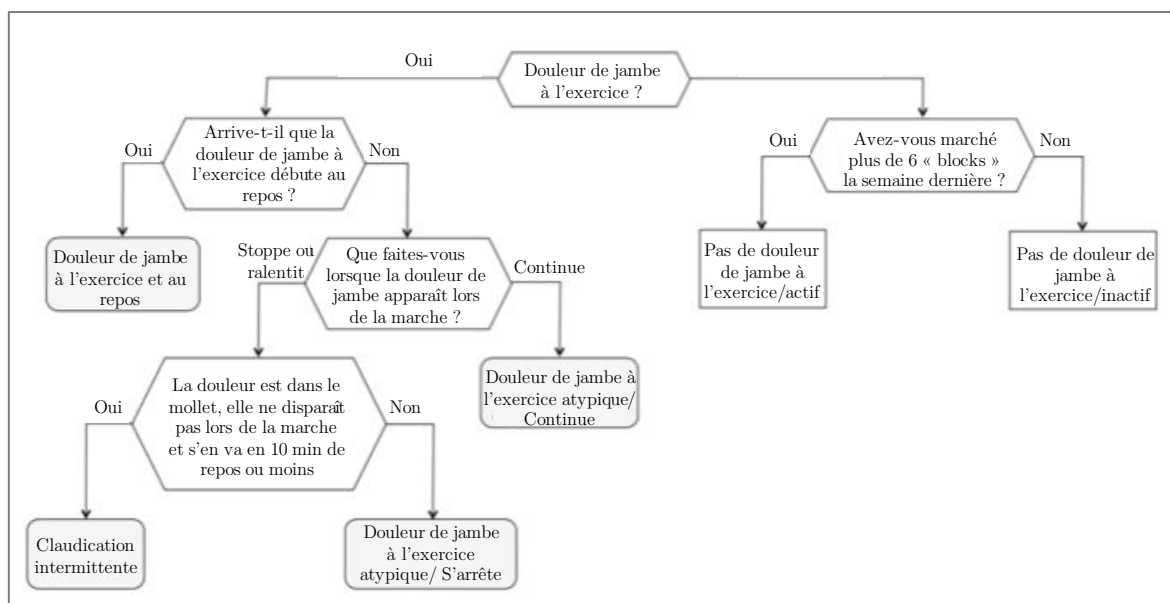
Il semblerait que les patients atteints d'une AOMI asymptomatique présentent une réduction de la masse musculaire du mollet, une augmentation de sa teneur en graisse ainsi qu'une atteinte des nerfs périphériques (MCDERMOTT ET AL. 2001, 2008).

Ces patients artériopathes qualifiés d'«asymptomatiques » semblent pouvoir être classifiés en deux sous catégories : i) les patients artériopathes asymptomatiques actifs (*i.e.*, ayant marché plus de 1,2 km durant les 7 derniers jours) et à l'inverse ii) les patients artériopathes asymptomatiques inactifs (*i.e.*, ayant marché moins de 1,2 km durant les 7 derniers jours).

Notons que, les études disponibles sur l'évaluation objective du profil fonctionnel de patients atteints d'AOMI se déclarant asymptomatiques sont le fait d'une seule équipe, qui utilise le test de marche de six minutes pour cette évaluation (MCDERMOTT ET AL. 2000, 2001, 2004, 2008, 2010). De manière intéressante, deux de ces études ont montré que 30 à 42% des patients qui se déclaraient asymptomatiques développaient en réalité des symptômes avec douleur dans les jambes à la marche lors de ce test (MCDERMOTT ET AL. 2008, 2010).



**Figure 7. Symptômes de douleur de jambe présents dans l'AOMI**



Adapté de « Leg symptoms in peripheral arterial disease : associated clinical characteristics and functional impairment » de M. M. McDermott, P. Greenland, K. Liu, J. M. Guralnik, M.H. Criqui, N. C. Dolan, C. Chan, L. Celic, W. H. Pearce, J. R. Schneider, L. Sharma, E. Clark, D. Gibson, et G.J. Martin, 2001, *JAMA*, 286(13), p.1600.

Le terme « jambe » désigne ici l'ensemble du membre inférieur. Le terme « block » ou îlot urbain ou pâté de maison désigne un ensemble de bâtiments encadrés de rues. 6 « blocks » correspondent, dans l'étude de McDermott et al. (2001), à une distance d'environ 1,2 km.

### 1.1.2 Les facteurs pouvant influencer sur la présence de symptômes

Les mécanismes sous-jacents à la survenue d'une douleur ischémique musculaire à l'effort ne sont pas encore complètement élucidés (MENSE & GERWIN 2010). Comme chez les patients coronariens, il n'est pas encore déterminé si la douleur ischémique ressentie par les patients atteints d'AOMI est due à la production de substance chimique dans la masse musculaire active ou à un phénomène d'ordre plus mécanique. Les connaissances actuelles ne permettent pas non plus de définir si l'ischémie active des nocicepteurs (récepteurs nerveux impliqués dans la sensation de douleur) spécifiques ou des mécanorécepteurs et des chémorécepteurs. Enfin, dans le cas de patients ayant des épisodes tant ischémiques douloureux qu'indolores, la durée et la gravité de l'ischémie semblent insuffisants pour expliquer l'existence d'ischémie grave silencieuse (MASERI ET AL. 1985). Toutefois, la survenue de symptômes à la marche et leur perception semblent être fonction de plusieurs facteurs parmi lesquels, la quantité quotidienne d'exercices réalisés, la modalité de la marche (vitesse, pente, type de terrain), l'endroit des lésions et des occlusions artérielles, la sensibilité nerveuse, le seuil de sensibilité à la douleur ischémique, l'état émotionnel et psychologique des patients, la présence ou non de comorbidité limitant l'effort (d'ordre orthopédique,

métabolique ou cardiorespiratoire par exemple) et l'état de la circulation artérielle collatérale. Ces facteurs ont notamment pu être mis en évidence par l'étude des patients artériopathes asymptomatiques (McDermott et al. 2008, 2010).

À ce titre, l'équipe de Mc Dermott s'est penchée sur l'évaluation objective du profil fonctionnel de patients artériopathes asymptomatiques et révèle que 30 à 42 % des patients atteints d'AOMI qui se disent asymptomatiques développent en réalité des symptômes avec douleurs dans les jambes à la marche lorsqu'ils sont soumis à un test de marche de six minutes (MCDERMOTT ET AL. 2008, 2010). Même si l'utilisation de ce test peut être critiquable puisqu'il ne permet pas de contrôler la vitesse de déambulation et n'offre donc pas une spécificité optimale pour évaluer objectivement la présence réelle de symptômes (possible sous-estimation du nombre de patients atteints d'AOMI symptomatique qui auraient diminué leur vitesse de marche lors du test), il permet de mettre en exergue l'importance de la marche, et plus largement de du niveau d'activité physique, comme révélateur de symptômes.

Les études menées par cette équipe de recherche questionnent finalement sur les causes possibles de l'absence déclarée de symptômes chez certains patients artériopathes et donc sur les facteurs influençant la présence de symptômes. Comme évoqué précédemment, un de ces facteurs pourrait être le faible niveau d'AP quotidien. Ainsi les patients artériopathes asymptomatiques pourraient présenter des niveaux d'AP quotidiens plus faibles par rapport aux patients artériopathes symptomatiques ou diminuer de façon consciente ou inconsciente leur niveau d'AP afin d'éviter l'occurrence des douleurs. Le peu d'études qui ont réalisé une mesure objective de l'AP (accélérométrie) dans cette population ne rapportent pas de différence statistiquement significative entre patients artériopathes symptomatiques et asymptomatiques (MCDERMOTT ET AL. 2001, 2008). Il est probable cependant que les outils de mesure d'AP utilisés n'étaient pas assez sensibles car ils ne prenaient en compte que le volume global d'AP et non l'intensité de l'AP journalière avec ses variations pourtant déterminantes dans l'occurrence de l'ischémie. D'autres travaux menés auprès de patients atteints d'AOMI symptomatiques ont souligné ce même phénomène de réduction du niveau d'AP quotidien chez certains patients atteints d'AOMI déclarant une stabilisation voire une amélioration de leurs symptômes lors d'un suivi à 5 ans (MCDERMOTT ET AL. 2015).

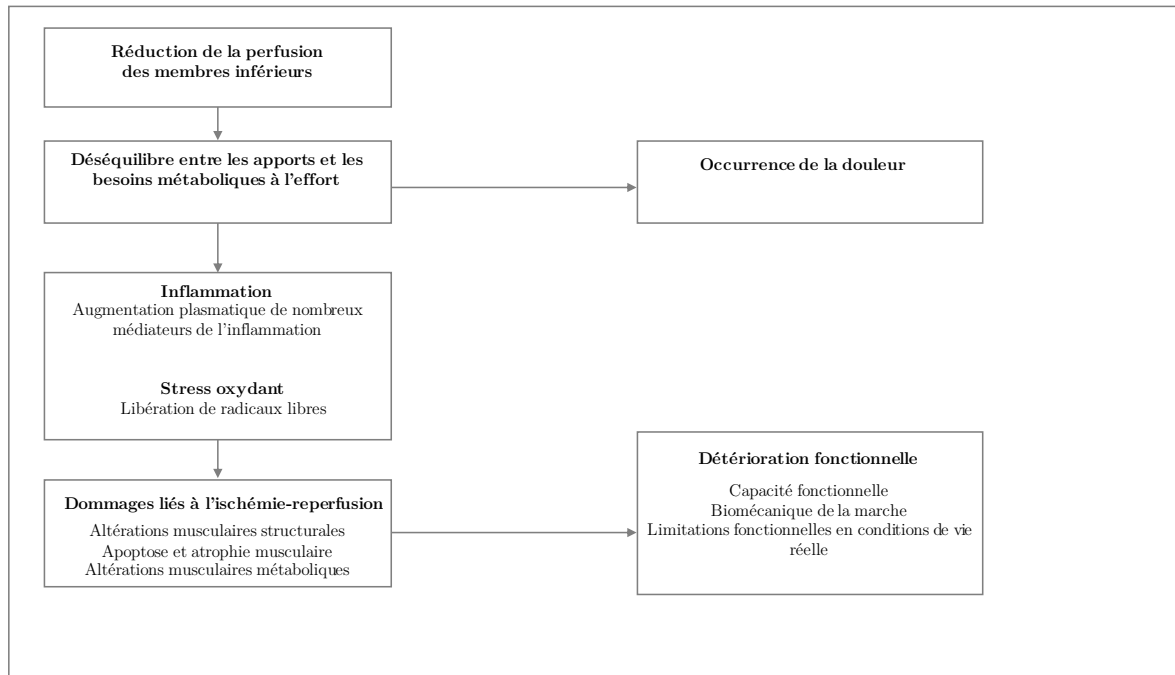
Comme évoqué, outre la question d'un niveau et d'une intensité d'AP moindre pouvant expliquer des variations d'occurrence de symptômes chez les patients artériopathes, d'autres paramètres sont avancés dans la littérature tels qu'une détérioration plus ou moins présente de la sensibilité nerveuse en fonction des patients artériopathes (MCDERMOTT ET AL. 2001, 2008), un seuil de sensibilité à la douleur variable, de possibles limitations à l'exercice en lien ou non avec une comorbidité masquant ou minimisant l'occurrence et le ressenti des symptômes.

Enfin, une moindre symptomatologie pourrait être le fait d'un état ischémique moindre du fait d'un meilleur recrutement ou d'un plus grand nombre de vaisseaux collatéraux au voisinage de la ou des artères présentant une lésion. À titre d'exemple, (CAILLARD ET AL. 1990) (les seuls à notre connaissance) ont mesuré l'ischémie à la marche par oxymétrie d'effort dans un groupe de patients considérés comme artériopathes asymptomatiques et rapportent un état ischémique non pas lors de la marche mais uniquement en récupération chez ces patients. Notons cependant que les patients étaient définis comme artériopathes sur la base de critères non standard.

### *1.1.3 Le phénomène d'ischémie-reperfusion induit par l'exercice*

Comme nous l'avons vu précédemment, dans l'AOMI, l'obstruction artérielle peut induire à l'exercice un déséquilibre entre les apports et les besoins sanguins nécessaires à sa réalisation. On parle d'ischémie d'effort. Celle-ci précède le mécanisme de reperfusion qui intervient dès l'arrêt de l'exercice et au cours duquel le territoire ischémique fait face à un apport sanguin massif en récupération. L'alternance de ces deux mécanismes est récurrente dans l'AOMI. Ce phénomène dit d'ischémie-reperfusion est responsable de réactions inflammatoires et d'un stress oxydant particulièrement néfaste pour la structure du système neuromusculaire et le fonctionnement du métabolisme musculaire squelettique chez les patients atteints d'AOMI. Ainsi les altérations fonctionnelles observées chez les patients atteints d'AOMI ne renvoient pas uniquement à des limitations causées par l'ischémie d'effort mais renvoient également à une physiopathologie plus complexe mettant en jeu des mécanismes inflammatoires et oxydatifs (cf. Figure 8, p. 89) (MCDERMOTT 2015; W R. HIATT ET AL. 2015).

**Figure 8. Mécanismes impliqués dans la détérioration fonctionnelle liée à l'ischémie d'exercice dans l'AOMI**



Adapté de Thèse P.Y de Mullenheim (2017) Évaluation et compréhension des limitations fonctionnelles dans l'artériopathie oblitérante des membres inférieurs : validation du géo-positionnement par satellites pour l'étude de la dépense énergétique lors de la marche en extérieur & étude de l'effet de la durée de récupération sur la capacité de marche.

## 1.2 Les altérations fonctionnelles dans l'AOMI

Nous venons de le voir, les altérations fonctionnelles observées chez les patients avec AOMI peuvent être dues à l'ischémie d'effort en tant que tel mais également au processus répété d'ischémie-reperfusion. Même si la part de chacun des mécanismes demeure difficile à distinguer, ces deux mécanismes semblent impacter la locomotion, en particulier la marche.

### 1.2.1 Altération des aspects biomécaniques de la marche

À la marche, les patients atteints d'AOMI modifient grâce à des mécanismes compensatoires, de manière consciente ou inconsciente leurs schémas de marche. Ce faisant, les patients artériopathes cherchent à minimiser les actions musculaires les plus douloureuses. Les études mettent ainsi en évidence chez les patients atteints d'AOMI l'adoption d'une démarche visant à épargner le membre symptomatique via un mouvement de marche réduit (*i.e.*, diminution de la cadence de marche, diminution de la longueur des pas) (MCCULLY ET AL. 1999; GARDNER ET AL. 2010; MOCKFORD ET AL. 2010).

De plus il a été observé des altérations d'ordre biomécanique suite à l'apparition de douleurs telles que la diminution de la force de propulsion et de la force de freinage à la réception de l'appui ou encore une incapacité à projeter la jambe dans l'axe (SCOTT-PANDORF ET AL. 2007).

### *1.2.2 Limitations fonctionnelles à la marche et impact sur la qualité de vie*

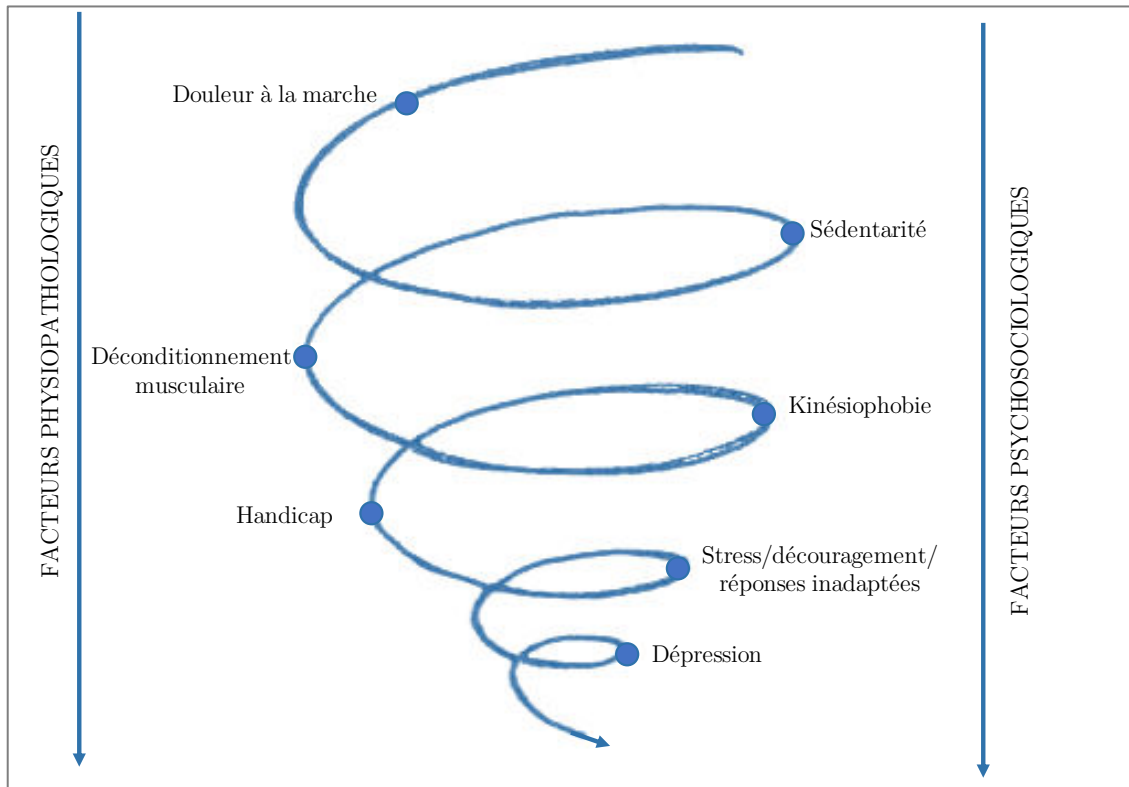
La douleur associée à l'ischémie d'effort engendre chez les patients atteints d'AOMI de véritables limitations fonctionnelles. Ces limitations fonctionnelles sont habituellement renseignées de deux manières : i) en tant que distance parcourue ou temps écoulé avant que les symptômes de douleur n'apparaissent lors de la marche (Distance de Marche Relative (DMR) et Temps de Marche Relatif (TMR) respectivement); ii) en tant que distance ou temps maximal de marche écoulé jusqu'à ce que le patient ne puisse plus continuer à marcher à cause des symptômes de douleurs (DMM et TMM respectivement). Ces facteurs renvoient aux notions de capacité de marche relative et de capacité de marche absolue respectivement, et sont spécifiques à la méthode d'évaluation utilisée comme nous le verrons dans le point suivant.

Ces limitations fonctionnelles induisent une altération de la qualité de vie des patients présentant une AOMI (NORGREN ET AL. 2007). Cette altération a été mise en évidence par différents questionnaires de qualité de vie spécifiques ou non à l'AOMI. Les études utilisant le questionnaire de qualité de vie Short Form 36 (SF-36) indiquent que la présence d'une AOMI, même légère, s'accompagne d'une détérioration des fonctions physiques (*e.g.*, la mobilité, la capacité de travail) et sociales (*e.g.*, vie et relation avec les autres) et par une mauvaise perception de sa santé générale et mentale directement en lien avec la capacité de marche (BREEK ET AL. 2001).

D'autres équipes de recherche ont conduit des entretiens individuels semi-structurés afin d'analyser l'impact de ces douleurs et par conséquent de ces limitations fonctionnelles sur la qualité de vie de patients artériopathes. C'est le cas par exemple de l'équipe d'Egberg *et al.* qui au travers d'entretiens a pu recueillir le ressenti des patients atteints d'AOMI dans leur quotidien et ainsi mieux appréhender les facteurs responsables de cette diminution de qualité de vie. Cette équipe indique par exemple que les patients présentant une AOMI rapportent régulièrement ressentir de l'embarras lorsqu'ils doivent s'arrêter de marcher en pleine rue afin d'attendre que la douleur survenue dans les jambes s'estompe ou disparaisse (EGBERG ET AL. 2012). D'autres patients atteints d'AOMI disent pâtir d'une perte de spontanéité dans leurs activités quotidiennes, activités qu'ils planifient et contrôlent afin de limiter autant

que faire ce peu l'apparition de symptômes. Cela peut à terme contribuer à conduire insidieusement le patient dans une véritable spirale du déconditionnement. Ce processus auto-entretenu est souvent évoqué dans les pathologies chroniques pour marquer l'inadaptation progressive, souvent involontaire, à l'environnement du malade chronique. Il pourrait être appliqué au patient artériopathe pour qui la porte d'entrée dans le cercle vicieux du déconditionnement serait la présence d'une douleur dans les membres inférieurs. Pour limiter l'occurrence de cette sensation douloureuse, le patient adopterait un mode de vie de plus en plus sédentaire. À la longue, et de manière insidieuse, une véritable kinésiophobie s'installerait (cf. Figure 9, p. 91). Cette dégradation aurait comme conséquence d'accentuer la sédentarisation. Ensuite, à force de ne plus se mettre à l'épreuve, le patient n'aurait plus de connaissance réaliste de ses compétences et déprécierait ses propres capacités physiques à se déplacer, à réaliser les actes de la vie quotidienne. En somme ce phénomène agit comme un amplificateur de la vulnérabilité, entraînant le malade chronique vers la dépendance, l'inadaptation, la dégradation de sa qualité de vie et la multiplication des situations de handicap.

**Figure 9. Spirale de déconditionnement du patient atteint d'AOMI**



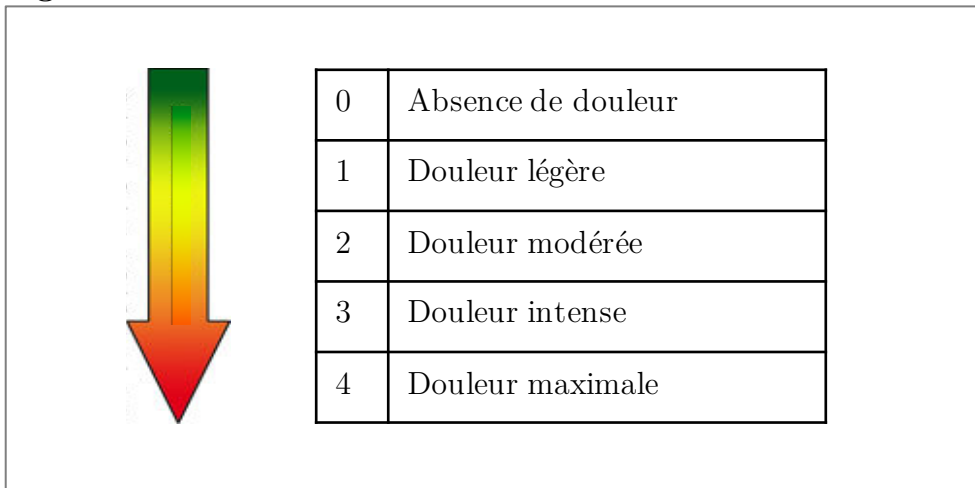
## 2. Méthodes d'évaluation de la capacité de marche et de la douleur ischémique associée

L'évaluation de la capacité de marche et des douleurs des patients artériopathes apparaît comme un point essentiel dans leur prise en charge pour trois raisons : i) elle est le reflet de la perte de mobilité et est donc un facteur prédicteur de mortalité; ii) c'est un critère parfois utilisé pour envisager un acte chirurgical et iii) c'est un critère de jugement pour mesurer l'efficacité d'un traitement ou d'une prise en charge spécialisée notamment en réadaptation vasculaire.

### 2.1 En laboratoire : une évaluation standardisée des symptômes

#### 2.1.1 Tests de marche sur tapis motorisé

Le test sur tapis motorisé est le test de référence pour objectiver l'importance de la gêne fonctionnelle liée à la claudication chez les patients atteints d'AOMI avec notamment la détermination de la DMR (ou du TMR) et de la DMM (ou TMR) (HIRSCH ET AL. 2006). Rappelons que la DMR correspond à la distance parcourue avant que les symptômes de douleurs au niveau des membres inférieurs n'apparaissent. La DMM quant à elle, correspond à la distance maximale parcourue par le patient à l'issue du test. Pour mieux saisir le retentissement des douleurs, des échelles de douleurs très simples sont parfois utilisées lors des tests d'évaluation (GARDNER ET AL. 2010). L'une d'elles (cf. Figure 10, p. 93), validée par Williamson et Hoggart, associe la cotation de la douleur à des verbatims (WILLIAMSON & HOGGART 2005). Ainsi une liste d'adjectifs communément utilisés et associés à des nombres pour décrire la douleur : 0 : « absence de douleur », 1 : « douleur légère », 2 : « douleur modérée », 3 : « douleur intense », 4 : « douleur maximale » (douleur induisant l'arrêt).

**Figure 10. Échelle de cotation de la douleur**

Adapté de Williamson, A. & Hoggart, B. (2005): *Pain: a review of three commonly used pain rating scales.* – *Journal of Clinical Nursing*, 14/7: 798–804. doi: 10.1111/j.1365-2702.2005.01121.x.

Différentes modalités de tests sur tapis motorisés existent à savoir les tests à charge constante (*i.e.*, l'intensité reste constante au cours du test) et les tests à charge croissante (*i.e.*, l'intensité est croissante au cours du test).

#### 2.1.1.a Les tests sur tapis motorisé à charge constante

Les tests à charge constante (tests rectangulaires) sont des tests au cours desquels l'intensité reste constante (LABS ET AL. 1999). Le clinicien définit en amont du test une vitesse et une pente qu'il va imposer au patient atteint d'AOMI au cours du test de marche. Cette vitesse et cette pente qui s'échelonnent classiquement entre 2,0 et 4,0 km.h<sup>-1</sup> et 0 à 12,0 % respectivement restera fixe tout au long du test (NICOLAÏ ET AL. 2009). Le test de marche utilisant une vitesse de 3,2 km.h<sup>-1</sup> et une pente fixe de 12 % est le test de marche à charge constante le plus couramment utilisé auprès des patients atteints d'AOMI, il est connu sous le nom de test « Strandness » (HIATT ET AL. 2014).

La reproductibilité des mesures de la capacité de marche lors des tests sur tapis motorisé à charge constante a été étudiée par méta-analyse (NICOLAÏ ET AL. 2009).



En ce qui concerne la DMR (distance à laquelle la douleur apparaît), la reproductibilité de la mesure ne varie ni selon la vitesse ni selon la pente fixée. Le coefficient de corrélation intra-classe (CCI [IC 95 %]) calculé est de 0,85 [0,82-0,88]. Pour ce qui est de la DMM, le CCI moyen est de 0,90 [0,88-0,92], celui-ci variant en fonction des conditions de pentes imposées.

#### *2.1.1.b Les tests sur tapis motorisé à charge croissante*

Les tests à charge croissante (tests triangulaires) sont des tests au cours desquels l'intensité augmente progressivement jusqu'à ce que le patient devienne limité. Les deux protocoles les plus utilisés auprès des patients atteints d'AOMI sont ceux de Gardner et de Hiatt (HIATT ET AL. 1988; GARDNER ET AL. 1991). Tous deux utilisent une vitesse fixe de 3,2 km.h<sup>-1</sup> et l'intensité va progressivement augmenter via l'augmentation de la pente. Le protocole de Gardner, aussi appelé le test de « Gardner-Skinner », débute avec une pente nulle et qui augmente de 2,0 % toutes les deux minutes tandis que pour le protocole de Hiatt la pente augmente de 3,5 % toutes les trois minutes.

D'après la méta-analyse de Nicolai *et al.* (2009), la reproductibilité de la DMR lors d'un test à charge croissante est comparable à celle réalisée lors d'un test à charge constante. Le coefficient de corrélation intra-classe calculé est de 0,83 [0,80-0,85]. En ce qui concerne la DMM, ces tests à charge croissante sont significativement plus reproductibles ( $p < 0,001$ ) que les tests sur tapis à charge constante avec un CCI [IC 95 %] calculé de 0,95 [0,94-0,96].

En raison de l'augmentation plus progressive de l'intensité de l'effort, ces tests incrémentés semblent être mieux tolérés par les patients avec AOMI que les tests à charge constante. De ce fait, les DMR et DMM parcourues par les patients avec AOMI lors de ces tests sont plus importantes que lors des tests à charge constante (GARDNER ET AL. 1991).

Bien que les tests motorisés soient les tests de références pour l'évaluation de la capacité de marche, ces derniers présentent certaines limites. Parmi elles, le fait que la capacité de marche évaluée par ces tests motorisés soit intensité-dépendante : plus l'intensité du test est élevée, plus la capacité de marche mesurée diminue. De fait, les valeurs de capacité de marche obtenues lors d'un test de marche sont protocole dépendant. Restreindre l'évaluation à un même test pour tous les patients atteints d'AOMI n'est pourtant pas concevable du fait de leur hétérogénéité en matière

de limitations fonctionnelles à la marche. Prenons l'exemple d'un test unique à charge constante, l'intensité initiale pourrait ne pas être tolérée par les patients les plus limités sur le plan fonctionnel, les rendant alors incapables de réaliser le test tandis que d'autres patients avec une claudication légère pourraient ne jamais être limités (HIATT ET AL. 2014).

Une autre limite de ces tests effectués sur tapis motorisés vient du fait que l'évaluation de la capacité de marche qui y est associée est différente de celle estimée par les patients eux-mêmes (SIGGAARD-ANDERSEN & BONDE PETERSEN 1968; NICOLAÏ ET AL. 2009). Cela suppose que ces tests ne sont pas représentatifs de la marche en condition de vie réelle (ou de la perception qu'en a le patient) et donc que les résultats qu'ils fournissent sont peu transposables aux contextes de vie du patient (DEGISCHER ET AL. 2002).

Enfin, se pose la question de la faisabilité de ces tests en routine clinique : l'accès à un tapis motorisé n'est pas possible pour tous les médecins et le temps nécessaire pour la conduite d'un test de marche sur tapis peut être relativement important (NICOLAÏ ET AL. 2009). La contrainte de temps peut être d'autant plus importante qu'une évaluation fiable sur tapis motorisé requiert d'habituer les patients à cette forme de test compte tenu de l'effet d'apprentissage qui lui est associé (MCDERMOTT ET AL. 2014).

### *2.1.2 Le test de marche de six minutes (TM6)*

Le TM6 est un test simple non motorisé qui permet au clinicien d'évaluer la limitation fonctionnelle à la marche du patient atteint d'AOMI. Il est considéré par l'AHA comme une alternative raisonnable à l'utilisation du test de marche sur tapis motorisé pour : i) fournir une mesure objective de la limitation fonctionnelle liée à la claudication ; et ii) évaluer les réponses aux thérapies chez les patients âgés atteints d'AOMI ou ceux ne pouvant réaliser un test sur tapis (HIRSCH ET AL. 2006). Ce test exige un parcours au calme, sur terrain plat (ATS COMMITTEE ON PROFICIENCY STANDARDS FOR CLINICAL PULMONARY FUNCTION LABORATORIES 2002). Il peut donc être réalisé dans un couloir rectiligne. Au cours de ce test de marche dont le rythme n'est pas imposé, le patient doit parcourir la plus grande distance possible en six minutes en faisant des allers-retours sur le trajet défini, balisé tous les trois mètres et délimité par des cônes. C'est justement cette DMM qui est principalement prise en compte au cours de l'évaluation des patients atteints d'AOMI. Plus rarement, s'ajoute à celle-ci la prise en compte de la distance à partir de laquelle apparaît la douleur ischémique au niveau des membres inférieurs. L'équipe de Montgomery s'est intéressée

à la reproductibilité de la mesure de la DMR et de la DMM lors d'un TM6 avec des mesures réalisées de une à deux semaines d'intervalles. Ils rapportent pour la DMR un CCI de 0,94 et un CV de 10,4 %. Pour la DMM le CCI est de 0,75 et le coefficient de variation est de 47 % (MONTGOMERY & GARDNER 1998).

Parce qu'il permettrait davantage d'évaluer le niveau sous-maximal de la capacité fonctionnelle (ATS COMMITTEE ON PROFICIENCY STANDARDS FOR CLINICAL PULMONARY FUNCTION LABORATORIES 2002), le TM6 reflèterait mieux les limitations fonctionnelles éprouvées par le patient en condition de vie réelle que ne peut le faire un test sur tapis motorisé (MCDERMOTT ET AL. 2014). Néanmoins à ce titre, des expérimentations menées à l'aide du système GPS ont mis en évidence que la DMM mesurée en extérieur sur terrain plat est en moyenne 2,2 fois supérieure à la DMM mesurée lors d'un TM6 (LE FAUCHEUR ET AL. 2015). De par son temps contraint et court, le TM6 pourrait sous-estimer la capacité de marche des patients présentant des limitations à la marche légères ou modérées. De plus, la stratégie adoptée par le patient lors du TM6 (*i.e.*, sa vitesse de marche, le temps de récupération choisi suite à un arrêt causé par une douleur) peut influencer l'évaluation qui est fait des limitations fonctionnelles du patient atteint d'AOMI.

### *2.1.3 Le test de marche navette (Shuttle test)*

Le test de marche navette a été considéré par l'équipe de Zwierska *et al.* comme une alternative utile ou complémentaire au test de marche sur tapis motorisé lorsque l'objectif de l'évaluation fonctionnelle est d'estimer les effets de l'AOMI sur les limitations fonctionnelles en condition de vie réelle (ZWIERSKA ET AL. 2004). Ce test non motorisé consiste à faire marcher en aller-retour le patient sur un terrain plat entre deux plots distants de 10 mètres selon un rythme de marche imposé. Ainsi, des signaux sonores indiquent au patient à quel moment il doit se trouver au plot suivant. Deux modalités existent : i) test navette constant; ii) test navette incrémenté. Dans le cas du test navette constant, la vitesse est constante, fixée à 4,0 km.h<sup>-1</sup>. Dans le cas du test incrémenté, la vitesse initiale imposée est de 3,0 km.h<sup>-1</sup> et celle-ci augmente de 0,5 km.h<sup>-1</sup> par palier. Dans les deux cas, le test prend fin quand le patient n'arrive plus à suivre le rythme imposé c'est-à-dire quand il ne parvient plus à parcourir les dix mètres dans le temps imparti et qu'il est à plus de cinquante centimètres du plot au moment du signal sonore.

Au cours du test, il est demandé au patient d'indiquer le moment où apparaît la première douleur et de s'arrêter lorsque celle-ci l'empêche de continuer. Concernant la reproductibilité de la distance relative de marche, le coefficient de corrélation intra-classe calculé est de 0,69 et 0,74 pour le test constant et incrémenté respectivement (ZWIERSKA ET AL. 2004). La variabilité du test-retest de cette distance est comprise entre 26,2 % et 31,3 % pour le test constant et entre 29,1 et 25,9 % pour le test incrémenté. La reproductibilité est meilleure pour la DMM avec un CCI calculé de 0,81 et 0,87 pour le test constant et incrémenté respectivement (ZWIERSKA ET AL. 2004). Notons que, comme c'est le cas pour les tests motorisés, du fait de l'intensité de marche imposée dès le début du test, les patients les plus limités sur le plan fonctionnel peuvent mal tolérer ces tests tandis que les patients les moins limités pourraient atteindre leur vitesse maximale de marche avant d'atteindre leur seuil de tolérance à la douleur dans le cas d'un test navette constant.

## **2.2 En condition de vie réelle via des questionnaires de limitations fonctionnelles : une évaluation subjective/rapportée des symptômes**

L'occurrence des symptômes associés à l'ischémie d'effort en condition de vie réelle peut être évaluée par le clinicien par simple interrogatoire ou via l'utilisation de questionnaires de limitations fonctionnelles. Le Walking Impairment Questionnaire (WIQ), le Estimated Ambulatory Capacity by History (EACH) questionnaire et le Walking Estimated Lower Claudication by History (WELCH) questionnaire sont trois d'entre eux.

### *2.2.1 Walking Impairment Questionnaire (WIQ)*

Composé de 14 items, le WIQ (cf. Annexe 1, p. III) renseigne sur le degré de difficulté perçue du patient atteint d'AOMI pour :

- i) parcourir certaines distances allant de marcher chez soi à marcher 500 mètres;
- ii) marcher à certaines vitesses allant de l'allure lente à l'allure de footing;
- iii) monter des escaliers allant de un à trois étages (SCHIANO ET AL. 2006; MYERS ET AL. 2008).

Le degré de difficulté rencontrée par le patient pour chaque item est hiérarchisé de zéro (infaisable) à quatre (aucune difficulté). Il permet ainsi de calculer un score global compris entre 0 et 100, un score de 100 renvoyant à une absence de limitation fonctionnelle. Le WIQ présente l'avantage de standardiser les réponses et d'avoir été

comparé aux tests sur tapis motorisé (Myers et al 2008). Toutefois, en raison du grand nombre de réponses possibles et de la difficulté des questions, les erreurs de remplissage sont fréquentes. La corrélation (coefficient de Pearson) avec le tapis motorisé (vitesse 3,2 km.h<sup>-1</sup>, pente 10,0 %) est de  $r = 0,63$  et passe à  $r = 0,65$  après correction des erreurs de remplissage du questionnaire par le personnel soignant avec le patient. (MAHE ET AL. 2011).

### *2.2.2 Estimate Ambulation Capacity by History (EACH) questionnaire*

Le questionnaire EACH (cf. Annexe 2, p. IV) a été créé pour outrepasser les difficultés rencontrées par les patients atteints d'AOMI à évaluer leur capacité de marche. Il se base sur une évaluation qui tient compte non plus des distances mais des temps de marche. Ce questionnaire inclut quatre questions qui renseignent sur la durée estimée par le patient de maintien d'une marche à allure i) lente; ii) moyenne et iii) rapide et le temps de maintien d'une course. Pour chacune des questions, le patient est invité à choisir la durée (« impossible », « trente secondes », « une minute », « trois minutes », « dix minutes », « trente minutes », « une heure » ou « trois heures et plus ») qu'il semble être à même de maintenir aux différentes allures. À chaque durée est attribuée une valeur en accord avec sa position sur la liste des durées possibles : une réponse « impossible » vaut zéro, « 30 secondes » vaut un point, « 3 heures et plus » vaut sept points. À chacune des vitesses de déplacement est attribué un coefficient : le coefficient est de 1 pour « lente », de 2 pour « normale », de 4 pour « rapide » et de 7,286 pour la « course ». Comme pour le WIQ, le EACH permet de calculer un score global (entre 0 et 100) correspondant à la somme des scores obtenus aux quatre vitesses de déplacement divisée par 100. Un score de 100 renvoyant à une absence de limitation fonctionnelle. La relation entre le score du EACH et la distance maximale de marche mesurée sur tapis motorisé est modérée ( $r = 0,51$ ) (OUEDRAOGO ET AL. 2011).

Notons que cette corrélation est améliorée ( $r = 0,64$ ) si les scores initiaux sont corrigés par un coefficient tenant compte de la comparaison de la vitesse de marche usuelle du patient avec celle de ses proches (MAHE ET AL. 2011). Pour cela une question supplémentaire est posée avec cinq propositions de réponses : « Par rapport à la vitesse de marche moyenne de vos proches, de vos amis et des gens de votre âge), pensez-vous marcher habituellement ? 1) Nettement moins vite ? 2) Un peu moins vite ? 3) À la même vitesse ? 4) Un peu plus vite ? 5) Nettement plus vite ? » Le score corrigé est calculé en multipliant le score initial par le score attribué à la vitesse de marche habituelle du patient et divisé par 5. Par exemple un score EACH initial à 63 chez un

patient qui considère marcher « moins vite » (coefficient 2) donne un score EACH corrigé à 25,2 ( $63 \times 2/5$ ).

### *2.2.3 Walking Estimated Lower Claudication by History questionnaire (WELCH)*

Le WELCH (cf. version française en Annexe 3, p. V) est un questionnaire dérivé du EACH. Il est composé des mêmes items du EACH à l'exception de celui relatif à la course qui a été retiré. Comme pour le EACH, ce questionnaire permet de calculer un score global compris entre 0 et 100, un score de 100 renvoyant à une absence de limitation fonctionnelle.

Bien que les questionnaires soient des outils accessibles et simples à utiliser dans l'estimation des limitations fonctionnelles en condition de vie réelle des patients artériopathes claudicants, ils ne permettent pas de caractériser objectivement un TMR ou un TMM. Encore, le score au EACH et la distance maximale de marche déclarée par le patient atteint d'AOMI sont davantage corrélés aux mesures faites avec le GPS (que nous détaillerons dans le point suivant) qu'avec celles effectuées sur tapis motorisé (TEW ET AL. 2013). Par ailleurs s'ils peuvent aider le clinicien à rendre compte des limitations imposées par les symptômes dans la vie quotidienne des patients atteints d'AOMI, on ne sait pas dans quelles mesures le niveau d'AP spontané affecte la spécificité de ces questionnaires pour évaluer le degré d'atteinte fonctionnelle liée à l'occurrence des douleurs ischémiques au niveau des membres inférieurs.

## **2.3 En ambulatoire via des moniteurs portables : des évaluations prometteuses mais restrictives**

Dans la littérature actuelle, la question du test fonctionnel le plus adéquat à utiliser dans les essais thérapeutiques chez les patients atteints d'AOMI fait débat. Cependant, le consensus soutient qu'un test fonctionnel optimal doit être corrélé avec la limitation fonctionnelle signalée par le patient dans sa vie quotidienne (HIATT ET AL. 2014; MCDERMOTT ET AL. 2014; LE FAUCHEUR ET AL. 2015).

### 2.3.1 Le système de Géo-Positionnement Satellitaire (GPS)

Le système de Géo-Positionnement Satellitaire (GPS) a montré son intérêt pour l'évaluation de la capacité de marche en ambulatoire. Peu encombrant, peu couteux et relativement simple d'utilisation, ce système permet d'évaluer un ensemble de paramètres permettant de caractériser la capacité de marche du patient tels que :

- i) la durée des périodes de marche ;
- ii) la durée des périodes de repos (non marche) ;
- iii) la distance de chaque période de marche ;
- iv) la vitesse de marche de chaque période de marche ;
- v) le nombre d'arrêts réalisés ;

Ainsi, après un traitement du signal GPS, les DMM des patients artériopathes peuvent être déterminées. Cette technique présente l'intérêt de pouvoir étudier la marche des patients atteints d'AOMI dans leur environnement, sans aucune contrainte de vitesse ou de pente imposée. De plus, la technique GPS offre des perspectives dans l'étude objective de l'activité physique avec la possibilité de récolter des informations complémentaires sur le contexte de l'AP (*e.g.*, le lieu dans lequel se déroule l'AP). Ces informations peuvent s'avérer particulièrement utiles pour comprendre les facteurs qui limitent ou à l'inverse favorisent l'engagement des personnes dans l'AP et les facteurs influençant la capacité de marche (*e.g.*, vitesse, montée).

L'une des principales limites associées à l'utilisation actuelle du GPS est que sa précision est affectée par le degré d'obstruction de l'environnement (*i.e.*, immeubles, arbres, reliefs montagneux).

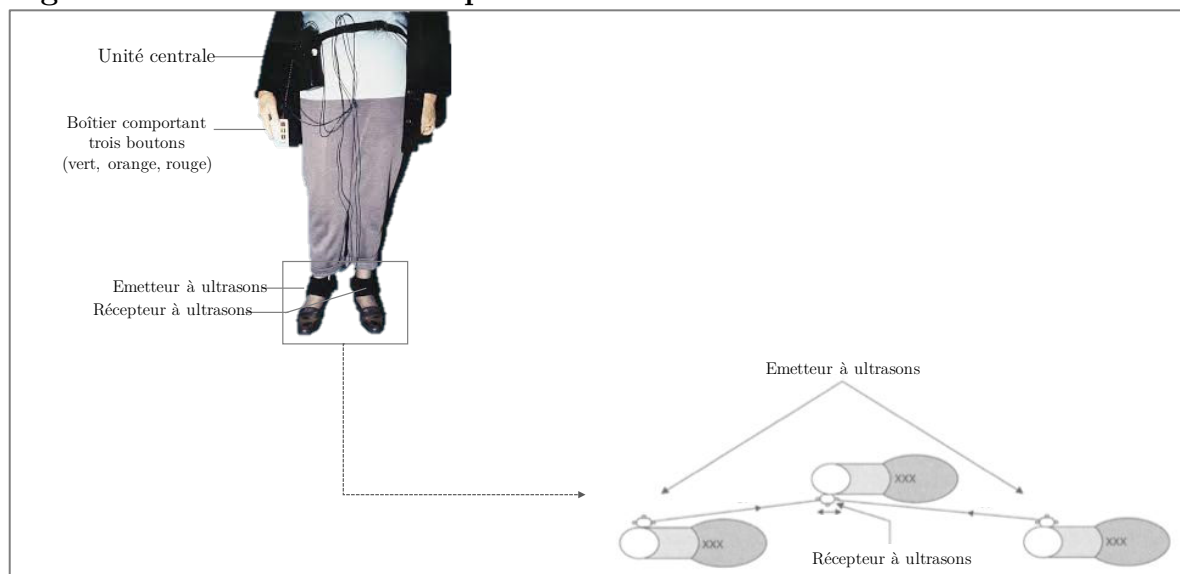
D'autres limites d'ordre plus technique restreignent l'utilisation du GPS dans l'évaluation de la capacité de marche en condition de vie réelle. Nous pouvons citer par exemple la non possibilité d'évaluer l'apparition de la douleur. Sur ce point, cette limitation reste majeure puisque la connaissance conjointe de la DMR (ou TMR) et de la DMM (ou TMM) est d'un intérêt majeur pour le clinicien afin qu'il puisse évaluer la répercussion réelle de la maladie dans le quotidien du patient. Cela est d'autant plus important que certains traitements peuvent modifier exclusivement la DMR ou la DMM (SEENAN ET AL. 2016). Enfin, sous son utilisation actuelle, le GPS ne permet pas la distinction des arrêts dus à la douleur ou à d'autres faits (*e.g.*, rencontre avec un ami) et peut conduire à une mauvaise interprétation de la capacité de marche en condition de vie réelle. C'est d'ailleurs une des limites majeures également rencontrée avec le dispositif activPALTM (PAL Technologies, Ltd., Glasgow, Écosse), un accéléromètre qui fut utilisé pour quantifier sur une période

prolongée (sept jours) les périodes de marche de patients artériopathes claudicants (CLARKE ET AL. 2013).

### 2.3.2 À travers l'utilisation du PADHOC (*Peripheral Arterial Disease Holter Control*)

Le PADHOC (cf. Figure 11, p. 101) est un dispositif externe composé de quatre éléments : i) un émetteur à ultrasons positionné au niveau de la malléole droite; ii) un récepteur à ultrasons positionné au niveau de la malléole gauche; iii) une unité centrale placée au niveau de la taille du patient reliée par des câbles à l'émetteur et au récepteur; et iv) un boîtier comportant trois boutons (vert, orange, rouge) tenu à la main par le patient connecté lui-même par des câbles à l'unité centrale. Ce dispositif est utilisé au cours d'un test non motorisé à allure libre appelé « la double épreuve de marche physiologique » (BOISSIER ET AL. 1997). Ce test permet d'analyser deux périodes de marche consécutives limitées par la douleur. Ce mode d'évaluation de la marche des patients artériopathes a été développé afin d'étudier la marche chez des patients ne pouvant pas être testés sur tapis et dans le but de réaliser une évaluation sans aucune contrainte imposée aux patients comme la vitesse du tapis ou la pente de celui-ci.

**Figure 11. Illustration du dispositif PADHOC**



Adapté de Coughlin, P.A., Kent, P.J., Berridge, D.C., Scott, D.J.A. & Kester, R.C. (2006): *The PADHOC Device is a Better Guide to the Actual Incapacity Suffered by Claudicants than the Gold Standard Constant Load Treadmill Test.* – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 32/6: 651–656. doi: 10.1016/j.ejvs.2006.03.012.



Au cours de ce test, le patient équipé du PADHOC réalise sous supervision et sur terrain plat (en extérieur ou intérieur), une première marche jusqu'à la douleur induisant l'arrêt. Au cours de la marche, le patient appuie i) sur le bouton vert lorsqu'il débute la marche; ii) sur le bouton orange lorsque les premières douleurs apparaissent, et iii) sur le bouton rouge lorsqu'il s'arrête à cause de la douleur. Grâce à l'émetteur et au récepteur à ultrasons, les distances correspondant aux deux derniers appuis (distance de marche relative et absolue) sont mesurées et enregistrées ainsi que la vitesse de marche adoptée par le patient lors du test. Après une période de récupération debout d'une minute, le test est à nouveau réalisé sous les mêmes conditions. Ce test a été considéré comme une alternative possible pour évaluer les limitations fonctionnelles du patient telles qu'elles le sont en condition de vie réelle et ce de manière plus représentative que ne le permet une évaluation sur tapis motorisé (COUGHLIN ET AL. 2006). Il présente l'avantage de permettre une mesure de l'incapacité réelle vécue par l'artériopathe sans charge de travail constante prédéfinie contre laquelle le patient doit marcher. Cependant, les contraintes liées à la mise en place de ce système et son caractère encombrant rendent son utilisation limitée en condition de vie réelle.

### **3. Développement d'une méthode ambulatoire de quantification de l'occurrence de la douleur ischémique à la marche par couplage de moniteurs portables**

#### **3.1 Intérêt de la démarche et objectif**

Comme évoqué précédemment, il existe un intérêt réel pour les cliniciens et les équipes pluridisciplinaires à pouvoir quantifier la symptomatologie (apparition et douleur induisant l'arrêt) des patients artériopathes en condition de vie réelle. Cependant, comme abordé, les dispositifs existants sont contraignants limitant de fait leur applicabilité en routine clinique. Il existe donc un intérêt à développer une méthode accessible et fiable, permettant de quantifier l'occurrence des douleurs ischémiques et des arrêts induits par ces douleurs chez des patients avec AOMI dans leur quotidien sur des périodes prolongées. À ce titre, nous avons conduit des expérimentations auprès d'artériopathes présentant une ischémie confirmée lors d'une TcPO<sub>2</sub> d'effort (mesure du *DROP*). Celles-ci avaient pour but i) d'étudier la faisabilité de quantifier à l'aide de moniteurs portables leurs douleurs (WPM, *Walking Pain Manifestation*) et les arrêts induits par ces douleurs (SIWP, *Stop Induced by Walking Pain*) lors de sessions de marche et en condition de vie réelle ; et ii) de déterminer la

validité clinique des TMM et TMR obtenues à partir de la méthodologie développée. C'est l'objet du travail expérimental présenté ci-après qui a fait l'objet d'un article en préparation pour soumission au *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*.

### 3.2 Procédure expérimentale

#### 3.2.1 Critères d'inclusion et de non inclusion

Cette étude a pu être menée dans le cadre du projet CLASH (n° NCT02041169) approuvé par le Comité de Protection des Personnes de Rennes (CPP Ouest V, Rennes). Le recrutement des patients atteints d'AOMI participant à ce projet se faisait au sein du service de consultation de radiologie et d'imagerie médicale du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Rennes Pontchaillou (35). Les patients artériopathes recrutés répondaient aux critères d'inclusion et de non inclusion présentés ci-après dans le tableau 1.

**Tableau 1. Critères d'inclusion et de non inclusion du protocole CLASH**

#### Critères d'inclusion :

- Ayant donné un consentement libre, éclairé et par écrit
- Âge supérieur  $\geq 18$  ans, sans limite maximale d'âge
- Assuré social
- Index de Pression Systolique (IPS) de repos  $\leq 0,90$  ou i) si IPS de repos  $> 0,90$  et  $< 1,00$  une chute de la pression systolique de cheville ou de l'IPS de 30 et 20% respectivement suite à un test sur tapis motorisé (mesure post-effort) ; ou ii) si IPS de repos  $> 1,40$ , IPSGO  $\leq 0,70$
- Symptomatologie de type "claudication intermittente" définie par des douleurs dans les membres inférieurs survenant à la marche obligeant le patient à s'arrêter, la douleur diminuant ou cédant en 10 minutes ou moins; les patients présentant également des douleurs de repos d'origine potentiellement vasculaire peuvent également être inclus (ces douleurs de repos ne doivent survenir préférentiellement que la nuit et/ou que lorsque le patient est en position allongée ou assise; les patients présentant des douleurs de repos survenant régulièrement debout ne peuvent pas être inclus). Cette symptomatologie est évaluée à l'aide du questionnaire de San Diego puis confirmée lors du test sur tapis motorisé.
- Distance maximale de marche sur tapis  $< 500$  m (protocole 3,2 km.h<sup>-1</sup>, 10 % de pente)

**Critères de non inclusion :**

- Inaptitude à comprendre les consignes de l'étude
  - Habitation située à plus de 50 km du CHU
  - Contre-indication à la marche (anévrisme de l'aorte abdominale  $> 4$  cm)
  - AOMI avec ischémie aiguë nécessitant une intervention en urgence, troubles trophiques imposant ou ayant imposé une amputation de jambe
  - Limitation à l'exercice de cause non vasculaire
  - Accident cardio-vasculaire majeur dans les trois mois précédant l'inclusion
  - Femme enceinte et parturiente
  - Personnes majeures faisant l'objet d'une protection légale (sauvegarde de justice, curatelle, tutelle), personnes privées de liberté
- 

*3.2.2 Protocole de l'étude*

Par soucis de lisibilité, nous détaillerons ci-après exclusivement une partie du protocole CLASH, celle utile à la compréhension de l'étude menée dans le cadre de cette thèse. Ainsi, les patients recrutés réalisaient sur une période d'un mois, des mesures en laboratoire de leur capacité de marche sur tapis de marche motorisé (CHU de Rennes), une mesure de l'AP et de la symptomatologie en condition de vie réelle durant sept jours et une session de marche en extérieur de 45 à 60 minutes (Campus de Ker Lann, à Bruz).

*3.2.2.a Visite d'inclusion et mesures de la capacité de marche en laboratoire*

La première visite au laboratoire était réalisée la visite d'inclusion. Celle-ci était constituée de quatre temps distincts. Un premier temps durant lequel, par interrogatoire, était retracé l'historique clinique du patient (*i.e.*, facteurs de risque, évolution de la pathologie, antécédents opératoires, histoire tabagique, traitements médicaux, biologie sanguine) puis par une série de mesures anthropométriques était mesuré la taille, la masse et le tour de taille des patients. S'en suivait un second temps au cours duquel différents questionnaires étaient complétés par le patient à savoir le San Diego Claudication Questionnaire, le WIQ et le SF-36. Dans ce même temps il était demandé au patient d'estimer sa DMR, sa DMM, son TMR et son TMM.

Le questionnaire de claudication de San Diego (CRIQUI ET AL. 1996) permettait de caractériser la nature et la localisation des symptômes de douleurs ressentis par les patients atteints d'AOMI et de classifier ces derniers selon trois catégories de symptômes : i) claudication intermittente de type Rose (douleurs survenant exclusivement au(x) mollet(s); ii) claudication atypique du fait de la localisation des symptômes (douleurs survenant au niveau des hanches, et/ou des fesses, et/ou des cuisses, et/ou de la voûte plantaire); et iii) claudication atypique du fait de l'apparition de douleurs parfois présentes au repos. Dans un troisième temps était effectuée une mesure de l'IPS de repos à l'aide d'une sonde Doppler selon les recommandations de l'AHA telles que présentées dans le chapitre 1 de ce manuscrit (point 1.4 p. 24). Cette mesure permettait de s'assurer que le patient ait bien un IPS pathologique (*i.e.*,  $\leq 0,90$ ). Enfin, dans un quatrième et dernier temps, le patient réalisait un test de marche à charge croissante sur tapis motorisé associé à une mesure de TcPO<sub>2</sub> (mesure transcutanée de la pression partielle d'oxygène) en suivant le protocole de Gardner-Skinner (vitesse fixée à 3,2 km.h<sup>-1</sup>, un premier palier de 2 minutes à 0 % de pente, et une pente qui augmente ensuite de 2 % toutes les 2 minutes) en indiquant à l'investigateur à quel temps apparaissait la douleur (TMR<sup>[GARDNER]</sup>) et à quel temps cette douleur induisait l'arrêt (TMM<sup>[GARDNER]</sup>). Brièvement cette mesure non invasive couplée à une épreuve d'effort permet de préciser la participation artérielle à l'effort d'une symptomatologie douloureuse en reflétant l'état ischémique de différents sites anatomiques (principalement fesses et mollets) à l'effort.

La seconde visite en laboratoire planifiée dans le cadre du protocole, permettait d'évaluer la capacité de marche du patient lors d'un test Strandness (TMR<sup>[STRANDNESS]</sup>) (TMM<sup>[STRANDNESS]</sup>).

### *3.2.2.b Mesure de l'AP et de la symptomatologie en condition de vie réelle durant sept jours (AP7J)*

À la fin de la visite d'inclusion, les patients artériopathes se voyaient remettre deux moniteurs portables (*i.e.*, un accéléromètre et une montre-bracelet marqueur d'événements). Ces deux moniteurs portables devaient être portés quotidiennement par le patient jusqu'à la prochaine visite (sept jours minimum, (AP7J)). Il était demandé aux patients i) de ne pas ôter les moniteurs portables excepté lors de la toilette et la nuit pour l'accéléromètre; ii) de conserver leurs habitudes de vie quotidienne et iii) d'appuyer sur le bouton de la montre marqueur d'événements pour signaler l'apparition de douleurs habituelles au niveau du ou des membres inférieurs

(un appui sur la montre) et pour signaler un arrêt imposé par et exclusivement par cette même douleur (deux appuis consécutifs ou plus sur la montre).

Les patients artériopathes se voyaient remettre également un cahier à compléter quotidiennement pendant une semaine en indiquant approximativement les activités de la journée réalisées et les moments de la journée durant lesquels ces activités s'étaient déroulées.

Au moment de la remise en main propre des moniteurs portables, l'investigateur s'assurait systématiquement que le patient sache placer correctement les moniteurs portables en autonomie et qu'il ait bien compris les consignes concernant les appuis sur la montre marqueur d'événements en le mettant en situation. Durant les sept jours de port des appareils, un message était envoyé chaque matin sur le téléphone portable du patient pour lui rappeler de bien porter les appareils. Les moniteurs portables et le carnet d'activités étaient rapportés par le patient à l'occasion de la seconde visite planifiée au CHU. À l'occasion de cette visite, l'investigateur recueillait les moniteurs portables et recueillait auprès du patient son ressenti quant au fait de devoir porter ces outils quotidiennement et quant aux difficultés éprouvées ou non à utiliser le bouton marqueur d'événements de la montre (acceptabilité et utilisabilité des outils).

### *3.2.2.c Session de marche en extérieur*

La marche en extérieur (OS) visait à i) évaluer la capacité des patients atteints d'AOMI, à utiliser correctement la montre, tout au long de la marche, afin de signaler tout WPM et SIWP ; ii) calculer à partir des appuis enregistrés la capacité de marche en extérieur ( $TMR^{[OS]}$  et  $TMM^{[OS]}$ ) des patients ; et iii) analyser celle-ci au regard des mesures effectuées en laboratoire ( $TMR^{[GARDNER]}$ ,  $TMM^{[GARDNER]}$ ,  $TMR^{[STRANDNESS]}$ ,  $TMR^{[GARDNER]}$ ). Cette marche (45-60 minutes) était réalisée sur terrain plat (0 % de pente) autour d'une piste d'athlétisme. Il était demandé au patient de marcher à son rythme habituel jusqu'à ce que des symptômes de douleurs ischémiques le forcent à s'arrêter. Il était demandé au patient pour toute la durée de la marche d'appuyer une fois pour indiquer WPM et deux fois pour indiquer SIWP. Une fois à l'arrêt, le patient décidait du moment où il repartait pour la marche suivante comme il l'aurait fait dans sa vie de tous les jours et cela pendant 45 à 60 minutes. Pour ce test le patient était équipé, entre autres, des deux moniteurs portables (*i.e.*, la montre bracelet marqueur d'événements pour indiquer WPM et SIWP, et l'accéléromètre) ainsi que d'un récepteur GPS DG100 GlobalSat®, Tapei, Inc., Taiwan ; ~ 55 euros) ce dernier permettant de caractériser la capacité de marche des patients lors des sessions de

marche (*i.e.*, durée des arrêts, nombre d'arrêts, durée de la marche, distance totale parcourue, TMM<sup>[GPS]</sup>).

### 3.2.3 Les moniteurs portables utilisés pour la mesure de la symptomatologie en condition de vie réelle et la session de marche en extérieur

#### 3.2.3.a L'accéléromètre wGT3X+

Pour ce projet nous avons utilisé un accéléromètre pour évaluer l'AP des patients artériopathes sur la période des sept jours. Les accéléromètres sont des capteurs de mouvements non invasifs et simples d'utilisation capables de mesurer les accélérations  $\geq 2$  g des segments du corps selon trois axes (vertical, antéro-postérieur et médio-latéral) (NICHOLS ET AL. 2000; FUDGE ET AL. 2007).

Pour ce faire, ces derniers intègrent un capteur constitué d'une masse (dite « sismique ») suspendue par un ressort. En mesurant la force à laquelle est soumise cette masse, l'accélération est déduite. Les enregistrements peuvent s'effectuer pendant plusieurs heures ou semaines selon la capacité de stockage de l'appareil et la fréquence d'échantillonnage configurée (*e.g.*, 30 Hz-100 Hz). Bien que positionnable à de multiples sites, dans le cadre de l'évaluation de l'AP, il est préférable que l'accéléromètre soit placé au plus près du centre de masse. Pour cette raison, dans la littérature il est courant de le voir placé au niveau de la hanche ou dans le bas du dos (YANG & HSU 2010; PLASQUI ET AL. 2013). La variable principalement mesurée est le vecteur magnitude (VM) qui correspond aux *counts* (quantité d'accélération produite sur une période de temps donné) obtenus dans les trois axes au cours d'un intervalle de temps donné. Ainsi, pour chaque intervalle de temps, le VM peut être calculé à partir des *counts* obtenus dans l'axe vertical (AV), l'axe antéro-postérieur (AAP) et l'axe médio-latéral (AML) comme suit :

---


$$VM = \sqrt{AV^2 + APA^2 + AML^2}$$


---

L'accéléromètre utilisé pour ce projet était l'accéléromètre wGT3X+ (cf. Figure 12, p. 112, ActiGraph<sup>TM</sup>, LLC, Pensacola, FL : ~200 euros; dimensions : 46 × 33 × 15 mm; poids : ~19 g; firmware 2.2.1). Celui-ci était configuré à l'aide du logiciel Actilife<sup>®</sup> (version 6.5.3) pour enregistrer à une fréquence de 30 Hz. Il était ensuite inséré dans une pochette pour assurer sa protection, elle-même attachée à une ceinture pour faciliter son positionnement au niveau de la crête iliaque (hanche) droite du patient.

### 3.2.3.b La montre-bracelet marqueur d'événements

Afin d'enregistrer l'occurrence des douleurs, nous avons utilisé pour ce projet la montre-bracelet marqueur d'événements Micro Motionlogger® (MML, Ambulatory Monitoring, Inc., Ardsley, NY; firmware Action-W version 2). Cette montre digitale (cf. Figure 12, p. 112), pas plus imposante qu'une montre classique (3.6 x 3.6 x 1.2cm) ni plus lourde (30 grammes) dispose de deux boutons au niveau du cadran. L'appui sur l'un d'entre eux permet l'enregistrement d'un marqueur d'événements. Cette montre était configurée pour permettre l'enregistrement d'une donnée toutes les cinq secondes sur une période de sept jours (fréquence d'échantillonnage la plus importante compte tenu de la capacité de stockage de la montre).

### 3.2.3.c Le récepteur GPS

Lors de la marche en extérieur supervisée, le patient était équipé d'un récepteur GPS DG100 (GlobalSat®, Tapei, Inc., Taiwan ; ~ 55 euros) avec la fonction *EGNOS* activée (pour European Geostationary Overlay Service, système d'augmentation régionale satellitaire). L'unité du récepteur GPS (dimensions : 80 × 55 × 18 mm ; masse : ~200 g) était placée dans une pochette que le patient portait en bandoulière et son antenne (AT-65 GPS Active Antenna ; GlobalSat®, Taipei, Inc. Taiwan, ~15 euros) était fixée sur l'épaule droite du participant afin d'optimiser la réception des signaux satellites. Le récepteur GPS était configuré avant la session de marche en extérieur avec un ordinateur personnel et le logiciel associé à l'appareil (Data logger PC utility, version 1.1, 2006) pour un enregistrement à une fréquence de 1 Hz. La validité et la reproductibilité intra- et inter-unités du DG100 ont été étudiées en environnement non obstrué (NOURY-DESVAUX ET AL. 2011; ABRAHAM ET AL. 2012). Le DG100 est un appareil précis pour étudier la marche, avec une erreur d'estimation exprimée en CV [IC 95 %] qui est de 3,1 % [2,9 % ; 3,3 %] pour l'estimation des distances, et de 2,8 % [2,6 % ; 3,1 %] pour l'estimation des vitesses (NOURY-DESVAUX ET AL. 2011). Sa reproductibilité intra-unité lors de la marche a été caractérisée avec un CV de 2,8 % [2,5 % ; 3,2 %], et sa variabilité inter-unités est < 5 %, que ce soit pour l'estimation des distances ou l'estimation des vitesses de marche (ABRAHAM ET AL. 2012).

### 3.3 Collecte et traitement des données

#### 3.3.1 Données issues des expérimentations en laboratoire

##### 3.3.1.a Temps de marche relatif et maximal au Gardner-Skinner

Comme évoqué précédemment, lors de la visite d'inclusion, chaque patient réalisait un test de marche à charge croissante sur tapis motorisé en suivant le protocole de Gardner-Skinner (vitesse fixée à 3,2 km.h<sup>-1</sup>, un premier palier de 2 minutes à 0 % de pente, et une pente qui augmente ensuite de 2 % toutes les 2 minutes). Systématiquement, le test commençait par une phase de repos de deux minutes pendant laquelle le patient était debout, immobile. Ensuite, tout au long de ce test, il était demandé au patient de n'utiliser les barres du tapis que pour s'équilibrer, pas pour s'appuyer, et ce afin de ne pas altérer la valeur de la capacité de marche mesurée et d'indiquer le retentissement (apparition et graduation de l'intensité) des douleurs à la marche. Pour se faire, le patient avait face à lui une échelle de douleur (cf. Figure 10, p. 93). Lorsque la douleur induisant l'arrêt était atteinte, le tapis était mis à l'arrêt (< 5 secondes). Les temps de marche relatif (TMR<sup>[GARDNER]</sup>) et maximal (TMM<sup>[GARDNER]</sup>) étaient rapportés par l'expérimentateur.

##### 3.3.1.b Temps de marche relatif et maximal au Strandness

Lors de la seconde visite au laboratoire, les patients artériopathes réalisaient un test de marche rectangulaire sur tapis motorisé en suivant le protocole Strandness (3,2 km.h<sup>-1</sup> et 12 % de pente). La méthodologie employée lors de ce test était ensuite la même que pour celle du Gardner décrite précédemment. Les temps de marche relatif (TMR<sup>[STRANDNESS]</sup>) et maximal (TMM<sup>[STRANDNESS]</sup>) étaient rapportés par l'expérimentateur.

##### 3.3.1.c Questionnaires WIQ et SF-36

Au moment de la visite d'inclusion, pour chaque patient, les données du questionnaire WIQ étaient collectées par l'expérimentateur. Un score global sur 100 (WIQ<sup>[TOTAL]</sup>) et un score pour chaque aspect fonctionnel (*i.e.*, (WIQ<sup>[DISTANCE]</sup>), (WIQ<sup>[VITESSE]</sup>), (WIQ<sup>[ESCALIER]</sup>)) était calculé.

Les données du questionnaire SF-36 étaient également collectées par l'expérimentateur pour chacun des patients artériopathes au moment de leur visite d'inclusion. Un score



global de la qualité de vie (SF36<sup>[GLOBAL]</sup>) et un score spécifique à chaque dimension était calculé (SF36<sup>[PF]</sup>, SF36<sup>[RP]</sup>, SF36<sup>[BP]</sup>, SF36<sup>[GH]</sup>, SF36<sup>[SF]</sup>, SF36<sup>[MH]</sup>, SF36<sup>[RE]</sup>, SF36<sup>[HT]</sup>) ainsi qu'un score moyen physique et un score moyen mental (SF36<sup>[PCS]</sup> et SF36<sup>[MCS]</sup> respectivement).

Pour rappel, le questionnaire SF-36 composé de 36 items évalue 8 dimensions.

- La dimension « Activité Physique » (PF): une mesure des limitations des activités physiques telles que marcher, monter des escaliers, se pencher en avant, soulever des objets et les efforts physiques importants et modérés.
- La dimension « Limitations dues à l'état physique » (RP) : une mesure de la gêne, due à l'état physique, dans les activités quotidiennes : mesure des limitations de certaines activités ou la difficulté pour les réaliser.
- La dimension « Douleurs physiques » (BP) : une mesure de l'intensité de la douleur et de la gêne occasionnée.
- La dimension « Santé perçue » (GH) : une auto-évaluation de la vitalité, de l'énergie, de la fatigue.
- La dimension « Vie et relation avec les autres » (SF) : une mesure des limitations des activités sociales dues aux problèmes de santé physique et psychique.
- La dimension « Santé psychique » (MH) : Une auto-évaluation de la santé psychique : anxiété, dépression, bien-être.
- La dimension « Limitations dues à l'état psychique » (RE) : une mesure de la gêne due aux problèmes psychiques dans les activités quotidiennes.
- La dimension « Évolution de la santé perçue » (HT) : Évolution de la santé perçue comparée d'une année à l'autre.

### *3.3.2 Données issues de la session de marche en extérieur*

Chaque session de marche en extérieur (OS) était réalisée sur le même site (Bruz, France; latitude : 48°2'51.45" Nord; longitude : 1°44'11.63 Ouest) sous la supervision de deux expérimentateurs. En amont du test (~10 minutes), tous les appareils (GPS, accéléromètre, MML) étaient initialisés et les expérimentateurs conduisaient en voiture le patient sur site. Une fois sur site, était respecté une phase de repos de dix minutes pendant laquelle le patient était debout, immobile et durant laquelle les consignes étaient rappelées au patient. Simultanément avec le début de la première marche du patient, les expérimentateurs mettaient en marche un

chronomètre. Ensuite, tout en se tenant en retrait du patient (cinq mètres derrière lui pour ne pas influencer son rythme de marche) ils reportaient sur la fiche d'expérimentation le temps chronomètre (selon une précision de l'ordre de la seconde) des intentions d'appuis du patient sur la montre (pour signaler une douleur) ainsi que des arrêts réalisés et cela durant toute la durée du test (45 - 60 minutes). Le but de cette procédure était double. En premier lieu, pouvoir comparer les événements (*i.e.*, douleurs et/ou arrêts) enregistrés par le patient à l'aide d'un marqueur montre lors de sa déambulation ( $WPM^{[OS\_RECORDED]}$ ,  $SIWP^{[OS\_RECORDED]}$ ) avec les événements ayant réellement eu lieu ( $WPM^{[OS\_OBSERVED]}$ ,  $SIWP^{[OS\_OBSERVED]}$ ). En second lieu, à partir de ces données, pouvoir comparer les  $TMR^{[OS\_RECORDED]}$  et  $TMM^{[OS\_RECORDED]}$  enregistrés par la montre avec les  $TMR^{[OS\_OBSERVED]}$  et  $TMM^{[OS\_OBSERVED]}$  réellement observés.

À la fin de la session de marche en extérieur, les données de tous les appareils étaient téléchargées vers un ordinateur en utilisant leurs logiciels respectifs et les données météorologiques (*i.e.*, température (°C), humidité (%), vent (km.h<sup>-1</sup>), et pression barométrique (hPa)) étaient recueillies en utilisant les informations fournies par la station météo se trouvant directement à proximité (<https://www.wunderground.com>). Ensuite, en utilisant une méthodologie de traitement des données précédemment validée pour détecter les périodes de marche et d'arrêt à partir du signal de vitesse, pour chaque marche en extérieur était calculé les paramètres suivants : durée totale de la session de marche, distance totale parcourue, vitesse de marche, nombre d'arrêts réalisés,  $TMM^{[GPS]}$ , durée des arrêts) (LE FAUCHEUR ET AL. 2008). Enfin, pour chaque période de marche et d'arrêt détectée à l'aide de cette méthodologie, était calculé la moyenne et la déviation standard des *counts* associés, mesurés par l'accéléromètre.

### 3.3.3 Données issues des sept jours en condition de vie réelle

#### 3.3.3.a Synchronisation des moniteurs portables

Juste avant la remise en main propre des moniteurs portables au patient, ces derniers (*i.e.*, l'accéléromètre et la montre-bracelet marqueur d'événements) étaient synchronisés et initialisés à l'aide de leurs logiciels respectifs. Comme évoqué précédemment (point 3.2.3, p.107) l'accéléromètre était configuré à l'aide du logiciel Actilife® (version 6.5.3) pour enregistrer à une fréquence de 30 Hz tandis que la montre était configurée pour permettre l'enregistrement d'une donnée toutes les cinq secondes sur une période de sept jours (fréquence d'échantillonnage la plus importante compte tenu de la mémoire de la montre).

### 3.3.3.b Vérification de la dérive des moniteurs portables

Étant donné l'utilisation de deux moniteurs portables (*i.e.*, l'accéléromètre et la montre-bracelet marqueur d'événements) sur des durées prolongées et l'analyse conjointe des données enregistrées par chacun d'eux, nous avons quantifié la dérive temporelle maximale que pouvait présenter les différents moniteurs portables les uns par rapport aux autres. Pour se faire, quotidiennement durant 7 jours nous avons à heure fixe, simultanément mis en mouvement l'ensemble des accéléromètres à notre disposition ( $n = 5$ ) et effectué un appui sur chacune des montres ( $n = 5$ ) (cf. Figure 12, p. 112). À l'issue des 7 jours, après téléchargement des données nous avons quantifié la différence temporelle maximale s'étant instaurée entre deux moniteurs portables.

**Figure 12. Dispositif utilisé pour quantifier la dérive des moniteurs portables sur sept jours**



L'analyse de ces données révèle que sur une durée de sept jours, une dérive temporelle s'installe sur certains appareils. Cependant, le décalage temporel maximal entre deux moniteurs portables (accéléromètre et montre) n'excède pas quinze secondes (*e.g.*, accéléromètre « C » et montre « D » dans le tableau 2 ci-après).

**Tableau 2. Dérive temporelle (en secondes) des moniteurs portables au fil des jours**

|                | wGT3X+ |    |   |   |    | Montre |   |   |    |   |
|----------------|--------|----|---|---|----|--------|---|---|----|---|
|                | A      | B  | C | D | E  | A      | B | C | D  | E |
| Jour 1 (+10h)  | 1      | 1  | 5 | 2 | 1  | 0      | 0 | 0 | 0  | 0 |
| Jour 2 (+34h)  | 1      | 1  | 4 | 3 | 0  | 0      | 0 | 5 | 5  | 0 |
| Jour 3 (+58h)  | 0      | 0  | 4 | 3 | -1 | 0      | 0 | 5 | 5  | 0 |
| Jour 4 (+82h)  | -1     | -1 | 4 | 3 | -1 | 0      | 5 | 5 | 5  | 0 |
| Jour 5 (+106h) | -1     | -2 | 3 | 4 | -2 | 0      | 5 | 5 | 5  | 0 |
| Jour 6 (+130h) | -2     | -3 | 2 | 4 | -3 | -5     | 5 | 5 | 5  | 0 |
| Jour 7 (+154h) | -2     | -4 | 2 | 5 | -3 | -5     | 5 | 5 | 10 | 0 |
| Jour 8 (+178h) | -3     | -5 | 2 | 5 | -4 | -5     | 5 | 5 | 10 | 0 |

*Note. En rouge les plus grandes dérives temporelles enregistrées à savoir 5 secondes pour l'accéléromètre wGT3X+ B et 10 secondes pour la montre D.*

### 3.3.3.c Téléchargement des données issues des moniteurs portables et création d'un fichier unique de données pour l'ensemble des moniteurs portables

À l'occasion de la seconde visite du patient au laboratoire, celui-ci remettait à l'expérimentateur les deux moniteurs portables qu'il lui avait été demandé de porter les jours auparavant (délai minimum de sept jours entre les deux visites) ainsi que le cahier de report d'activités complété. Les données brutes d'accélération enregistrées par le wGT3X+ étaient ensuite téléchargées sur un ordinateur en utilisant le logiciel Actilife® (version 6.5.3) du constructeur. Ces données brutes étaient ensuite converties en counts.s<sup>-1</sup> exprimées suivant le VM (cf point 3.2.3.a, p. 107) avec application d'un filtre LFE (Low Frequency Extension, filtre étendant la sensibilité de l'appareil aux basses fréquence ) et enregistrées dans un fichier Excel®. Ainsi pour chaque patient était disponible à l'échelle de la seconde l'horodatage et les valeurs de counts correspondantes suivant le VM et cela pour les sept jours de port.

Les données de la montre étaient à leur tour téléchargées sur un ordinateur en utilisant le logiciel Action-W (version 2) et converties dans un fichier Excel®. Ainsi pour chaque patient était disponible à l'échelle d'une donnée toutes les cinq secondes l'horodatage ainsi que les marqueurs événements enregistrés et cela pour les sept jours de port. Afin d'optimiser l'analyse conjointe des données des deux moniteurs portables, les deux fichiers Excel® étaient ensuite fusionnés suivant un même horodatage (cf. Figure 13, p. 114).

Figure 13. Processus de fusion des données des deux moniteurs portables



Notes. A. Données issues de l'accéléromètre. B. Données issues de la montre marqueur d'événements. C. Données de l'accéléromètre et de la montre marqueur d'événements fusionnées selon un horodatage commun.

### 3.3.3.d Identification des jours de port considérés comme valides

Une fois les données téléchargées, étaient identifiés les jours de port des moniteurs portables considérés comme valides/non valides. Pour l'accéléromètre et la montre, un jour de port était considéré comme valide si le temps de port par jour était supérieur ou égal à 10 heures (Tudor-Locke et al. 2012). Pour définir le temps de port journalier de l'accéléromètre, nous appliquons l'algorithme de Choi (CHOI ET AL. 2012) à travers l'utilisation du logiciel R (version 3.1.3, R Development Core Team, 2014). Celui-ci considère que l'accéléromètre n'est pas porté lorsque les *counts* sont à zéro pendant une durée supérieure ou égale à 90 minutes (interruption autorisée avec des données > 0 sur une période de durée allant jusqu'à 2 minutes maximum et avec 30 minutes de données égales à 0 en amont ou en aval de l'interruption).

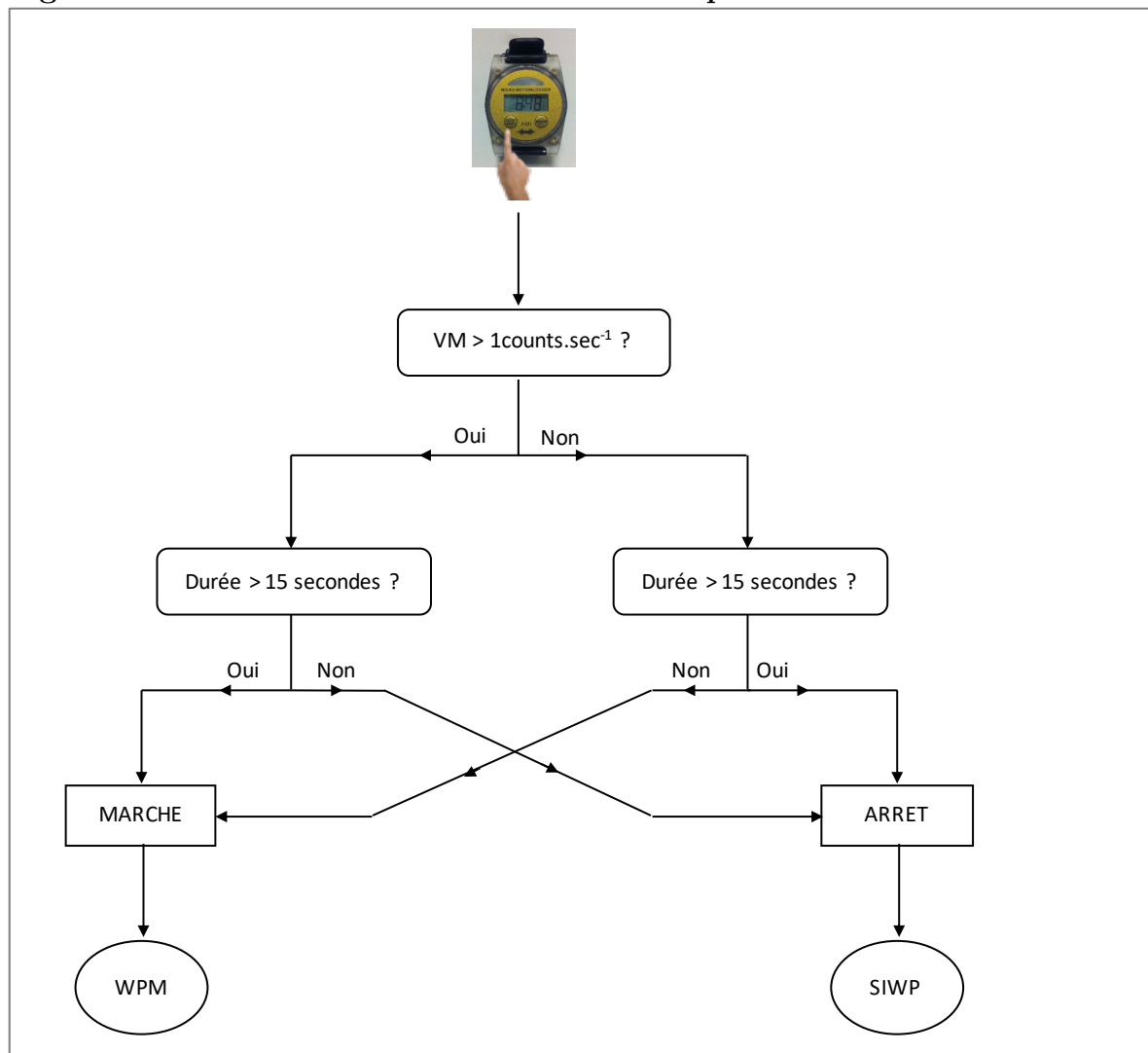
Pour définir le temps de port journalier de la montre, nous utilisons la fonction « LIFE » de la montre. Cette fonction, activée lors du paramétrage de la montre permettait l'enregistrement des vibrations corporelles et de fait l'identification des périodes de port/non port.

### 3.3.3.e Labélisation des marqueurs enregistrés par la montre

Chaque marqueur événement enregistré sur la montre lors d'un jour valide (pour l'accéléromètre et la montre) était ensuite labélisé afin de distinguer les appuis

douleurs (WPM<sup>[AP7J]</sup>), des appuis arrêts (SIWP<sup>[AP7J]</sup>) ou des appuis erreurs (INCONSISTENT<sup>[AP7J]</sup>) au regard des consignes données lors de la remise des moniteurs portables. Pour effectuer cette labélisation, nous distinguons tout d'abord si le marqueur avait lieu lors d'une période de marche ou d'une période d'arrêt. Pour cela nous analysons les  $\text{counts.s}^{-1}$  (VM) enregistrés par l'accéléromètre. Toute série de données avec un  $\text{VM} \geq 1 \text{ counts.s}^{-1}$  sur une durée  $\geq 15$  secondes était considérée comme une période de marche et, toute série de données avec un  $\text{VM} = 0 \text{ counts.s}^{-1}$  sur une durée  $\geq 15$  secondes était considérée comme une période d'arrêt. Une série de données avec un  $\text{VM} \geq 1 \text{ counts.s}^{-1}$  sur une durée  $< 15$  secondes était convertie en période d'arrêt et inversement, une série de données avec un  $\text{VM} = 0 \text{ counts.s}^{-1}$  sur une durée  $< 15$  secondes était convertie en période de marche (cf. Figure 14, p. 115).

**Figure 14. Procédure de labélisation des marqueurs montre**



*Notes. VM : vecteur magnitude, WPM : Walking Pain Manifestation : Labélisation d'un appui montre indiquant l'apparition d'une douleur ischémique à la marche, SIWP : Stop Induced by Walking Pain : Labélisation d'un appui montre indiquant un arrêt induit par une douleur ischémique.*

Notre choix d'une durée de quinze secondes pour établir les périodes de marche et d'arrêt vient du fait que dans la littérature les douleurs ischémiques n'ont pas tendance à apparaître (à l'effort) ni disparaître (à l'arrêt) lors de si courtes durées (GERNIGON ET AL. 2014). Nous procédions ensuite à la labélisation des marqueurs. Le premier marqueur qui apparaissait au cours d'une période de marche et au moins quinze secondes après le démarrage de celle-ci était labélisé comme WPM<sup>[AP7J]</sup>. Le premier ou deuxième marqueur qui apparaissait dans les quinze premières secondes d'une période d'arrêt qui faisait suite à une période de marche ou dans les quinze dernières secondes d'une période de marche juste avant une période d'arrêt était labélisé comme SIWP<sup>[AP7J]</sup>. Les appuis multiples, réalisés par les patients pour s'assurer qu'au moins un des appuis soit enregistré étaient supprimés. Tous les autres marqueurs étaient considérés comme INCONSISTENT<sup>[AP7J]</sup> (*e.g.*, appuis la nuit). À partir des WPM<sup>[AP7J]</sup> et SIWP<sup>[AP7J]</sup> était ensuite calculé les TMR<sup>[AP7J]</sup> et TMM<sup>[AP7J]</sup> relatifs à chaque période de marche.

### *3.3.3.f Codage des cahiers d'activités*

Lors des sept jours de port des moniteurs portables il était demandé au patient de remplir quotidiennement un cahier d'activités en indiquant les principales activités qu'il avait réalisées (horaire, durée, lieu, moyen de locomotion). Ces informations ont ensuite été recueillies par l'expérimentateur puis codées en utilisant le compendium d'AP (AINSWORTH ET AL. 2011). Ainsi, l'occurrence des douleurs de chaque patient pouvait être analysée spécifiquement au regard de l'activité réalisée au moment de l'appui sur le marqueur événement.

### *3.3.3.g Détermination du niveau d'activité physique*

Afin de permettre l'analyse de l'occurrence des douleurs de chaque patient au regard de son niveau d'AP, les données de l'accéléromètre étaient examinées. Le niveau d'AP était évalué au regard du temps passé à différentes intensités et déterminé à partir des *counts* (AV) enregistrés par l'accéléromètre : sédentaire ( $< 100 \text{ counts.min}^{-1}$ ), légère (entre 100 et 759  $\text{counts.min}^{-1}$ ), modérée (entre 760 et 5724  $\text{counts.min}^{-1}$ ), et intense ( $> 5724 \text{ counts.min}^{-1}$ ) (MATTHEW 2005). En complément, le temps passé dans chacune des catégories était exprimé relativement au temps de port valide (%/jour).

### 3.4 Analyses statistiques

Plusieurs analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2014, version 3.1.3). Le seuil de significativité associé à l'ensemble des analyses statistiques qui ont été réalisées était fixé à  $p \leq 0,05$ . Pour toutes les variables testées, la conformité à la loi normale a été évaluée suite au test de Shapiro-Wilk. Les données sont exprimées en tant que moyennes  $\pm$  écarts-types ou médianes intervalles interquantiles [25<sup>ème</sup> – 75<sup>ème</sup> percentiles] et comme pourcentage pour les variables catégorielles. Les analyses de corrélations étaient réalisées via le calcul de coefficient de Spearman ou de Pearson en fonction de la distribution des données.

### 3.5 Résultats

#### *3.5.1 Caractéristiques des patients*

Au total, vingt-trois patients atteints d'AOMI ont été inclus dans la présente étude. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 3 ci-après (p. 118). Pour des raisons médicales, deux patients ont dû arrêter leur participation avant la fin de l'étude (résultats au test de Strandness manquants pour ces deux patients).



**Tableau 3. Caractéristiques des vingt-trois patients artériopathes inclus dans le cadre de ce travail de thèse**

|                                                      |                   |
|------------------------------------------------------|-------------------|
| <i>Général</i>                                       |                   |
| Âge (ans)                                            | 60±10             |
| Masculin, n (%)                                      | 20 (87)           |
| Taille, cm                                           | 169±8             |
| Poids, kg                                            | 78,9±16,3         |
| Indice de masse corporelle, kg/m <sup>2</sup>        | 27,4±4,7          |
| Index de Pression Systolique de repos                | 0,61 [0,53;0,75]  |
| <i>Symptômes déclarés/ objectifs sur tapis n (%)</i> |                   |
| Claudication Intermittente de type Rose              | 17 (74) / 18 (78) |
| Douleur à la marche et au repos                      | 5 (22) / 5 (22)   |
| Claudication atypique qui n'impose pas d'arrêt       | 1 (4) / 0 (0)     |
| <i>Comorbidités, n (%)</i>                           |                   |
| Fumeur                                               | 11 (48)           |
| Ancien fumeur                                        | 23 (100)          |
| Revascularisation des membres inférieurs             | 8 (35)            |
| Infarctus du myocarde                                | 6 (26)            |
| Bronchite chronique                                  | 6 (26)            |
| Diabète                                              | 6 (26)            |
| <i>Médicaments, n (%)</i>                            |                   |
| Antiagrégants plaquettaires                          | 18 (78)           |
| Statines                                             | 21 (91)           |
| Antidiabétiques                                      | 5 (22)            |
| Vasodilatateurs                                      | 4 (17)            |
| β-bloquants                                          | 6 (26)            |
| Antihypertenseurs                                    | 14 (61)           |
| <i>Capacité de marche</i>                            |                   |
| Évaluée via le protocole de Gardner-Skinner          |                   |
| Temps de marche relatif, s                           | 131 [89;224]      |
| Temps de marche maximal, s                           | 289 [203;420]     |
| Évaluée via le protocole Strandness                  |                   |
| Temps de marche relatif, s                           | 79 [56;105]       |
| Temps de marche maximal, s                           | 178 [116;213]     |

*Questionnaires*

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Questionnaire de qualité de vie SF-36    |            |
| Activité Physique (PF)                   | 50 [35;70] |
| Limitations dues à l'état physique (RP)  | 25 [0;100] |
| Douleurs physiques (BP)                  | 41 [31;42] |
| Santé perçue (GH)                        | 52 [30;62] |
| Vie et relation avec les autres (SF)     | 63 [38;88] |
| Limitations dues à l'état psychique (RE) | 33 [0;100] |
| Santé psychique (MH)                     | 68 [52;84] |
| Vitalité (GH)                            | 40 [25;60] |
| Score moyen physique (PCS)               | 34 [29;43] |
| Score moyen mental (MCS)                 | 42 [37;55] |
| Walking Impairment Questionnaire (WIQ)   |            |
| Distance                                 | 20 [11;40] |
| Vitesse                                  | 25 [17;33] |
| Escaliers                                | 42 [21;75] |
| Score total                              | 34 [17;49] |

*Notes. Les données sont exprimées en tant que médianes [25ème-75ème percentiles] pour les variables continues. Le nombre de patients concernés est rapporté pour les variables catégorielles.*

*3.5.2 Résultats issus de la session de marche en extérieur*

Les données issues de la session de marche en extérieur sont présentées dans le tableau ci-après (Tableau 4, p. 120). Ces données sont celles recueillies par à la fois i) la station météorologique, ii) le GPS, iii) l'accéléromètre, iv) la montre marqueur d'événement et v) les observations des investigateurs.

**Tableau 4. Données issues des sessions de marche en extérieur**

| Conditions atmosphériques                  |                                                                    |                                                                  |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Température (°C)                           | 15±5                                                               |                                                                  |
| Humidité relative (%)                      | 68±15                                                              |                                                                  |
| Pression atmosphérique (hPa)               | 1020±10                                                            |                                                                  |
| Vitesse du vent (km.h <sup>-1</sup> )      | 15±8                                                               |                                                                  |
| Paramètres issus de l'analyse GPS          |                                                                    |                                                                  |
| Durée de la session de marche (min)        | 52 [48;55]                                                         |                                                                  |
| Distance totale parcourue (m)              | 2474±957                                                           |                                                                  |
| Vitesse de marche (km.h <sup>-1</sup> )    | 4,2±0,4                                                            |                                                                  |
| Nombre d'arrêts effectués (n)              | 6 [4;10]                                                           |                                                                  |
| TMM <sup>[GPS]</sup> moyen (s)             | 290 [164;358]                                                      |                                                                  |
| TMM <sup>[GPS]</sup> max (s)               | 329 [215;481]                                                      |                                                                  |
| Durée des arrêts (min)                     | 1,72 [1,38;3,00]                                                   |                                                                  |
| Paramètre issu de l'accéléromètre          |                                                                    |                                                                  |
| <i>Counts</i> VM (counts.s <sup>-1</sup> ) | 64,9±20,4                                                          |                                                                  |
| Paramètres                                 | Issus de<br>l'observation des<br>expérimentateurs<br>[OS_OBSERVED] | Issus des données<br>enregistrées sur la<br>montre [OS_RECORDED] |
| WPM (n)                                    | 126                                                                | 115                                                              |
| SIWP (n)                                   | 170                                                                | 153                                                              |
| TMR (s)                                    | 141 [62;217]                                                       | 163[66;220]                                                      |
| TMR max (s)                                | 187 [89;264]                                                       | 176 [95;270]                                                     |
| TMM (s)                                    | 280 [157;347]                                                      | 263 [164;353]                                                    |
| TMM max (s)                                | 327 [212;465]                                                      | 326 [214;458]                                                    |

*Notes.* Pour les variables continues, les données sont exprimées en tant que moyennes ± écarts-types ou médianes intervalles interquantiles [25ème – 75ème percentiles] et comme pourcentage pour les variables catégorielles.

*TMM* : Temps maximal de marche, *VM* : vecteur magnitude, *WPM* : Walking Pain Manifestation (labélisation d'un appui montre indiquant l'apparition d'une douleur ischémique à la marche, *SIWP* : Stop Induced by Walking Pain (labélisation d'un appui montre indiquant un arrêt induit par une douleur ischémique), *TMR* : temps de marche relatif (temps de marche sans douleur ischémique), *TRM max* : plus long temps de marche relatif sur l'ensemble de la session de marche, *TMM max* : plus long temps de marche maximal sur l'ensemble de la session de marche *OS* : Outdoor Session (marche en extérieur).

### 3.5.2.a Validité des appuis lors de la marche en extérieur

La comparaison des événements (*i.e.*, douleurs et/ou arrêts) enregistrés par les patients artériopathes à l'aide des « marqueurs montre » lors de leur déambulation (WPM<sup>[OS\_RECORDED]</sup>, SIWP<sup>[OS\_RECORDED]</sup>) avec les événements ayant réellement eu lieu, observés par l'expérimentateur (WPM<sup>[OS\_OBSERVED]</sup>, SIWP<sup>[OS\_OBSERVED]</sup>) est présentée

dans le tableau ci-dessus (tableau 4, p. 120). Cette comparaison a pu porter sur les données enregistrées au cours de cent soixante-dix périodes de marche réalisées par vingt-et-un patients distincts (pour deux patients, les données n'étant pas disponibles : problème d'enregistrement et de report de données).

Comme indiqué dans le tableau, sur les 170 arrêts effectifs réalisés ( $\text{SIWP}^{[\text{OS\_OBSERVED}]}$ ), 153 (90 %) ont fait l'objet d'un marqueur sur la montre ( $\text{SIWP}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$ ). Les raisons d'une absence de marqueur pour les 10 % restant peuvent être double : i) oubli du patient d'appuyer sur la montre ou ii) volonté d'appuyer mais appui non efficace. De la même manière, sur les 126 douleurs ressenties par les patients ( $\text{WPM}^{[\text{OS\_OBSERVED}]}$ ), 115 (91%) ont fait l'objet d'un marqueur sur la montre ( $\text{WPM}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$ ). Notons ici que ces oublis concernent exclusivement trois patients à l'échelle du groupe et plus particulièrement un patient responsable de plus de 70% des oublis.

Si on s'intéresse à la comparaison du temps auquel est enregistré l'appui douleur ou arrêt ( $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$ ,  $\text{TMM}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$ ) avec le temps auquel il a réellement eu lieu ( $\text{TMR}^{[\text{OS\_OBSERVED}]}$ ,  $\text{TMM}^{[\text{OS\_OBSERVED}]}$ ), nous observons une différence moyenne de  $4 \pm 12$  secondes et  $1 \pm 5$  secondes pour TMR et TMM respectivement. À l'échelle du patient, cela se traduit par des coefficients de corrélation quasi-parfaits entre les temps de marche sans douleur et maximal estimés à partir de l'enregistrement des appuis de la montre et ceux réellement observés ( $r = 0,967$ ,  $n = 19$ ,  $p < 0,001$ ) et ( $r = 0,992$ ,  $n = 21$ ,  $p < 0,001$ ) respectivement.

### *3.5.2.b Relation entre le temps de marche relatif et maximal en ambulatoire et en laboratoire et les questionnaires*

La comparaison des TMR et TMM enregistrés par les patients artériopathes à l'aide de « marqueurs montre » lors de l'expérimentation en ambulatoire ( $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$ ,  $\text{TMM}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$ ) avec les TMR et TMM enregistrés lors des tests en laboratoire lors du protocole de Gardner-Skinner ( $\text{TMR}^{[\text{GARDNER}]}$ ,  $\text{TMM}^{[\text{GARDNER}]}$ ) et de Strandness ( $\text{TMR}^{[\text{STRANDNESS}]}$ ,  $\text{TMM}^{[\text{STRANDNESS}]}$ ) révèle différents points.

Il en ressort que les TMR et TMM enregistrés par les patients artériopathes à l'aide de « marqueurs montre » lors de l'expérimentation en ambulatoire sont significativement plus longs que ceux enregistrés lors du test sur tapis motorisé suivant le protocole Strandness ( $p < 0,001$ ).

Il existe une différence significative entre le  $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  et  $\text{TMR}^{[\text{GARDNER}]}$  ( $p = 0,014$ ) mais pas entre le  $\text{TMM}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  et  $\text{TMM}^{[\text{GARDNER}]}$  ( $p = 0,297$ ).

Pour ce qui est de la comparaison avec le test de Strandness, les analyses de corrélations révèlent que les  $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  et  $\text{TMM}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  sont significativement corrélés avec les  $\text{TMR}^{[\text{STRANDNESS}]}$  ( $r = 0,955$ ,  $n=17$ ,  $p < 0,001$ ) et  $\text{TMM}^{[\text{STRANDNESS}]}$  ( $r = 0,821$ ,  $n = 19$ ,  $p < 0,001$ ) respectivement.

De plus, bien que plus faibles, d'autres corrélations significatives sont retrouvées entre  $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  et  $\text{TMR}^{[\text{GARDNER}]}$  ( $r = 0,721$ ,  $n = 18$ ,  $p = 0,001$ ) et entre  $\text{TMM}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  et  $\text{TMM}^{[\text{GARDNER}]}$  ( $r = 0,446$ ,  $n = 21$ ,  $p = 0,043$ ).

Enfin, les analyses de corrélations révèlent que les  $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  et  $\text{TMM}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  sont significativement corrélés avec le questionnaire WIQ et avec le questionnaire SF-36 tandis que le  $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  est significativement corrélé au score moyen physique du SF-36 ( $r = 0.467$ ,  $n = 19$ ,  $p = 0,044$ ).

### *3.5.3 Résultats issus des expérimentations en condition de vie réelle*

#### *3.5.3.a Acceptabilité et utilisabilité des moniteurs portables*

En ce qui concerne l'acceptabilité des moniteurs portables, sur les vingt-trois patients artériopathes interrogés, deux ont rapporté un inconfort; l'un avec la montre (irritation de la peau) et l'autre avec l'accéléromètre (ceinture trop serrée). Un autre patient s'est dit perturbé par le fait de devoir porter ces moniteurs portables tout au long de la journée (sentiment d'être en permanence surveillé). Deux patients artériopathes ont indiqué ne pas avoir systématiquement appuyé sur le bouton marqueur d'événement de la montre pour indiquer une douleur au cours des sept jours de port. Un patient n'a pas suffisamment porté les moniteurs portables au cours de la semaine (moins de 5 jours valides). De fait, concernant le port effectif des moniteurs portables, sur un total attendu de 161 jours de port valides pour les deux moniteurs portables simultanément, (7 jours x 23 patients), 146 (91 %) l'ont été. Le patient n'ayant pas suffisamment porté les moniteurs portables a été exclu des analyses présentées ci-après.

#### *3.5.3.b Occurrence de la douleur en condition de vie réelle et niveau d'activité physique*

Les données concernant la mesure de la symptomatologie (issues de la montre) et celles de l'activité physique (issues de l'accéléromètre) en condition de vie réelle (AP7J) sont présentée dans le tableau 5 ci-après. Elles concernent vingt-deux patients.

**Tableau 5. Caractérisation de la symptomatologie et du niveau d'activité physique lors des sept jours en condition de vie réelle**

| Symptomatologie en condition de vie réelle (AP7J)                          |                |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Douleur (WPM<sup>[AP7J]</sup>)</b>                                      |                |
| Cumul du nombre de douleurs                                                | 282            |
| Nombre de douleurs/semaine                                                 | 13±10 (0-30)   |
| Nombre de douleurs/jour                                                    | 2±1 (0-5)      |
| TMR <sup>[AP7J]</sup> (s)                                                  | 342 [272;434]  |
| TMR <sup>[AP7J]</sup> max (s)                                              | 778 [526;1163] |
| Counts VM lors de la marche induisant la douleur (counts.s <sup>-1</sup> ) | 46±15          |
| <b>Arrêt (SIWP<sup>[AP7J]</sup>)</b>                                       |                |
| Cumul du nombre d'arrêt                                                    | 86             |
| Nombre d'arrêts/semaine                                                    | 4±6 (0-19)     |
| Nombre d'arrêts/jour                                                       | 1±1 (0-3)      |
| TMM <sup>[AP7J]</sup> (s)                                                  | 433 [338;688]  |
| TMM <sup>[AP7J]</sup> max (s)                                              | 888 [505;1333] |
| Counts VM lors de la marche induisant l'arrêt (counts.s <sup>-1</sup> )    | 43±19          |
| Niveau d'Activité Physique en condition de vie réelle                      |                |
| <b>Temps passé, min/jour</b>                                               |                |
| Comportement sédentaire (SB)                                               | 535 [442-608]  |
| Activité physique légère (LPA)                                             | 234 [172-282]  |
| Activité physique modérée (MPA)                                            | 62 [47-121]    |
| Activité physique intense (VPA)                                            | 0 [0-0]        |
| <b>Pourcentage par jour, %/jour</b>                                        |                |
| Comportement sédentaire (SB)                                               | 64 [52-72]     |
| Activité physique légère (LPA)                                             | 27 [22-33]     |
| Activité physique modérée (MPA)                                            | 8 [5-15]       |
| Activité physique intense (VPA)                                            | 0 [0-0]        |

Notes. Pour les variables continues, les données sont exprimées en tant que moyennes ± écarts-types ou médianes intervalles interquantiles [25ème – 75ème percentiles]. Le niveau d'activité physique était évalué au regard du temps passé à différentes intensités et déterminé à partir des counts (AV) enregistrés par l'accéléromètre : sédentaire (< 100 counts.min<sup>-1</sup>), légère (entre 100 et 759 counts.min<sup>-1</sup>), modérée (entre 760 et 5724 counts.min<sup>-1</sup>), et intense (> 5724 counts.min<sup>-1</sup>). Le pourcentage de temps passé dans chaque catégorie est exprimé relativement au temps de port valide (%/jour).

TMM : Temps maximal de marche, VM : vecteur magnitude, WPM : Walking Pain Manifestation (labélisation d'un appui montre indiquant l'apparition d'une douleur ischémique à la marche, SIWP : Stop Induced by Walking Pain (labélisation d'un appui montre indiquant un arrêt induit par une douleur ischémique), TMR : temps de marche relatif (temps de marche sans douleur ischémique), TMM max : temps de marche relatif maximal sur l'ensemble de la session de marche.

Sur les 146 jours de port valides, 107 étaient associés à des appuis sur la montre représentant un total de 670 marqueurs enregistrés pour l'ensemble des patients artériopathes analysés. Après avoir ôté les appuis dupliqués, à l'échelle du groupe, 368 marqueurs furent labélisés.

Parmi ces 368 marqueurs, 282 (77 %) furent labélisés comme des appuis douleurs (WPM<sup>[AP7J]</sup>) et 86 (23 %) comme des appuis arrêts induits par la douleur (SIWP<sup>[AP7J]</sup>). En somme, comme cela est visible dans le tableau 5 (p.123), sur les sept jours en condition de vie réelle les patients artériopathes inclus ont peu ressenti de douleurs ischémiques.

En considérant les jours de port valides, à l'échelle du groupe, les patients atteints d'AOMI inclus ont ressenti en moyenne des douleurs deux fois par jour et se sont arrêtés du fait de douleurs une fois par jour.

De plus, l'analyse des appuis révèle que dans 16 % des cas seulement la marche qui déclenche une douleur est poursuivie par le patient jusqu'à ce qu'elle impose un arrêt. Ainsi, dans 84% des cas, la douleur reste à un niveau supportable pour le patient, s'estompe ou disparaît.

Les explications peuvent être diverses : diminution de l'intensité de la marche (*e.g.*, ralentissement de l'allure, fin d'un parcours en côte), arrêt réalisé par le patient dans son contexte de vie lui permettant de récupérer (*e.g.*, file d'attente, achat dans une boutique, rencontre avec un ami).

Notons que pour un patient aucun WPM<sup>[AP7J]</sup> ni SIWP<sup>[AP7J]</sup> n'a été enregistré sur la montre révélant l'absence de douleur sur une semaine pour ce patient, et seulement quatre patients atteints d'AOMI signalaient au moins une douleur quotidienne.

Enfin, il est important d'analyser l'occurrence des douleurs durant ces sept jours en condition de vie réelle au regard du niveau d'AP des patients. Notons ici, comme l'indique le tableau 5 que à l'échelle du groupe, les patients passent 64% de leur journée à effectuer des activités qualifiées comme sédentaires et seulement 8% à effectuer des activités qualifiées de modérée à vigoureuse.

*3.5.3.c Comparaison de la capacité de marche en condition de vie réelle, en laboratoire et lors de la session de marche en extérieur*

Les résultats montrent, qu'en condition de vie réelle, les temps de marche sans douleur  $\text{TMR}^{[\text{AP7J}]}$  et maximaux  $\text{TMM}^{[\text{AP7J}]}$  estimés à partir de l'enregistrement des appuis de la montre sont en moyenne respectivement deux fois et trois fois plus longs que ceux lors de la session en ambulatoire ( $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$ ,  $\text{TMM}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$ ). Ceci est à mettre directement en lien avec l'intensité de la marche (mesurée via les *counts* du VM) qui est moins importante en condition de vie réelle que lors de la session de marche en ambulatoire supervisée ( $43 \pm 19$  vs  $64.9 \pm 20.4$ ,  $p < 0,001$ ). Enfin, une corrélation significative inverse est présente entre le nombre d'appuis douleur effectués par jour en condition de vie réelle  $\text{WPM}/\text{jour}^{[\text{AP7J}]}$  et i) la distance maximale de marche réalisée lors du test Gardner,  $\text{DMM}^{[\text{Gardner}]}$  ( $r = -0,472$ ;  $p = 0,027$ ), ii) la distance de marche relative lors du test Strandness,  $\text{DMR}^{[\text{Strandness}]}$  ( $r = -0,543$ ;  $p = 0,016$ ), iii) la distance maximale de marche réalisée lors du test Strandness,  $\text{DMM}^{[\text{Strandness}]}$  ( $r = -0,527$ ;  $p = 0,017$ ), iv) le temps d'apparition de la douleur lors de la session de marche en extérieur,  $\text{TMR}^{[\text{OS\_RECORDED}]}$  ( $r = -0,473$ ;  $p = 0,041$ ) et v) la composante « distance » du questionnaire WIQ ( $r = -0,438$ ;  $p = 0,041$ ).

Notons cependant que toutes ces corrélations doivent être interprétées avec précaution du fait du faible nombre d'appuis douleurs quotidien des patients artériopathes étudiés.



### 3.6 Discussion

#### 3.6.1 Originalité de l'étude

Cette étude est, à notre connaissance, la première à proposer une solution pour quantifier conjointement la manifestation de la douleur ischémique à la marche et les arrêts induits par la douleur en condition de vie réelle et ce sur une durée prolongée auprès de patients atteints d'AOMI. Les résultats issus de cette étude renforcent le fait que la correspondance faite entre la capacité de marche évaluée sur tapis et les limitations fonctionnelles des patients artériopathes telles que rencontrées dans la vie de tous les jours est discutable (BARLETTA ET AL. 1996; MCDERMOTT ET AL. 2014). En effet, dans le cadre de nos travaux bien que tous les patients artériopathes se disent être limités dans leur quotidien (comme l'atteste le score de WIQ) et aient été limités sur tapis motorisé au moment de la visite d'inclusion ( $< 500$  m protocole 3,2 km.h<sup>-1</sup>, 10 % de pente), l'occurrence des douleurs en condition de vie réelle, mesurée lors de ces travaux, se révèle être faible voir même inexistant pour un des patients. À l'échelle du groupe de patients artériopathes inclus (temps de marche relatif sur Gardner de 131 [89;224]) sur une semaine, les patients artériopathes ont en moyenne ressentis des douleurs deux fois par jour et ces douleurs ont imposées un arrêt que dans 16% des cas. Encore,  $TMR^{[STRANDNESS]}$  était significativement différent de  $TMR^{[OS\_RECORDED]}$ . Connaître l'occurrence de la symptomatologie du patient artériopathe dans son contexte de vie et être en mesure d'évaluer les limitations fonctionnelles qui en découlent est pourtant de première importance puisque ce sont elles, qui vont déterminer la faculté du patient à pouvoir s'engager dans une AP et à la maintenir, synonyme de limitation/réduction du risque cardiovasculaire et du maintien/de l'amélioration de la qualité de vie (HAMBURG & BALADY 2011). Cela a été l'un des challenges de cette thèse à travers l'élaboration d'une méthode de labélisation des appuis réalisés par le patient en condition de vie réelle.

L'analyse des appuis effectués par les patients sur la montre lors des sessions de marche en extérieur, souligne que 90% des  $WPM^{[OS\_OBSERVED]}$  et des  $SIWP^{[OS\_OBSERVED]}$  ont été enregistrés de manière effective par la montre tandis que les analyses statistiques réalisées révèlent que les  $TMR^{[OS\_RECORDED]}$  et  $TMM^{[OS\_RECORDED]}$  sont significativement corrélés avec les  $TMR^{[GARDNER]}$  et  $TMM^{[GARDNER]}$ , avec  $TMR^{[STRANDNESS]}$  et  $TMM^{[STRANDNESS]}$  et avec le questionnaire WIQ et SF-36.

Ces données rendent possible l'analyse et l'interprétation à posteriori des appuis effectués par les patients artériopathes lors des sept jours de port en condition de vie

réelle. À ce titre, celles-ci indiquent qu'il existe comme évoqué précédemment (point 3.5, p. 125) des corrélations significatives inverses entre le nombre d'appui(s) douleur effectué(s) par jour en condition de vie réelle et i) le TMM<sup>[GARDNER]</sup>, ii) la DMR<sup>[STRANDNESS]</sup> ou encore avec iii) la DMM<sup>[STRANDNESS]</sup>.

L'utilisation de moniteurs portables sur une durée prolongée a soulevé la question de leur acceptabilité/utilisabilité. Soulignons que même si, comme nous venons de le rappeler, les patients artériopathes parvenaient à utiliser correctement les outils lors de l'expérimentation en ambulatoire, il s'avère que ces derniers rendaient compte fréquemment à l'expérimentateur à l'issue des sept jours de port, de l'ergonomie non optimale de la montre (*e.g.*, boutons petits, appuis difficiles, pas de témoins visuels) et des oublis d'appuis possibles sur celle-ci.

Alors, notre équipe de recherche a souhaité concevoir à terme un dispositif ergonomique dédié à la quantification des douleurs en condition de vie réelle. Cette volonté s'est renforcée lors de l'analyse de l'occurrence des douleurs dans le quotidien des patients. Il est certain que cette analyse et son interprétation doit être faite au regard de l'activité journalière réalisée par les patients artériopathes et même de l'intensité de ces activités. En effet, l'absence de symptôme peut être le fait d'un niveau d'AP faible conscientisé ou non par le patient qui adapterait son quotidien pour limiter les symptômes. Notons, que dans le cas de cette présente étude, le lien de cause à effet ne peut être établi puisque d'autres facteurs ont pu interférer (*e.g.*, condition météo). Néanmoins, avec les données de l'accéléromètre nous avons mis en évidence que notre cohorte de vingt-trois patients artériopathes passait un temps important à des activités sédentaires et légères (95 % du temps journalier) et que l'intensité des marches réalisées en condition de vie réelle était plus faible que celles réalisées lors des sessions de marche en extérieur ( $43 \pm 19$  vs  $64.9 \pm 20.4$ ,  $p < 0,001$ ). Cependant l'intensité des efforts de marche n'est que mal reflétée par les *counts*. En effet, les accéléromètres ne sont pas capables de détecter les variations de pente (MELANSON & FREEDSON 1995; TERRIER ET AL. 2001). Pourtant, l'occurrence de la douleur dépend de l'intensité de la marche, laquelle dépend à la fois de la vitesse et de la pente lors de la marche. De fait, il est alors d'un intérêt certain de développer un dispositif dédié intégrant un GPS qui permettrait l'estimation de la vitesse de déplacement, le calcul de la pente et l'estimation précise du contexte dans lequel la marche en condition de vie réelle a lieu.

Ces informations pourraient être utiles pour mieux interpréter les limitations fonctionnelles réelles du patient atteint d'AOMI dans son contexte de vie mais aussi bénéficier à la supervision et l'évaluation à distance de programmes de réentraînement à la marche que le patient effectuerait dans son environnement proche. En effet, le réentraînement à la marche supervisé est une stratégie thérapeutique de premier choix dans la prise en charge du patient AOMI, dont ne bénéficient que trop peu de patients atteints d'AOMI par manque de structures spécifiques disponibles et du fait des contraintes qu'elle impose sous sa forme actuelle (hospitalisation de jour ou complète sur quatre semaines). Des alternatives au réentraînement en centre de réadaptation vasculaire sont donc de fait parfois proposées par les médecins aux patients atteints d'AOMI (*e.g.*, la pratique en autonomie, la pratique supervisée à distance que le patient peut effectuer dans son environnement de vie). Toutes ces alternatives ne se valent cependant pas en termes d'amélioration de la DMM, comme le souligne une méta-analyse récente (GOMMANS ET AL. 2014). En effet celle-ci laisse suggérer que l'intensité de la supervision du réentraînement est en lien direct avec l'amélioration de la capacité fonctionnelle des patients AOMI à six semaines, trois mois et six mois. Cette étude souligne ainsi l'importance de la supervision pour entretenir la motivation du patient à s'engager dans son processus de soin mais aussi la nécessité de mettre en œuvre un suivi régulier pour contrôler de manière adéquate la charge de travail réalisée par les patients. À ce titre, certaines applications mobiles spécifiques à l'AOMI se sont développées. C'est le cas des applications YORKwalk® et VASCTRAC®. Toutes deux conçues par des équipes pluriprofessionnelles (*i.e.*, ingénieurs, médecins, chercheurs en sciences du sport et de la santé, patients), visent des objectifs bien différents. L'application YORwalk® (en cours de développement) est conçue pour le patient AOMI comme un support motivationnel dans le cadre de son réentraînement (VAN DEN HOUTEN ET AL. 2018). Grâce à une interface mobile, celui-ci pourra consulter graphiquement le nombre de pas réalisés dans la journée, le nombre de pas lui restant à effectuer pour atteindre l'objectif qu'il s'est fixé ou encore le tracé GPS de son activité. Il pourra également effectuer un test de marche de six minutes et connaître la distance parcourue. Bien que cette application puisse être intéressante pour favoriser l'engagement des patients AOMI dans une AP, se pose cependant la question de la pertinence, de la précision et de la sensibilité des données récoltées par cette application qui intégrera uniquement les données du podomètre (mis à part pour le tracé GPS), dont nous connaissons les limites qui plus est auprès des patients AOMI. En amont de la conception de cette application, l'équipe de développement s'est questionnée sur l'accès et l'utilisation aux applications mobiles des patients atteints d'AOMI. Ils ont mis en évidence que i) le pourcentage de personnes ayant un téléphone

mobile avec accès à internet diminue à mesure que l'âge augmente ; ii) 40,6% des patients AOMI interrogés (moyenne d'âge 69,9 ans) avaient un téléphone portable et iii) 57% d'entre eux téléchargeaient entre une à cinq applications sur leur téléphone portable (VAN DEN HOUTEN ET AL. 2018).

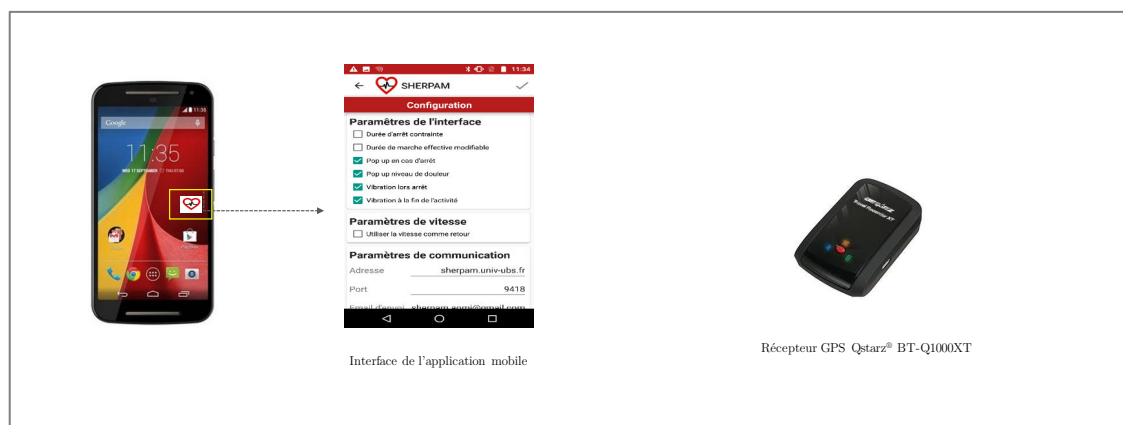
L'application VASCTRAC® quant à elle, a été conçue dans un objectif de recherche. Comme la précédente, elle ne permet ni un suivi régulier de la pratique ni un contrôle de la charge de travail réalisée par les patients.

### 3.6.2 Perspectives et travaux en cours

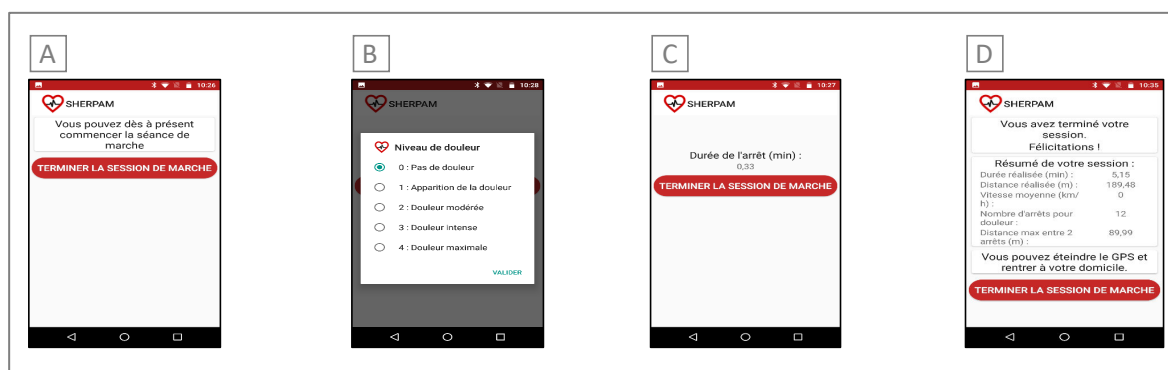
S'appuyant en partie sur les travaux menés au cours de cette thèse, notre équipe de recherche s'intéresse au développement d'un dispositif conçu pour faciliter la conduite de sessions de marche en extérieur destinées à l'évaluation de la capacité de marche et/ou à la réalisation d'un programme de marche à domicile des patients atteints d'AOMI. Un prix de recherche de la Société Française d'Étude et de Traitement de la Douleur (SFETD) remis par la Fondation APICIL a d'ailleurs été obtenu afin de contribuer au développement de ce projet.

Le développement technique du dispositif a pu débuter au deuxième semestre 2018 grâce à une collaboration avec un ingénieur du projet SHERPAM. Brièvement, ce dispositif est composé d'une application implémentée sur un smartphone (application SHERPAM) et d'un récepteur GPS Qstarz® BT-Q1000XT possédant la fonction Bluetooth permettant la transmission des données (latitude, longitude, altitude, vitesse de déplacement) au smartphone (cf Figure 15, p. 129).

**Figure 15. Dispositif SHERPAM (application mobile et GPS)**



Via l'application mobile, les données relatives à l'AP en cours sont ainsi recueillies, enregistrées (stockage local temporaire), analysées puis transmises vers un serveur dédié et sécurisé situé au data center de l'Université Bretagne Sud où elles sont stockées pendant 18 mois. Via ce dispositif, l'objectif à terme est que des sessions de marche en extérieur avec supervision indirecte puissent être menées. Brièvement, le clinicien (et/ou professionnel de l'AP) devrait pouvoir recueillir les informations issues des sessions de marche en extérieur que le patient aurait réalisées dans son environnement proche équipé de ce dispositif. En ayant connaissance des limitations fonctionnelles (temps de marche sans douleur, nombre d'arrêt(s), durée des arrêts, intensité de la douleur lors des reprises de marche) et du contexte dans lequel le patient réalise sa marche (pente, vitesse de marche, tracé GPS), le professionnel en charge du réentraînement pourrait objectivement suivre et guider le réentraînement à la marche de celui-ci au fil des semaines. Pour ce faire, il est prévu que cette application puisse guider le patient dans son réentraînement (signal de départ et d'arrêt, récapitulatif de la session de marche) et qu'elle puisse automatiquement détecter au cours d'une session de marche chaque arrêt réalisé par le patient, comptabiliser la durée de celui-ci et quantifier l'intensité de la douleur associée à cet arrêt (si l'arrêt est effectivement dû à une douleur, vibrations jusqu'à temps que le patient quantifie l'intensité de la douleur perçue) (cf. Figure 16, p. 130).



**Figure 16. Copies d'écran de l'application mobile SHERPAM**

*Notes. A. Indication présente sur l'application indiquant au patient que les données sont prêtes à être enregistrées et qu'il peut débuter sa session de marche; B. Pop-up apparaissant dès qu'un arrêt douleur est détecté afin que le patient indique l'intensité de sa douleur; C. Compteur temporel indiquant la durée de l'arrêt en cours; D. Récapitulatif de la session de marche apparaissant systématiquement dès la fin de la session de marche.*

Des expérimentations seront menées fin 2018 dans le cadre d'un protocole de recherche clinique (protocole SHERPAM) auprès de dix patients atteints d'AOMI afin d'évaluer l'utilisation de cette application dans cette population (utilisabilité, acceptabilité).

Brièvement, le projet SHERPAM (<https://sherpam.cominlabs.u-bretagne.fr/fr/aomi;jsessionid=FFDDF78A949065BC26AADFA3CC17C2AB>) vise à évaluer le dispositif SHERPAM (dispositif constitué de plusieurs capteurs) permettant l'acquisition et la transmission de données en continu en situation réelle d'activité physique en utilisant les moyens de communication en temps réel embarqués par le dispositif, le traitement automatique des données et la capacité du dispositif à produire une information. Ce dispositif a un module adapté à l'évaluation de la marche pour l'AOMI.

Par la suite, ce dispositif sera intégré à une plateforme interactive spécifiquement conçue pour le suivi et l'accompagnement en activité physique des patients atteints d'AOMI pris en charge au sein des Groupements Hospitaliers de Territoire (GHT) de Haute-Bretagne et Rance-Émeraude. Ces derniers pourront alors bénéficier d'une solution de réadaptation vasculaire supervisée et personnalisée à distance, basée sur un changement progressif des habitudes de vie à domicile. Après une phase de validation dans l'AOMI cette plateforme se voudra évolutive pour servir d'autres pathologies.



## CONCLUSION

La mesure de l'IPS de repos est la méthode diagnostique de référence de l'AOMI. L'objectif des travaux qui ont constitué notre premier axe de travail était d'évaluer la pertinence pédagogique des méthodes actuelles d'enseignement de cette méthode. Ainsi, nous avons montré que les méthodes actuelles ne permettaient pas aux étudiants d'acquérir les fondamentaux nécessaires à la mesure et à l'interprétation de l'IPS. Partant de ce constat, nous avons menés des travaux visant à apporter des éléments de réponses quant à la place et la forme que devrait prendre l'enseignement de l'IPS dans le cursus médical afin qu'il permette un apprentissage fiable et durable de cette pratique par les étudiants.

Dans le cadre de notre deuxième axe de travail, nous avons développé une nouvelle approche méthodologique permettant la quantification des douleurs ischémiques à la marche des patients atteints d'AOMI en condition de vie réelle. Basée sur l'analyse des données enregistrées par le couplage de deux moniteurs portables (accéléromètre et montre marqueur d'événements) cette méthode offre de nouvelles perspectives très intéressantes pour améliorer la compréhension des limitations fonctionnelles des patients atteints d'AOMI dans leur contexte de vie.

Ce travail de thèse ouvre de nouvelles perspectives de recherche d'un point de vue du diagnostic de l'AOMI et de l'évaluation des limitations fonctionnelles des patients atteints d'AOMI en condition de vie naturelle et contribuera je l'espère, à l'optimisation de la prise en charge des patients atteints d'AOMI.





## BIBLIOGRAPHIE

ABOYANS, V., CRIQUI, M.H., ABRAHAM, P., ALLISON, M.A., CREAGER, M.A., DIEHM, C., FOWKES, F.G.R., HIATT, W.R., JÖNSSON, B., LACROIX, P., MARIN, B., McDERMOTT, M.M., NORGREN, L., PANDE, R.L., PREUX, P.-M., STOFFERS, H.E.J., TREAT-JACOBSON, D., AMERICAN HEART ASSOCIATION COUNCIL ON PERIPHERAL VASCULAR DISEASE, COUNCIL ON EPIDEMIOLOGY AND PREVENTION, COUNCIL ON CLINICAL CARDIOLOGY, COUNCIL ON CARDIOVASCULAR NURSING & COUNCIL ON CARDIOVASCULAR RADIOLOGY AND INTERVENTION, AND COUNCIL ON CARDIOVASCULAR SURGERY AND ANESTHESIA (2012): Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: a scientific statement from the American Heart Association. – *Circulation*, **126**/24: 2890–2909. doi: 10.1161/CIR.0b013e318276fbcf.

ABRAHAM, P., NOURY-DESVAUX, B., GERNIGON, M., MAHÉ, G., SAUVAGET, T., LEFTHERIOTIS, G. & LE FAUCHEUR, A. (2012): The Inter- and Intra-Unit Variability of a Low-Cost GPS Data Logger/Receiver to Study Human Outdoor Walking in View of Health and Clinical Studies. – *PLoS ONE*, **7**/2: e31338. doi: 10.1371/journal.pone.0031338.

AINSWORTH, B.E., HASKELL, W.L., HERRMANN, S.D., MECKES, N., BASSETT, D.R., TUDOR-LOCKE, C., GREER, J.L., VEZINA, J., WHITT-GLOVER, M.C. & LEON, A.S. (2011): 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. – *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **43**/8: 1575–1581. doi: 10.1249/MSS.0b013e31821ece12.

ANDERSON, S.I., WHATLING, P., HUDLICKA, O., GOSLING, P., SIMMS, M. & BROWN, M.D. (2004): Chronic transcutaneous electrical stimulation of calf muscles improves functional capacity without inducing systemic inflammation in claudicants. – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery: The Official Journal of the European Society for Vascular Surgery*, **27**/2: 201–209. doi: 10.1016/j.ejvs.2003.10.003.

ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease (Lower Extremity, Renal, Mesenteric, and Abdominal Aortic). – *Circulation*, **113**/11: e463–e465. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.174526.

ATS COMMITTEE ON PROFICIENCY STANDARDS FOR CLINICAL PULMONARY FUNCTION LABORATORIES (2002): ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. – *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **166**/1: 111–117. doi: 10.1164/ajrccm.166.1.at1102.

BARLETTA, G., PERNA, S., SABBA, C., CATALANO, A., O'BOYLE, C. & BREVETTI, G. (1996): Quality of Life in Patients with Intermittent Claudication: Relationship with Laboratory Exercise Performance. – *Vascular Medicine*, **1**/1: 3–7. doi: 10.1177/1358863X9600100102.

BOCCALON, H., LEHERT, P. & MOSNIER, M. (2000): [Assessment of the prevalence of atherosclerotic lower limb arteriopathy in France as a systolic index in a vascular risk population]. – *Journal Des Maladies Vasculaires*, **25**/1: 38–46.

BOISSIER, C., BENICHOU, A.C., GAMAND, S., PERROT, G. & PEYRIEUX, J.C. (1997): A New Device for the Diagnosis and Investigation of Patients with Peripheral Arterial Occlusive Disease. – *Disease Management & Health Outcomes*, **2**/Supplement 1: 57–64. doi: 10.2165/00115677-199700021-00012.

BREEK, J.C., HAMMING, J.F., DE VRIES, J., AQUARIUS, A.E. & VAN BERGE HENEGOUWEN, D.P. (2001): Quality of life in patients with intermittent claudication using the World Health Organisation (WHO) questionnaire. – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery: The Official Journal of the European Society for Vascular Surgery*, **21**/2: 118–122. doi: 10.1053/ejvs.2001.1305.

BURA-RIVIERE, A., MAHE, G., COLLEGE FRANÇAIS DE PATHOLOGIE VASCULAIRE, COLLEGE DES ENSEIGNANTS DE MEDECINE VASCULAIRE & SOCIETE FRANÇAISE DE MEDECINE VASCULAIRE (2016): Maladies artérielles. – .

CAILLARD, P., MOUREN, X., PUJADE, B., BLANCHEMAISON, P., ELBEZE, Y. & CLOAREC, M.P. (1990): Objectifying exercise ischemia in peripheral vascular disease: a study in 120 patients. – *Angiology*, **41**/6: 469–478.

CHOI, L., LIU, Z., MATTHEWS, C.E. & BUCHOWSKI, M.S. (2011): Validation of accelerometer wear and nonwear time classification algorithm. – *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **43**/2: 357–364. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181ed61a3.

CHOI, L., WARD, S.C., SCHNELLE, J.F. & BUCHOWSKI, M.S. (2012): Assessment of wear/nonwear time classification algorithms for triaxial accelerometer. – *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **44**/10: 2009–2016. doi: 10.1249/MSS.0b013e318258cb36.

CLARKE, C.L., HOLDSWORTH, R.J., RYAN, C.G. & GRANAT, M.H. (2013): Free-living Physical Activity as a Novel Outcome Measure in Patients with Intermittent Claudication. – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **45**/2: 162–167. doi: 10.1016/j.ejvs.2012.11.027.

COUGHLIN, P.A., KENT, P.J., BERRIDGE, D.C., SCOTT, D.J.A. & KESTER, R.C. (2006): The PADHOC Device is a Better Guide to the Actual Incapacity Suffered by Claudicants than the Gold Standard Constant Load Treadmill Test. – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **32**/6: 651–656. doi: 10.1016/j.ejvs.2006.03.012.

CRQUI, M.H. & ABOYANS, V. (2015): Epidemiology of Peripheral Artery Disease. – *Circulation Research*, **116**/9: 1509–1526. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.116.303849.

CRQUI, M.H., DENENBERG, J.O., BIRD, C.E., FRONEK, A., KLAUBER, M.R. & LANGER, R.D. (1996): The correlation between symptoms and non-invasive test results in patients referred for peripheral arterial disease testing. – *Vascular Medicine (London, England)*, **1**/1: 65–71. doi: 10.1177/1358863X9600100112.

CRQUI, M.H., NINOMIYA, J.K., WINGARD, D.L., JI, M. & FRONEK, A. (2008): Progression of Peripheral Arterial Disease Predicts Cardiovascular Disease Morbidity and Mortality. – *Journal of the American College of Cardiology*, **52**/21: 1736–1742. doi: 10.1016/j.jacc.2008.07.060.

DEGISCHER, S., LABS, K.-H., ASCHWANDEN, M., TSCHOEPL, M. & JAEGER, K.A. (2002): Reproducibility of constant-load treadmill testing with various treadmill protocols and predictability of treadmill test results in patients with intermittent claudication. – *Journal of Vascular Surgery*, **36**/1: 83–88.

DELIS, K.T. & NICOLAIDES, A.N. (2005): Effect of intermittent pneumatic compression of foot and calf on walking distance, hemodynamics, and quality of life in patients with arterial claudication: a prospective randomized controlled study with 1-year follow-up. – *Annals of Surgery*, **241**/3: 431–441.

DIEHM, C., ALLENBERG, J.R., PITTROW, D., MAHN, M., TEPOHL, G., HABERL, R.L., DARIUS, H., BURGHAIUS, I., TRAMPISCH, H.J. & GERMAN EPIDEMIOLOGICAL TRIAL ON ANKLE BRACHIAL INDEX STUDY GROUP (2009): Mortality and vascular morbidity in older adults with asymptomatic versus symptomatic peripheral artery disease. – *Circulation*, **120**/21: 2053–2061. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.865600.

EGBERG, L., ANDREASSEN, S. & MATTIASSON, A.-C. (2012): Experiences of living with intermittent claudication. – *Journal of Vascular Nursing*, **30**/1: 5–10. doi: 10.1016/j.jvn.2011.11.001.

FAKHRY, F., SPRONK, S., VAN DER LAAN, L., WEVER, J.J., TEIJINK, J.A.W., HOFFMANN, W.H., SMITS, T.M., VAN BRUSSEL, J.P., STULTIENS, G.N.M., DEROM, A., DEN HOED, P.T., HO, G.H., VAN DIJK, L.C., VERHOFSTAD, N., ORSINI, M., VAN

PETERSEN, A., WOLTMAN, K., HULST, I., VAN SAMBEEK, M.R.H.M., RIZOPOULOS, D., ROUWET, E.V. & HUNINK, M.G.M. (2015): Endovascular Revascularization and Supervised Exercise for Peripheral Artery Disease and Intermittent Claudication: A Randomized Clinical Trial. – *JAMA*, **314**/18: 1936. doi: 10.1001/jama.2015.14851.

FALK, E. (2006): Pathogenesis of Atherosclerosis. – *Journal of the American College of Cardiology*, **47**/8: C7–C12. doi: 10.1016/j.jacc.2005.09.068.

FOWKES, F.G., HOUSLEY, E., RIEMERSMA, R.A., MACINTYRE, C.C., CAWOOD, E.H., PRESCOTT, R.J. & RUCKLEY, C.V. (1992): Smoking, lipids, glucose intolerance, and blood pressure as risk factors for peripheral atherosclerosis compared with ischemic heart disease in the Edinburgh Artery Study. – *American Journal of Epidemiology*, **135**/4: 331–340.

FOWKES, F.G.R., RUDAN, D., RUDAN, I., ABOYANS, V., DENENBERG, J.O., McDERMOTT, M.M., NORMAN, P.E., SAMPSON, U.K.A., WILLIAMS, L.J., MENSAH, G.A. & CRIQUI, M.H. (2013): Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: a systematic review and analysis. – *Lancet (London, England)*, **382**/9901: 1329–1340. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61249-0.

FUDGE, B.W., WILSON, J., EASTON, C., IRWIN, L., CLARK, J., HADDOW, O., KAYSER, B. & PITSILADIS, Y.P. (2007): Estimation of oxygen uptake during fast running using accelerometry and heart rate. – *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **39**/1: 192–198. doi: 10.1249/01.mss.0000235884.71487.21.

GARDNER, A.W. (2015): Exercise rehabilitation for peripheral artery disease: An exercise physiology perspective with special emphasis on the emerging trend of home-based exercise. – *VASA. Zeitschrift für Gefasskrankheiten*, **44**/6: 405–417. doi: 10.1024/0301-1526/a000464.

GARDNER, A.W. & MONTGOMERY, P.S. (1998): Comparison of three blood pressure methods used for determining ankle/brachial index in patients with intermittent claudication. – *Angiology*, **49**/9: 723–728.

GARDNER, A.W., MONTGOMERY, P.S., RITTI-DIAS, R.M. & FORRESTER, L. (2010): The effect of claudication pain on temporal and spatial gait measures during self-paced ambulation. – *Vascular Medicine*, **15**/1: 21–26. doi: 10.1177/1358863X09106836.

GARDNER, A.W., PARKER, D.E., MONTGOMERY, P.S., SCOTT, K.J. & BLEVINS, S.M. (2011): Efficacy of Quantified Home-Based Exercise and Supervised Exercise in Patients With Intermittent Claudication: A Randomized Controlled Trial. –

*Circulation*, **123**/5: 491–498. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.963066.

GARDNER, A.W. & POEHLMAN, E.T. (1995): Exercise rehabilitation programs for the treatment of claudication pain. A meta-analysis. – *JAMA*, **274**/12: 975–980.

GARDNER, A.W., SKINNER, J.S., CANTWELL, B.W. & SMITH, L.K. (1991): Progressive vs single-stage treadmill tests for evaluation of claudication. – *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **23**/4: 402–408.

GEORGAKARAKOS, E., PAPADAKI, E., VAMVAKEROU, V., LYTRAS, D., TSIOKANI, A., TSOLAKAKI, O., CHLIMPOU, D. & PAPANAS, N. (2013): Training to Measure Ankle-Brachial Index at the Undergraduate Level: Can It Be Successful? – *The International Journal of Lower Extremity Wounds*, **12**/2: 167–171. doi: 10.1177/1534734613483768.

GERNIGON, M., LE FAUCHEUR, A., NOURY-DESVAUX, B., MAHE, G., ABRAHAM, P. & POST-GPS STUDY COINVESTIGATORS GROUP (2014): Applicability of global positioning system for the assessment of walking ability in patients with arterial claudication. – *Journal of Vascular Surgery*, **60**/4: 973–981.e1. doi: 10.1016/j.jvs.2014.04.053.

GIMBRONE, M.A. & GARCÍA-CARDEÑA, G. (2016): Endothelial Cell Dysfunction and the Pathobiology of Atherosclerosis. – *Circulation Research*, **118**/4: 620–636. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.115.306301.

GOMMANS, L.N.M., SAARLOOS, R., SCHELTINGA, M.R.M., HOUTERMAN, S., DE BIE, R.A., FOKKENROOD, H.J.P. & TEIJINK, J.A.W. (2014): Editor's Choice – The Effect of Supervision on Walking Distance in Patients with Intermittent Claudication: A Meta-analysis. – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **48**/2: 169–184. doi: 10.1016/j.ejvs.2014.04.019.

GRABOWSKI, S.R. (2001): Principes d'anatomie et physiologie. – St-Laurent, Québec (ERPI).

HAMBURG, N.M. & BALADY, G.J. (2011): Exercise rehabilitation in peripheral artery disease: functional impact and mechanisms of benefits. – *Circulation*, **123**/1: 87–97. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.881888.

HANSSON, G.K., ROBERTSON, A.-K.L. & SÖDERBERG-NAUCLÉR, C. (2006): Inflammation and atherosclerosis. – *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, **1**/1: 297–329. doi: 10.1146/annurev.pathol.1.110304.100100.

HAS (2016): Service des recommandations professionnelles. Prise en charge de l'artériopathie chronique oblitérante athéroscléreuse des membres inférieurs (indications médicamenteuses, de revascularisation et de rééducation). – .

HIATT, W.R., ARMSTRONG, E.J., LARSON, C.J. & BRASS, E.P. (2015): Pathogenesis of the limb manifestations and exercise limitations in peripheral artery disease. – *Circulation Research*, **116**/9: 1527–1539. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.116.303566.

HIATT, W.R., NAWAZ, D., REGENSTEINER, J.G. & HOSSACK, K.F. (1988): The Evaluation of Exercise Performance in Patients with Peripheral Vascular Disease. – *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, **8**/12: 525–532. doi: 10.1097/00008483-198812200-00005.

HIATT, W.R., ROGERS, R.K. & BRASS, E.P. (2014): The Treadmill Is a Better Functional Test Than the 6-Minute Walk Test in Therapeutic Trials of Patients With Peripheral Artery Disease. – *Circulation*, **130**/1: 69–78. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.007003.

HIRSCH, A.T., HASKAL, Z.J., HERTZER, N.R., BAKAL, C.W., CREAGER, M.A., HALPERIN, J.L., HIRATZKA, L.F., MURPHY, W.R.C., OLIN, J.W., PUSCHETT, J.B., ROSENFELD, K.A., SACKS, D., STANLEY, J.C., TAYLOR, L.M., WHITE, C.J., WHITE, J., WHITE, R.A., ANTMAN, E.M., SMITH, S.C., ADAMS, C.D., ANDERSON, J.L., FAXON, D.P., FUSTER, V., GIBBONS, R.J., HUNT, S.A., JACOBS, A.K., NISHIMURA, R., ORNATO, J.P., PAGE, R.L., RIEGEL, B., AMERICAN ASSOCIATION FOR VASCULAR SURGERY, SOCIETY FOR VASCULAR SURGERY, SOCIETY FOR CARDIOVASCULAR ANGIOGRAPHY AND INTERVENTIONS, SOCIETY FOR VASCULAR MEDICINE AND BIOLOGY, SOCIETY OF INTERVENTIONAL RADIOLOGY, ACC/AHA TASK FORCE ON PRACTICE GUIDELINES WRITING COMMITTEE TO DEVELOP GUIDELINES FOR THE MANAGEMENT OF PATIENTS WITH PERIPHERAL ARTERIAL DISEASE, AMERICAN ASSOCIATION OF CARDIOVASCULAR AND PULMONARY REHABILITATION, NATIONAL HEART, LUNG, AND BLOOD INSTITUTE, SOCIETY FOR VASCULAR NURSING, TRANSATLANTIC INTER-SOCIETY CONSENSUS & VASCULAR DISEASE FOUNDATION (2006): ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic): a collaborative report from the American Association for Vascular Surgery/Society for Vascular Surgery, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, Society of Interventional Radiology, and the ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease): endorsed by the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation; National Heart, Lung, and Blood Institute; Society for Vascular Nursing; TransAtlantic Inter-Society Consensus; and Vascular Disease Foundation. – *Circulation*, **113**/11: e463–654. doi:

10.1161/CIRCULATIONAHA.106.174526.

HØYER, C., SANDERMANN, J. & PETERSEN, L.J. (2013): The toe-brachial index in the diagnosis of peripheral arterial disease. – *Journal of Vascular Surgery*, **58**/1: 231–238. doi: 10.1016/j.jvs.2013.03.044.

LABS, K.-H., NEHLER, M.R., ROESSNER, M., JAEGER, K.A. & HIATT, W.R. (1999): Reliability of treadmill testing in peripheral arterial disease: a comparison of a constant load with a graded load treadmill protocol. – *Vascular Medicine*, **4**/4: 239–246. doi: 10.1177/1358836X9900400406.

LE FAUCHEUR, A., ABRAHAM, P., JAQUINANDI, V., BOUYE, P., SAUMET, J.L. & NOURY-DESVAUX, B. (2008): Measurement of Walking Distance and Speed in Patients With Peripheral Arterial Disease: A Novel Method Using a Global Positioning System. – *Circulation*, **117**/7: 897–904. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.725994.

LE FAUCHEUR, A., DE MULLENHEIM, P.-Y. & MAHE, G. (2015): Letter by Le Faucheur et al Regarding Articles, “Six-Minute Walk Is a Better Outcome Measure Than Treadmill Walking Tests in Therapeutic Trials of Patients With Peripheral Artery Disease” and “The Treadmill Is a Better Functional Test Than the 6-Minute Walk Test in Therapeutic Trials of Patients With Peripheral Artery Disease.” – *Circulation*, **131**/15: e406–e406. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.012389.

LEVICK, J.R. (2010): An introduction to cardiovascular physiology. 5th ed. – 414 pp. London (Hodder Arnold).

LIBBY, P., RIDKER, P.M. & MASERI, A. (2002): Inflammation and atherosclerosis. – *Circulation*, **105**/9: 1135–1143.

MAHÉ, G. (2015): [Ankle-brachial index measurement: Methods of teaching in French medical schools and review of literature]. – *Journal Des Maladies Vasculaires*, **40**/3: 165–172. doi: 10.1016/j.jmv.2015.03.001.

MAHE, G., OUEDRAOGO, N., MARCHAND, J., VIELLE, B., PICQUET, J., LEFTHERIOTIS, G. & ABRAHAM, P. (2011): Self-reported estimation of usual walking speed improves the performance of questionnaires estimating walking capacity in patients with vascular-type claudication. – *Journal of Vascular Surgery*, **54**/5: 1360–1365. doi: 10.1016/j.jvs.2011.05.048.

MAHÉ, G., OUEDRAOGO, N., VASSEUR, M., FALIGANT, C., SAIDI, K., LEFTHERIOTIS, G. & ABRAHAM, P. (2011): Limitations of Self-reported Estimates of Functional Capacity Using the Walking Impairment Questionnaire. – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **41**/1: 104–109. doi: 10.1016/j.ejvs.2010.10.002.



- MASERI, A., CHIERCHIA, S., DAVIES, G. & GLAZIER, J. (1985): Mechanisms of ischemic cardiac pain and silent myocardial ischemia. – *The American Journal of Medicine*, **79**/3: 7–11. doi: 10.1016/0002-9343(85)90487-5.
- MATTHEW, C.E. (2005): Calibration of accelerometer output for adults. – *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **37**/11 Suppl: S512–522.
- MCCULLY, K., LEIPER, C., SANDERS, T. & GRIFFIN, E. (1999): The effects of peripheral vascular disease on gait. – *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, **54**/7: B291–294.
- MCDERMOTT, M.M. (2015): Lower Extremity Manifestations of Peripheral Artery Disease: The Pathophysiologic and Functional Implications of Leg Ischemia. – *Circulation Research*, **116**/9: 1540–1550. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.114.303517.
- MCDERMOTT, M.M., FERRUCCI, L., LIU, K., GURALNIK, J.M., TIAN, L., LIAO, Y. & CRIQUI, M.H. (2010): Leg symptom categories and rates of mobility decline in peripheral arterial disease. – *Journal of the American Geriatrics Society*, **58**/7: 1256–1262. doi: 10.1111/j.1532-5415.2010.02941.x.
- MCDERMOTT, M.M., FRIED, L., SIMONSICK, E., LING, S. & GURALNIK, J.M. (2000): Asymptomatic peripheral arterial disease is independently associated with impaired lower extremity functioning: the women’s health and aging study. – *Circulation*, **101**/9: 1007–1012.
- MCDERMOTT, M.M., GREENLAND, P., LIU, K., GURALNIK, J.M., CRIQUI, M.H., DOLAN, N.C., CHAN, C., CELIC, L., PEARCE, W.H., SCHNEIDER, J.R., SHARMA, L., CLARK, E., GIBSON, D. & MARTIN, G.J. (2001): Leg symptoms in peripheral arterial disease: associated clinical characteristics and functional impairment. – *JAMA*, **286**/13: 1599–1606.
- MCDERMOTT, M.M., GURALNIK, J.M., CRIQUI, M.H., LIU, K., KIBBE, M.R. & FERRUCCI, L. (2014): Six-Minute Walk Is a Better Outcome Measure Than Treadmill Walking Tests in Therapeutic Trials of Patients With Peripheral Artery Disease. – *Circulation*, **130**/1: 61–68. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.007002.
- MCDERMOTT, M.M., GURALNIK, J.M., FERRUCCI, L., TIAN, L., LIU, K., LIAO, Y., GREEN, D., SUFIT, R., HOFF, F., NISHIDA, T., SHARMA, L., PEARCE, W.H., SCHNEIDER, J.R. & CRIQUI, M.H. (2008): Asymptomatic peripheral arterial disease is associated with more adverse lower extremity characteristics than intermittent claudication. – *Circulation*, **117**/19: 2484–2491. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.736108.

McDERMOTT, M.M., LIU, K., FERRUCCI, L., TIAN, L., GURALNIK, J.M., LIAO, Y. & CRIQUI, M.H. (2011): Decline in Functional Performance Predicts Later Increased Mobility Loss and Mortality in Peripheral Arterial Disease. – *Journal of the American College of Cardiology*, **57**/8: 962–970. doi: 10.1016/j.jacc.2010.09.053.

McDERMOTT, M.M., LIU, K., GREENLAND, P., GURALNIK, J.M., CRIQUI, M.H., CHAN, C., PEARCE, W.H., SCHNEIDER, J.R., FERRUCCI, L., CELIC, L., TAYLOR, L.M., VONESH, E., MARTIN, G.J. & CLARK, E. (2004): Functional decline in peripheral arterial disease: associations with the ankle brachial index and leg symptoms. – *JAMA*, **292**/4: 453–461. doi: 10.1001/jama.292.4.453.

MELANSON, E.L. & FREEDSON, P.S. (1995): Validity of the Computer Science and Applications, Inc. (CSA) activity monitor. – *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **27**/6: 934–940.

MENSE, S. & GERWIN, R.D. (eds) (2010): Muscle Pain: Understanding the Mechanisms. – Berlin, Heidelberg (Springer Berlin Heidelberg).

MOCKFORD, K.A., VANICEK, N., JORDAN, A., CHETTER, I.C. & COUGHLIN, P.A. (2010): Kinematic adaptations to ischemic pain in claudicants during continuous walking. – *Gait & Posture*, **32**/3: 395–399. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.06.021.

MONTGOMERY, P.S. & GARDNER, A.W. (1998): The clinical utility of a six-minute walk test in peripheral arterial occlusive disease patients. – *Journal of the American Geriatrics Society*, **46**/6: 706–711.

MURPHY, T.P., CUTLIP, D.E., REGENSTEINER, J.G., MOHLER, E.R., COHEN, D.J., REYNOLDS, M.R., MASSARO, J.M., LEWIS, B.A., CEREZO, J., OLDENBURG, N.C., THUM, C.C., GOLDBERG, S., JAFF, M.R., STEFFES, M.W., COMEROTA, A.J., EHRLMAN, J., TREAT-JACOBSON, D., WALSH, M.E., COLLINS, T., BADENHOP, D.T., BRONAS, U., HIRSCH, A.T. & FOR THE CLEVER STUDY INVESTIGATORS (2012): Supervised Exercise Versus Primary Stenting for Claudication Resulting From Aortoiliac Peripheral Artery Disease: Six-Month Outcomes From the Claudication: Exercise Versus Endoluminal Revascularization (CLEVER) Study. – *Circulation*, **125**/1: 130–139. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.111.075770.

MYERS, S.A., JOHANNING, J.M., STERGIOU, N., LYNCH, T.G., LONGO, G.M. & PIPINOS, I.I. (2008): Claudication distances and the Walking Impairment Questionnaire best describe the ambulatory limitations in patients with symptomatic peripheral arterial disease. – *Journal of Vascular Surgery*, **47**/3: 550–555.e1. doi: 10.1016/j.jvs.2007.10.052.

- NICHOLS, J.F., MORGAN, C.G., CHABOT, L.E., SALLIS, J.F. & CALFAS, K.J. (2000): Assessment of physical activity with the Computer Science and Applications, Inc., accelerometer: laboratory versus field validation. – *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **71**/1: 36–43. doi: 10.1080/02701367.2000.10608878.
- NICOLAÏ, S.P.A., VIECHTBAUER, W., KRUIDENIER, L.M., CANDEL, M.J.J.M., PRINS, M.H. & TELJINK, J.A.W. (2009): Reliability of treadmill testing in peripheral arterial disease: A meta-regression analysis. – *Journal of Vascular Surgery*, **50**/2: 322–329. doi: 10.1016/j.jvs.2009.01.042.
- NORGREN, L., HIATT, W.R., DORMANDY, J.A., NEHLER, M.R., HARRIS, K.A. & FOWKES, F.G.R. (2007): Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **33**/1: S1–S75. doi: 10.1016/j.ejvs.2006.09.024.
- NOURY-DESVAUX, B., ABRAHAM, P., MAHÉ, G., SAUVAGET, T., LEFTHERIOTIS, G. & LE FAUCHEUR, A. (2011): The Accuracy of a Simple, Low-Cost GPS Data Logger/Receiver to Study Outdoor Human Walking in View of Health and Clinical Studies. – *PLoS ONE*, **6**/9: e23027. doi: 10.1371/journal.pone.0023027.
- OUEDRAOGO, N., MAHE, G., MARCHAND, J., SAÏDI, K., LEFTHERIOTIS, G. & ABRAHAM, P. (2011): Validation of a new simple questionnaire to “estimate ambulation capacity by history” (EACH) in patients with claudication. – *Journal of Vascular Surgery*, **54**/1: 133–138. doi: 10.1016/j.jvs.2010.11.129.
- PÉREZ-MARTIN, A., MEYER, G., DEMATTEI, C., BÖGE, G., LAROCHE, J.-P., QUÉRÉ, I. & DAUZAT, M. (2010): Validation of a Fully Automatic Photoplethysmographic Device for Toe Blood Pressure Measurement. – *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **40**/4: 515–520. doi: 10.1016/j.ejvs.2010.06.008.
- PLASQUI, G., BONOMI, A.G. & WESTERTERP, K.R. (2013): Daily physical activity assessment with accelerometers: new insights and validation studies. – *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, **14**/6: 451–462. doi: 10.1111/obr.12021.
- POWELL, J.T., EDWARDS, R.J., WORRELL, P.C., FRANKS, P.J., GREENHALGH, R.M. & POULTER, N.R. (1997): Risk factors associated with the development of peripheral arterial disease in smokers: a case-control study. – *Atherosclerosis*, **129**/1: 41–48.
- PRICE, J.F., MOWBRAY, P.I., LEE, A.J., RUMLEY, A., LOWE, G.D. & FOWKES, F.G. (1999): Relationship between smoking and cardiovascular risk factors in the development of peripheral arterial disease and coronary artery disease: Edinburgh

Artery Study. – *European Heart Journal*, **20**/5: 344–353.

RAKOTZ, M.K., TOWNSEND, R.R., YANG, J., ALPERT, B.S., HENEGHAN, K.A., WYNIA, M. & WOZNIAK, G.D. (2017): Medical students and measuring blood pressure: Results from the American Medical Association Blood Pressure Check Challenge. – *Journal of Clinical Hypertension (Greenwich, Conn.)*, **19**/6: 614–619. doi: 10.1111/jch.13018.

ROSE, G.A. (1962): The diagnosis of ischaemic heart pain and intermittent claudication in field surveys. – *Bulletin of the World Health Organization*, **27**: 645–658.

SCHIANO, V., BREVETTI, G., SIRICO, G., SILVESTRO, A., GIUGLIANO, G. & CHIARIELLO, M. (2006): Functional status measured by walking impairment questionnaire and cardiovascular risk prediction in peripheral arterial disease: results of the Peripheral Arteriopathy and Cardiovascular Events (PACE) study. – *Vascular Medicine (London, England)*, **11**/3: 147–154. doi: 10.1177/1358863x06074830.

SCOTT-PANDORF, M.M., STERGIOU, N., JOHANNING, J.M., ROBINSON, L., LYNCH, T.G. & PIPINOS, I.I. (2007): Peripheral arterial disease affects ground reaction forces during walking. – *Journal of Vascular Surgery*, **46**/3: 491–499. doi: 10.1016/j.jvs.2007.05.029.

SEENAN, C., MCSWIGGAN, S., ROCHE, P.A., TAN, C.-W., MERCER, T. & BELCH, J.J.F. (2016): Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Improves Walking Performance in Patients With Intermittent Claudication: – *The Journal of Cardiovascular Nursing*, **31**/4: 323–330. doi: 10.1097/JCN.0000000000000258.

SIGGAARD-ANDERSEN, J. & BONDE PETERSEN, F. (1968): Intermittent Claudication: A Comparison Between Subjective and Measured Claudication Walking Distance. – *Angiology*, **19**/7: 426–434. doi: 10.1177/000331976801900707.

SONTER, J., SADLER, S. & CHUTER, V. (2015): Inter-rater reliability of automated devices for measurement of toe systolic blood pressure and the toe brachial index: – *Blood Pressure Monitoring*, **20**/1: 47–51. doi: 10.1097/MBP.0000000000000083.

STARY, H.C. (2000): Natural history and histological classification of atherosclerotic lesions: an update. – *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **20**/5: 1177–1178.

TENDERA, M., ABOYANS, V., BARTELINK, M.-L., BAUMGARTNER, I., CLEMENT, D., COLLET, J.-P., CREMONESI, A., DE CARLO, M., ERBEL, R., FOWKES, F.G.R., HERAS, M., KOWNATOR, S., MINAR, E., OSTERGREN, J., POLDERMANS, D., RIAMBAU, V., ROFFI, M., ROTHER, J., SIEVERT, H., VAN SAMBEEK, M., ZELLER, T., ESC COMMITTEE FOR PRACTICE GUIDELINES (CPG), BAX, J., AURICCHIO, A., BAUMGARTNER, H., CECONI, C., DEAN, V., DEATON, C., FAGARD, R., FUNCK-BRENTANO, C., HASDAI, D., HOES, A., KNUUTI, J., KOLH, P., McDONAGH, T., MOULIN, C., POLDERMANS, D., POPESCU, B., REINER, Z., SECHTEM, U., SIRNES, P.A., TORBICKI, A., VAHANIAN, A., WINDECKER, S., DOCUMENT REVIEWERS, KOLH, P., TORBICKI, A., AGEWALL, S., BLINC, A., BULVAS, M., COSENTINO, F., DE BACKER, T., GOTTSATER, A., GULBA, D., GUZIK, T.J., JONSSON, B., KESMARKY, G., KITSIOU, A., KUCZMIK, W., LARSEN, M.L., MADARIC, J., MAS, J.-L., MCMURRAY, J.J.V., MICARI, A., MOSSERI, M., MULLER, C., NAYLOR, R., NORRVING, B., OTO, O., PASIERSKI, T., PLOUIN, P.-F., RIBICHINI, F., RICCO, J.-B., RUILOPE, L., SCHMID, J.-P., SCHWEHR, U., SOL, B.G.M., SPRYNGER, M., TIEFENBACHER, C., TSIOUFIS, C. & VAN DAMME, H. (2011): ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral artery diseases: Document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries \* The Task Force on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Artery Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). – *European Heart Journal*, **32**/22: 2851–2906. doi: 10.1093/eurheartj/ehr211.

TERRIER, P., AMINIAN, K. & SCHUTZ, Y. (2001): Can accelerometry accurately predict the energy cost of uphill/downhill walking? – *Ergonomics*, **44**/1: 48–62. doi: 10.1080/001401301118289.

TEW, G., COPELAND, R., LE FAUCHEUR, A., GERNIGON, M., NAWAZ, S. & ABRAHAM, P. (2013): Feasibility and validity of self-reported walking capacity in patients with intermittent claudication. – *Journal of Vascular Surgery*, **57**/5: 1227–1234. doi: 10.1016/j.jvs.2012.02.073.

TORTORA, G.J. & DERRICKSON, B.H. (2013): Principes d’anatomie et de physiologie. – Bruxelles (De Boeck).

TUDOR-LOCKE, C., BRASHEAR, M.M., KATZMARZYK, P.T. & JOHNSON, W.D. (2012): Peak stepping cadence in free-living adults: 2005–2006 NHANES. – *Journal of Physical Activity & Health*, **9**/8: 1125–1129.

VAN DEN HOUTEN, M.M.L., SPRUIJT, S., FOKKENROOD, H.J.P., SCHELTINGA, M.R.M. & TEIJINK, J.A.W. (2018): User Preferences for Mobile Health Interventions: A Survey among Intermittent Claudication Patients and Their Physical Therapists. – *Annals of Vascular Surgery*, **46**: 249–256. doi: 10.1016/j.avsg.2017.08.020.

WILLIAMS, D.T., HARDING, K.G. & PRICE, P. (2005): An evaluation of the efficacy of methods used in screening for lower-limb arterial disease in diabetes. – *Diabetes Care*, **28**/9: 2206–2210.

WILLIAMSON, A. & HOGGART, B. (2005): Pain: a review of three commonly used pain rating scales. – *Journal of Clinical Nursing*, **14**/7: 798–804. doi: 10.1111/j.1365-2702.2005.01121.x.

WINSOR, T. (1950): Influence of arterial disease on the systolic blood pressure gradients of the extremity. – *The American Journal of the Medical Sciences*, **220**/2: 117–126.

WOOD, A.J.J. & HIATT, W.R. (2001): Medical Treatment of Peripheral Arterial Disease and Claudication. – *New England Journal of Medicine*, **344**/21: 1608–1621. doi: 10.1056/NEJM200105243442108.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (ed) (2007): Prevention of cardiovascular disease: guidelines for assessment and management of cardiovascular risk. – 86 pp. Geneva (World Health Organization).

WYATT, M.F., STICKRATH, C., SHAH, A., SMART, A., HUNT, J. & CASSERLY, I.P. (2010): Ankle brachial index performance among internal medicine residents. – *Vascular Medicine*, **15**/2: 99–105. doi: 10.1177/1358863X09356015.

YANG, C.-C. & HSU, Y.-L. (2010): A Review of Accelerometry-Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring. – *Sensors*, **10**/8: 7772–7788. doi: 10.3390/s100807772.

ZWIERSKA, I., NAWAZ, S., WALKER, R.D., WOOD, R.F.M., POCKLEY, A.G. & SAXTON, J.M. (2004): Treadmill versus Shuttle Walk Tests of Walking Ability in Intermittent Claudication. – *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **36**/11: 1835–1840. doi: 10.1249/01.MSS.0000145471.73711.66.

ZWIERSKA, I., WALKER, R.D., CHOKSY, S.A., MALE, J.S., POCKLEY, A.G. & SAXTON, J.M. (2005): Upper- vs lower-limb aerobic exercise rehabilitation in patients with symptomatic peripheral arterial disease: A randomized controlled trial. – *Journal of Vascular Surgery*, **42**/6: 1122–1130. doi: 10.1016/j.jvs.2005.08.021.



## ANNEXES

---





## Annexe 1. Walking Impairment Questionnaire (WIQ)

**Distance de Marche :** Pour chacune des distances de marche qui vous sont proposées ci-dessous, reportez le degré de difficulté physique qui traduit le mieux votre difficulté à marcher sur terrain plat sans vous arrêter pour vous reposer.

| Distance                                  | Degré de difficulté      |                          |                          |                          |                          |
|-------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                           | Aucun                    | Léger                    | Moyen                    | Important                | Infaisable               |
| 1. Marcher chez soi (autour de la maison) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Marcher 20 m                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Marcher 50 m (1 demi pâté de maisons)  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Marcher 100 m (1 pâté de maisons)      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Marcher 200 m (2 pâtés de maisons)     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Marcher 300 m (3 pâtés de maisons)     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Marcher 500 m (5 pâtés de maisons)     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Vitesse de Marche :** Reportez le degré de difficulté physique qui décrit le mieux la difficulté que vous avez à parcourir, en fonction de différentes vitesses de marche, la distance correspondant à un pâté de maisons (sur terrain plat) et ce, sans vous arrêter pour vous reposer.

| Vitesse                                                                        | Degré de difficulté      |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                                                                | Aucun                    | Léger                    | Moyen                    | Important                | Infaisable               |
| 1. Parcourir un pâté de maisons (100 m) en marchant lentement ?                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Parcourir un pâté de maisons à une vitesse de marche normale (habituelle) ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Parcourir un pâté de maisons en marchant rapidement ?                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Parcourir un pâté de maisons en courant (footing) ?                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Montée d'escaliers :** Reportez le degré de difficulté physique qui décrit le mieux la difficulté que vous avez eu à monter des escaliers, sans vous arrêter pour vous reposer, au cours de la dernière semaine.

| Montée d'escaliers   | Degré de difficulté      |                          |                          |                          |                          |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                      | Aucun                    | Léger                    | Moyen                    | Important                | Infaisable               |
| 1. Monter 1 étage ?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Monter 2 étages ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Monter 3 étages ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## Annexe 2. Estimate Ambulation Capacity by History (EACH) questionnaire

Pour chacune des propositions suivantes, entourez obligatoirement une et une seule des huit réponses possibles.

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez-vous pouvoir) marcher facilement et sans vous arrêter pour vous reposer si vous devez marcher lentement ?  
(une vitesse plus lente que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible | 30 secondes | 1 minute | 3 minutes | 10 minutes | 30 minutes | 1 heure | 3 heures et plus

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez-vous pouvoir) marcher facilement et sans vous arrêter pour vous reposer si vous devez marcher à une vitesse moyenne ? (la même vitesse que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible | 30 secondes | 1 minute | 3 minutes | 10 minutes | 30 minutes | 1 heure | 3 heures et plus

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez-vous pouvoir) marcher facilement et sans vous arrêter pour vous reposer si vous devez marcher rapidement ? (une vitesse plus rapide que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible | 30 secondes | 1 minute | 3 minutes | 10 minutes | 30 minutes | 1 heure | 3 heures et plus

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez-vous pouvoir) courir facilement et sans vous arrêter pour vous reposer ?

Impossible | 30 secondes | 1 minute | 3 minutes | 10 minutes | 30 minutes | 1 heure | 3 heures et plus

### Annexe 3. Walking Estimated Lower Claudication by History (WELCH) questionnaire

Pour chacune des propositions suivantes, entourez obligatoirement une et une seule des huit réponses possibles.

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez-vous pouvoir) marcher facilement et sans vous arrêter pour vous reposer si vous devez marcher lentement ?  
(une vitesse plus lente que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible | 30 secondes | 1 minute | 3 minutes | 10 minutes | 30 minutes | 1 heure | 3 heures et plus

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez-vous pouvoir) marcher facilement et sans vous arrêter pour vous reposer si vous devez marcher à une vitesse moyenne ? (la même vitesse que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible | 30 secondes | 1 minute | 3 minutes | 10 minutes | 30 minutes | 1 heure | 3 heures et plus

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez-vous pouvoir) marcher facilement et sans vous arrêter pour vous reposer si vous devez marcher rapidement ? (une vitesse plus rapide que celle de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge)

Impossible | 30 secondes | 1 minute | 3 minutes | 10 minutes | 30 minutes | 1 heure | 3 heures et plus

Sur terrain plat, combien de temps pouvez-vous (ou pensez-vous pouvoir) courir facilement et sans vous arrêter pour vous reposer ?

Impossible | 30 secondes | 1 minute | 3 minutes | 10 minutes | 30 minutes | 1 heure | 3 heures et plus

Pour la question suivante, cochez obligatoirement une et une seule des cinq valeurs possibles.

Par rapport à la vitesse de marche moyenne de vos proches, de vos amis ou des gens de votre âge, pensez-vous marcher habituellement...

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| Beaucoup moins vite   | <input type="checkbox"/> |
| Moins vite            | <input type="checkbox"/> |
| Légèrement moins vite | <input type="checkbox"/> |
| À la même vitesse     | <input type="checkbox"/> |
| Plus vite             | <input type="checkbox"/> |



# TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Remerciements.....                                                                                                                                 | iii       |
| Productions scientifiques liées à la thèse.....                                                                                                    | vii       |
| Productions scientifiques complémentaires.....                                                                                                     | ix        |
| Sommaire.....                                                                                                                                      | 1         |
| Liste des abréviations principales.....                                                                                                            | 3         |
| Liste des tableaux.....                                                                                                                            | 5         |
| Liste des figures.....                                                                                                                             | 7         |
| Liste des annexes.....                                                                                                                             | 9         |
| Introduction.....                                                                                                                                  | 11        |
| <b>Chapitre 1:Diagnostic de l'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs..</b>                                                               | <b>13</b> |
| 1. L'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs.....                                                                                         | 15        |
| 1.1 Épidémiologie.....                                                                                                                             | 15        |
| 1.1.1 Prévalence.....                                                                                                                              | 15        |
| 1.1.2 Facteurs de risque.....                                                                                                                      | 15        |
| 1.1.3 Mortalité.....                                                                                                                               | 16        |
| 1.2 Traitements.....                                                                                                                               | 16        |
| 1.3 Pathogenèse.....                                                                                                                               | 17        |
| 1.3.1 Anatomie des artères des membres inférieurs.....                                                                                             | 17        |
| 1.3.2 La paroi artérielle.....                                                                                                                     | 18        |
| 1.3.3 Le processus d'athérosclérose.....                                                                                                           | 20        |
| 1.3.4 Les conséquences de l'athérosclérose sur les modalités d'écoulement sanguin.....                                                             | 21        |
| 1.4 Méthode diagnostique .....                                                                                                                     | 24        |
| 2. Enseignement et apprentissage de l'Index de Pression Systolique de repos.....                                                                   | 27        |
| 2.1 Méthodes d'enseignement de l'Index de Pression Systolique en France.....                                                                       | 27        |
| 2.2 Connaissances des étudiants concernant l'IPS de repos.....                                                                                     | 28        |
| 2.3 Connaissances des capacitaires concernant l'IPS de repos et comparaison avec les autres tests non invasifs : l'IPSGO et l'IPS post-effort..... | 39        |
| 2.4 Les effets des interventions pédagogiques sur l'apprentissage de l'IPS de repos.....                                                           | 59        |
| 2.5 Comparaison de trois méthodes d'enseignement sur l'apprentissage de la procédure d'IPS de repos.....                                           | 67        |
| 2.6 Maintien à moyen terme des connaissances des étudiants concernant l'IPS de repos.....                                                          | 73        |
| Résumé et discussion.....                                                                                                                          | 77        |

|                                                                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Chapitre 2 : Approche fonctionnelle dans l'artériopathie oblitérante des membres inférieurs.....</b>                                                     | <b>81</b> |
| 1. Douleur ischémique à la marche et altérations fonctionnelles .....                                                                                       | 83        |
| 1.1 La douleur ischémique à la marche des patients artériopathes .....                                                                                      | 83        |
| 1.1.1 Les différents profils symptomatologiques .....                                                                                                       | 83        |
| 1.1.1.a La claudication intermittente : le symptôme classique.....                                                                                          | 83        |
| 1.1.1.b La claudication atypique : le symptôme prépondérant.....                                                                                            | 84        |
| 1.1.1.c L'absence de symptômes déclarés: la face cachée de l'iceberg .....                                                                                  | 85        |
| 1.1.2 Les facteurs pouvant influencer sur la présence de symptômes .....                                                                                    | 86        |
| 1.1.3 Le phénomène d'ischémie-reperfusion induit par l'exercice.....                                                                                        | 88        |
| 1.2 Les altérations fonctionnelles dans l'AOMI.....                                                                                                         | 89        |
| 1.2.1 Altération des aspects biomécaniques de la marche.....                                                                                                | 89        |
| 1.2.2 Limitations fonctionnelles a la marche et impact sur la qualité de vie.....                                                                           | 90        |
| 2. Méthodes d'évaluation de la capacité de marche et de la douleur ischémique associée.....                                                                 | 92        |
| 2.1 En laboratoire : une évaluation standardisée des symptômes .....                                                                                        | 92        |
| 2.1.1 Tests sur tapis motorisé.....                                                                                                                         | 92        |
| 2.1.1.a Les tests sur tapis motorisé a charge constante.....                                                                                                | 93        |
| 2.1.1.b Les tests sur tapis motorisé a charge croissante.....                                                                                               | 94        |
| 2.1.2 Le test de marche de six minutes (TM6) .....                                                                                                          | 95        |
| 2.1.3 Le test de marche navette (Shuttle test) .....                                                                                                        | 96        |
| 2.2 En condition de vie réelle via des questionnaires de limitations fonctionnelles: une évaluation subjective/rapportée des symptômes.....                 | 97        |
| 2.2.1 Walking Impairment Questionnaire (WIQ).....                                                                                                           | 97        |
| 2.2.2 Estimated Ambulatory Capacity by History (EACH) questionnaire .....                                                                                   | 98        |
| 2.2.3 Walking Estimated Lower Claudication by History (WELCH) questionnaire .....                                                                           | 99        |
| 2.3 En ambulatoire via des moniteurs portables : des évaluations prometteuses mais restrictives.....                                                        | 99        |
| 2.3.1 Le système de Géo-Positionnement Satellitaire (GPS).....                                                                                              | 100       |
| 2.3.2 Le PADHOC (Peripheral Arterial Disease HOlter Control) .....                                                                                          | 101       |
| 3. Développement d'une méthode ambulatoire de quantification de l'occurrence de la douleur ischémique à la marche par couplage de moniteurs portables ..... | 102       |
| 3.1 Intérêt de la démarche et objectif.....                                                                                                                 | 102       |
| 3.2 Procédure expérimentale.....                                                                                                                            | 103       |
| 3.2.1 Critères d'inclusion et de non inclusion.....                                                                                                         | 103       |
| 3.2.2 Protocole de l'étude.....                                                                                                                             | 103       |
| 3.2.2.a Visite d'inclusion et mesures de la capacité de marche en laboratoire.....                                                                          | 104       |
| 3.2.2.b Mesure de l'AP et de la symptomatologie en condition de vie réelle durant sept jours (AP7J).....                                                    | 105       |
| 3.2.2.c Session de marche en extérieur.....                                                                                                                 | 106       |
| 3.2.3 Les moniteurs portables utilisés pour la mesure de la symptomatologie en condition de vie réelle et la session de marche en extérieur .....           | 107       |
| 3.2.3.a L'accéléromètre wGT3X+.....                                                                                                                         | 107       |

|         |                                                                                                                                                 |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.3.b | La montre-bracelet marqueur d'événements.....                                                                                                   | 108 |
| 3.2.3.c | Le récepteur GPS.....                                                                                                                           | 108 |
| 3.3     | Collecte et traitement des données.....                                                                                                         | 109 |
| 3.3.1   | Données issues des expérimentations en laboratoire.....                                                                                         | 109 |
| 3.3.1.a | Temps de marche relatif et maximal au Gardner-Skinner.....                                                                                      | 109 |
| 3.3.1.b | Temps de marche relatif et maximal au Strandness.....                                                                                           | 109 |
| 3.3.1.c | Questionnaires WIQ et SF-36.....                                                                                                                | 109 |
| 3.3.2   | Données issues de la session de marche en extérieur.....                                                                                        | 110 |
| 3.3.3   | Données issues des sept jours en condition de vie réelle.....                                                                                   | 111 |
| 3.3.3.a | Synchronisation des moniteurs portables .....                                                                                                   | 111 |
| 3.3.3.b | Vérification de la dérive des moniteurs portables .....                                                                                         | 112 |
| 3.3.3.c | Téléchargement des données issues des moniteurs portables et création d'un<br>fichier unique de données pour les deux moniteurs portables ..... | 113 |
| 3.3.3.d | Identification des jours de port considérés comme valides.....                                                                                  | 114 |
| 3.3.3.e | Labélisation des marqueurs enregistrés par la montre.....                                                                                       | 114 |
| 3.3.3.f | Codage des cahiers d'activités.....                                                                                                             | 116 |
| 3.3.3.g | Détermination du Niveau d'Activité Physique .....                                                                                               | 116 |
| 3.4     | Analyses statistiques.....                                                                                                                      | 117 |
| 3.5     | Résultats.....                                                                                                                                  | 117 |
| 3.5.1   | Caractéristiques des patients.....                                                                                                              | 117 |
| 3.5.2   | Résultats issus de la session de marche en extérieur.....                                                                                       | 119 |
| 3.5.2.a | Validité des appuis lors de la marche en extérieur.....                                                                                         | 121 |
| 3.5.2.b | Relation entre le temps de marche relatif et maximal en ambulatoire et en<br>laboratoire et les questionnaires.....                             | 121 |
| 3.5.3   | Résultats issus des expérimentations en condition de vie réelle.....                                                                            | 122 |
| 3.5.3.a | Acceptabilité et utilisabilité des moniteurs portables .....                                                                                    | 122 |
| 3.5.3.b | Occurrence de la douleur en condition de vie réelle et niveau d'activité<br>physique.....                                                       | 122 |
| 3.5.3.c | Comparaison de la capacité de marche en condition de vie réelle, en<br>laboratoire et lors de la session de marche en extérieur.....            | 125 |
| 3.6     | Discussion.....                                                                                                                                 | 126 |
| 3.6.1   | Originalité de l'étude.....                                                                                                                     | 126 |
| 3.6.2   | Perspectives et travaux en cours .....                                                                                                          | 129 |
|         | Conclusion.....                                                                                                                                 | 133 |
|         | Bibliographie.....                                                                                                                              | 135 |
|         | Annexes.....                                                                                                                                    | I   |
|         | Annexe 1. Walking Impairment Questionnaire (WIQ).....                                                                                           | III |
|         | Annexe 2. Estimated Ambulatory Capacity by History (EACH) questionnaire .....                                                                   | IV  |
|         | Annexe 2. Walking Estimated Lower Claudication by History (WELCH) questionnaire .....                                                           | V   |
|         | Table des matières.....                                                                                                                         | VII |
|         | Communications orales principales présentées en tant que 1 <sup>er</sup> auteur.....                                                            | XI  |
|         | Signatures.....                                                                                                                                 | XIX |
|         | Résumé.....                                                                                                                                     | XX  |





**COMMUNICATIONS ORALES PRINCIPALES  
PRÉSENTÉES EN TANT QUE 1<sup>ER</sup> AUTEUR**

---



## 14ème congrès de la Société Française de Médecine Vasculaire Nancy, France.

### Enseignement de l'index de pression systolique : un appel à l'action

**CHAUDRU, S.**, DE MÜLLENHEIM, P-Y., LE FAUCHEUR, A., JAQUINANDI,  
V. & MAHÉ G.

**Objectif.** L'index de pression systolique (IPS) permet de diagnostiquer l'artériopathie oblitérante des membres inférieurs (AOMI) et est un marqueur indépendant de risque cardiovasculaire. La technique de mesure, de calcul et d'interprétation de l'IPS a fait l'objet d'un consensus international. Quelles connaissances ont les internes de cardiologie de ces recommandations ?

**Méthode.** Lors d'un séminaire, un questionnaire a été distribué à des internes issus de six facultés de médecine françaises. Le questionnaire évaluait en cinq questions les connaissances des internes sur les trois étapes clés de la procédure d'IPS : sa mesure, son calcul et son interprétation.

**Résultats.** Tous les internes présents ont rempli le questionnaire ( $n = 44$ ). Seize étaient en 1ère année d'internat et les vingt-huit autres en 2ème année ou plus. Aucun interne n'a été en mesure de répondre correctement à l'ensemble des questions. Dix (23 %), trois (7 %), et seize (36 %) internes ont correctement répondu aux questions concernant respectivement la mesure, le calcul et l'interprétation de l'IPS. Comparés aux internes de 1ère année, ceux des années supérieures ont significativement mieux répondu aux questions concernant la mesure de l'IPS ( $p = 0.0065$ , test du Chi2). Trois (7 %) rapportaient avoir déjà réalisé plus de vingt mesures d'IPS au cours de leur formation. Trente-six (82 %) ne se sentaient pas suffisamment entraînés et trente-trois (75 %) souhaitaient avoir plus de cours pratique.

**Discussion.** Cette étude révèle que : i) aucun des internes ne connaît l'ensemble de la procédure d'IPS, ii) les internes plus avancés dans le cursus répondent mieux aux questions concernant la mesure de l'IPS que les plus jeunes, iii) les internes souhaiteraient avoir plus de cours pratiques. Cette étude vient confirmer celles menées dans d'autres pays et suggère que la méthode actuelle d'enseignement de l'IPS, principalement basée sur des cours théoriques, n'est pas optimale. La littérature semble suggérer que l'entraînement à cette procédure, via des mises en situation pratique, est bénéfique pour les étudiants. Cette étude invite chaque personne en charge d'enseignement à évaluer les connaissances de ses étudiants et à développer des interventions éducatives en vue d'optimiser leurs apprentissages et finalement le soin du patient. Des recommandations internationales concernant l'enseignement de l'IPS sont nécessaires.



**27th World Congress of the International Union of Angiology (IUA)/ 15th Annual Congress of the French Society for Vascular Medicine (SFMV), Lyon, France.**

Objective quantification of walking pain occurrences in free-living conditions in peripheral artery disease patients.

**CHAUDRU, S.**, DE MÜLLENHEIM, P-Y., KLEIN, H., JAQUINANDI, V., MAHÉ, G. & LE FAUCHEUR, A.

**Objective.** Peripheral artery disease (PAD) patients can experience ischemic pain in the lower extremities whilst walking. Although walking pain occurrences can be objectively assessed in laboratory during a treadmill test, no objective free-living assessment has been performed yet. Using physical activity (PA) monitors, our aim was to develop a method to objectively quantify in free-living conditions walking pain occurrence and stops induced by ischemic pain in PAD patients.

**Methods.** Fifteen PAD patients (defined by an ankle-brachial index  $\leq 0.90$ ) limited by ischemic walking pain wore a wGT3X+ accelerometer and a Micro Motion logger watch for 7 days (NCT02041169). Patients had to push a button on the watch (marker event) to report the onset of walking pain and the stop induced by the pain. In addition, patients completed a PA diary on a daily basis. We have developed an algorithm to appropriately assign to each recorded marker event the following: i) walking pain occurrence; ii) stop induced by walking pain; iii) inconsistent event (error). For this purpose, downloaded data from the wGT3x+ were analysed using conventional handling procedure and then used to discriminate walking and sedentary periods using the number of wGT3X+ counts/sec (Vector Magnitude). Consistent marker events were then assigned to walking pain occurrences or stops induced by walking pain. Diaries were scored with the Compendium of PAs and used to identify indoor/outdoor conditions.

**Results.** The algorithm developed allows quantifying walking pain occurrences and stops induced by walking pain in outdoor conditions. However it did not allow distinguishing walking pain occurrences from stops in indoor conditions because of the specific nature of the walk (short bouts).

When applying this algorithm among the included 15 PAD patients of the present study, we highlighted that, on average, patients experienced pain only six times per week in outdoor conditions and this pain led the patients to stop in half of the cases. In indoor conditions, on average 6 marker events per week were recorded.

**Discussion.** The objective assessment of walking pain occurrences and stops induced by ischemia in free-living environment could provide interesting clinical information on patients' walking limitation.



## 21st annual congress of the European College of Sport Science Vienna, Austria.

### Assessing free-living impairment in peripheral artery disease patients by objectively quantifying walking pain occurrence: definition of a methodology using physical activity monitors.

**CHAUDRU, S.**, DE MÜLLENHEIM, P-Y., KLEIN, H., JAQUINANDI, V., MAHÉ,  
G. & LE FAUCHEUR, A.

**Introduction.** A high proportion (~50 to 80 %) of peripheral artery disease (PAD) patients experience ischemic pain in the lower extremities whilst walking, which forced them to stop in most cases. Although walking pain occurrence can be objectively assessed in laboratory during a treadmill test, no objective free-living assessment has been yet performed. Using physical activity (PA) monitors, our aim was to develop a method to objectively quantify in free-living conditions walking pain occurrences and stops induced by ischemic pain in PAD patients.

**Methods.** Fifteen PAD patients (defined by an ankle-brachial index  $\leq 0.90$ ) limited by ischemic walking pain wore a wGT3X+ accelerometer and a Micro Motion logger watch for 7 days (NCT02041169). Patients had to push a button on the watch (marker event) to report the onset of walking pain and the stop induced by the pain. In addition, patients completed a PA diary on a daily basis. We have developed an algorithm to appropriately assign to each recorded marker event the following: i) walking pain occurrence; ii) stop induced by walking pain; iii) inconsistent event (error). For this purpose, downloaded data from the wGT3x+ were analyzed using conventional handling procedure (CHOI ET AL. 2011) and then used to discriminate walking and sedentary periods. Consistent marker events were assigned to walking pain occurrences or stops induced by walking pain using the number of counts/sec (Vector Magnitude). Diaries were scored with the Compendium of PAs and used to identify indoor/outdoor conditions.

**Results.** The algorithm developed allows quantifying walking pain occurrences and stops induced by walking pain in outdoor conditions. However it didn't allow distinguishing walking pain from walking stop in indoor conditions because of the intermittent nature of the walk with very short bouts.

When applying this algorithm among the 15 PAD patients, we highlighted that, on average, patients experienced pain six times per week in outdoor conditions and this pain led the patients to stop in half of the cases. In indoor conditions, on average 6 marker events per week were recorded.

**Discussion.** The objective assessment of walking pain occurrences and walking stops induced by ischemia in free-living environment could provide interesting clinical information on patients' walking impairment.





## SIGNATURES

Du directeur de thèse,

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized 'G' or 'Gy'.

Du responsable de l'école Doctorale,

Du président de l'Université pour autorisation de soutenance,

Du président désigné par le jury après soutenance pour autorisation de publication,

**Titre :** Approche diagnostique et fonctionnelle dans l'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs

**Mots clés :** AOMI, index de pression systolique, pédagogie, douleur à la marche, limitation fonctionnelle, moniteurs portables.

**Résumé :**

L'Artériopathie Oblitérante des Membres Inférieurs (AOMI) est une pathologie chronique grave, induite par le processus physiopathologique d'athérosclérose. Diagnostiquée par la mesure de l'Index de Pression Systolique (IPS) de repos cette pathologie se traduit chez la plupart des patients par une ischémie (apports sanguins insuffisants) à l'exercice pouvant causer l'apparition de douleurs au niveau des membres inférieurs lors de la marche. Le premier axe de travail de cette thèse visait à évaluer la pertinence pédagogique des méthodes actuelles d'enseignement de l'IPS dans les facultés de médecine françaises. Les résultats des premiers travaux de recherche qui ont été menés montrent que les méthodes actuelles ne permettent pas aux étudiants de maîtriser les fondamentaux de cette mesure

diagnostique. D'autres travaux ont alors été menés afin de définir la place et la forme que devrait prendre l'enseignement de l'IPS dans le cursus médical afin qu'il puisse être acquis par les futurs médecins de manière fiable et durable. Le second axe de travail de cette thèse visait à proposer une nouvelle approche méthodologique basée sur l'utilisation conjointe de deux moniteurs portables (accéléromètre et montre marqueur d'événements) permettant la quantification des douleurs ischémiques à l'exercice des patients atteints d'AOMI en condition de vie réelle. Les résultats issus de ces travaux ouvrent des perspectives nouvelles pour le chercheur ou le clinicien pour la compréhension des limitations fonctionnelles des patients atteints d'AOMI dans leur contexte de vie.

**Title:** Diagnostic and functional approach in Peripheral Artery Disease

**Key words :** PAD, ankle-brachial index, pedagogy, walking pain manifestation, functional limitation, wearable activity monitors.

**Abstract:**

Lower-extremity Peripheral Artery Disease (PAD) is a severe non-communicable disease that is associated with atherosclerosis. Diagnosed by Ankle-Brachial Index (ABI), PAD leads, in most patients, to ischemia (mismatch between blood demand and blood supply) during exercise that may lead to the occurrence of pain in the lower extremities during walking. The first axis of the present thesis was to assess the level of knowledge on this diagnostic tool among French medical students. Our results suggest that the way of teaching or learning the ABI procedure is deficient. According to these results we

conducted another study to determine the best teaching method to improve students' ABI proficiency. The second axis of the present thesis was to propose a new method using wearable monitors (accelerometer and Micro Motion logger watch) to objectively identify and quantify lower limb walking pain manifestation as well as stop induced by walking pain during daily life in PAD patients. Our results can provide researchers and clinicians with a more realistic and holistic view of the functional limitations of PAD patients in free-living conditions.

 @Chaudru\_