



HAL
open science

Création et mise en place d'un programme d'entraînement contre résistance, en rééducation pre opératoire, des suites d'une rupture du ligament croisé antérieur en vue d'une intervention chirurgicale

Antoine Frouin

► To cite this version:

Antoine Frouin. Création et mise en place d'un programme d'entraînement contre résistance, en rééducation pre opératoire, des suites d'une rupture du ligament croisé antérieur en vue d'une intervention chirurgicale. Médecine humaine et pathologie. Nantes Université, 2024. Français. NNT : 2024NANU1007 . tel-04795795

HAL Id: tel-04795795

<https://theses.hal.science/tel-04795795v1>

Submitted on 21 Nov 2024

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

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

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 603

Education, Cognition, Langages, Interactions, Santé

Spécialité : « *Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives, 74^{ème} section* »

Par

Antoine FROUIN

Création et mise en place d'un programme d'entraînement contre résistance, en rééducation pre opératoire, des suites d'une rupture du ligament croisé antérieur en vue d'une intervention chirurgicale

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 19 juin 2024

Unité de recherche : UR4334 Laboratoire Motricité, Interactions, Performance
Nantes Université – UFR STAPS

Rapporteurs avant soutenance :

Nicola MAFFIULETTI HDR, Principal Investigator, Schulthess Clinic (Zürich).

Thomas LAPOLE MCU, HDR, directeur du laboratoire, LIBM (Université Jean-Monnet, Saint-Etienne).

Composition du Jury :

Examinatrice : Patricia THOREUX PU-PH, Université Sorbonne Paris Nord

Examineurs : Olivier SEYNNES Full Professor, Norwegian School of Sport Science (Oslo)

Nicola MAFFIULETTI HDR, Principal Investigator, Schulthess Clinic (Zürich)

Thomas LAPOLE MCU, HDR, directeur du laboratoire LIBM (Université Jean-Monnet, Saint-Etienne).

Dir. de thèse : Antoine NORDEZ Professeur des Universités (Nantes Université) Directeur du laboratoire MIP (Nantes)

Co-dir. de thèse : Guillaume LE SANT Chercheur laboratoire MIP (Nantes), Enseignant IFM3R (Saint Sébastien sur Loire)

Co-dir. De thèse : Lilian LACOURPAILLE Maître de conférence de Université (Nantes Université), HDR laboratoire MIP (Nantes)

Invités

Christophe RAMBAUD Masseur-Kinésithérapeute, Institut Sport Atlantique

François DAUSSE Masseur-Kinésithérapeute, Institut Sport Atlantique

Benoît LARDEUX Masseur-Kinésithérapeute, Institut Sport Atlantique

Table des matières

Introduction Générale	1
Revue de littérature	7
Chapitre 1 :	9
De la lésion du LCA à la prise en charge chirurgicale et rééducative	9
Partie 1 - Mécanismes lésionnels du LCA et facteurs de risque.....	10
Sous partie 1 - Les mécanismes Lésionnels	10
Sous partie 2 - Les facteurs de risques.....	12
Partie 2 - Les types de chirurgies et éléments chirurgicaux déterminants de la réussite opératoire.....	16
Sous partie 1 - La greffe d'origine patellaire.....	17
Sous partie 2 - La technique du Droit Interne Demi Tendineux (DIDT)	17
Sous partie 3 - Les paramètres chirurgicaux de réussite	20
Partie 3 - Conséquences du traitement chirurgical.....	23
Sous partie 1 - Conséquences sur le volume musculaire et tendineux.....	24
Sous partie 2 - L'inhibition motrice.....	25
Partie 4 - Les indicateurs de réussite en kinésithérapie.....	27
Sous partie 1 - Le retour au sport : étape finale du processus de rééducation	27
Sous partie 2 - Evaluation post-opératoires	28
Sous partie 2 - Mésusage de la kinésithérapie en rééducation post opératoire.....	35
Chapitre 2 : La rééducation pre opératoire	39
Partie 1 - La rééducation pre opératoire en kinésithérapie	40
Partie 2 - Le cas particulier de la rééducation pre opératoire de patients atteints d'une rupture du LCA.....	42
Sous partie 1 - Contexte post rupture	42
Sous partie 2 - La place de la phase pre opératoire dans le parcours de soin.	43
Partie 3 - Influence de la rééducation pre opératoire sur les paramètres mesurés.....	47
Sous partie 1 – La mise en place de la rééducation pre opératoire	48
Sous partie 2 - Influence sur la production de force maximale.....	55
Sous partie 3 - Influence sur les Volumes musculaires.....	56
Sous partie 4 - Influence sur la capacité de saut	57
Sous partie 5 - Qualité de vie et mesures auto-rapportées par le patient.....	57
Sous partie 6 - Contenu et suivi des programmes de rééducation pre opératoire.....	58
Chapitre 3 :	65
L'entraînement contre résistance : une réponse à l'atrophie et à la perte de force maximale	65

Partie 1 - Le système neuromusculaire	66
Sous partie 1 - La structure musculaire et tendineuse	66
Partie 2 - Les mécanismes hypertrophiques musculaires et tendineux.....	70
Sous partie 1 - La tension mécanique	70
Sous partie 2 - Le stress métabolique	73
Sous partie 3 - Les dommages musculaires	77
Partie 3 - La force maximale	79
Sous partie 1 - Le volume et force maximale musculaire	79
Sous partie 2 - La commande nerveuse.....	82
Partie 4 - L'entraînement contre résistance.....	84
Sous partie 1 - Les variables de l'entraînement contre résistance et leur influence sur la force maximale et sur le volume musculaire et tendineux	84
Objectifs expérimentaux	93
Méthodes expérimentales	99
Les participants.....	100
Matériel :	102
Sous partie 1 – Imagerie des volumes musculaires	102
Sous partie 2 - Élastographie ultrasonore par ondes de cisaillement	105
Sous partie 3 – Ergométrie isocinétique	106
Sous partie 4 Mesures auto-rapportées	108
Contributions expérimentales	113
Etude #1 :	117
Validité et fiabilité d'une méthode d'échographie 3D pour la mesure des volumes musculaires et tendineux des ischio-jambiers.....	117
Résumé Etude #1.....	118
Etude #2 :	131
Comparaison d'une méthode d'entraînement contre résistance à charge lourde vs charge légère et BFR pour l'hypertrophie des ischio-jambiers.....	131
Résumé Etude #2	132
Etude #3 :	147
Comparaison de deux programmes de rééducation pre opératoire à une ligamentoplastie du LCA : une étude de faisabilité « ACLstrong ».....	147
Résumé Etude #3	148

Etude #4 :	173
Comparaison de deux programmes de rééducation pre opératoire à une ligamentoplastie du LCA K-POP : Protocole d'étude.	173
Résumé Etude #4	174
Discussion générale	209
Partie 1-Analyse des volumes musculaires et tendineux	210
Sous-partie 1 - Considérations méthodologiques	210
Sous-partie 2 - Perspectives.....	212
Partie 2 - Entraînement contre résistance	217
Sous-partie 1 - Considérations méthodologiques	217
Sous-partie 2 – Perspectives	220
Partie 3 - Rééducation pre opératoire.....	225
Sous-partie 1 - Faisabilité et résultats préliminaires	225
Sous-partie 2 - Perspectives.....	230
Conclusion Générale	233
Bibliographie	237
Annexes	280

Publications et présentations en lien avec le travail de thèse

Publications en lien avec le travail de thèse

Frouin A, Guenanten H, Le Sant G, Lacourpaille L, Liebard M, Sarcher et al., Validity and Reliability of 3-D Ultrasound Imaging to Measure Hamstring Muscle and Tendon Volumes. *Ultrasound Med Biol.* 2023 Jun;49(6):1457-1464.

Frouin A, Le Sant G, Barbier L, Jacquemin E, Mcnair P, et al., Individual distribution of muscle hypertrophy among hamstring muscle heads: Adding muscle volume where you need is not so simple. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2024, 34 (3)

Frouin A, Lacourpaille L, Jarno N, Nordez A, Fournier J-P et al., Comparison of two prehabilitation program before an anterior cruciate ligament reconstruction: study protocol for a randomized controlled trial (K-POP) (*en préparation*)

Publications annexes au travail de thèse

Frouin A, Desfontaines N, Lacourpaille L, Nordez, A, & Le Sant, G. (2024). Preoperative Rehabilitation Enhances Mental and Physical Well-Being in Anterior Cruciate Ligament-Injured Individuals: A Mixed Methods Study. *Journal of Sport Rehabilitation* (Publié en ligne 2024).

Le Sant G, **Frouin A**, Gachet L, Lacourpaille L, Nordez A, et al., Effects of Preoperative Treatment including Physical Therapy on Healthcare Utilization and Return to Work for Anterior Cruciate Ligament Injuries: a Real-World Retrospective Cohort Study Using the French Healthcare Database (*soumis*)

Communication en lien avec la thèse lors de congrès internationaux

Frouin A, Guenanten H, Le Sant G, Lacourpaille L, Liebard M et al., Validity and reliability of 3D ultrasound imaging to measure hamstring muscle and tendon volume. (*Poster ; ECSS Séville 2022*)

Frouin A, Le Sant G, Barbier L, Jacquemin E, Mcnair P, et al., Individual distribution of muscle hypertrophy among hamstring heads: Adding muscle volume where you want is not so simple. (*Communication orale acceptée à venir, ECSS Glasgow, Juillet 2024*)

Communication orale annexe au travail de thèse lors d'un congrès national

Frouin. A, M'Baye M, Barrué-Belou S & Tourillon R. LCA : à ces 4 notions penser tu pourras. (*Symposium, Journées Françaises de la kinésithérapie, Rennes 2023*)

Diffusion scientifique

Podcast « Objectif Performance » animé par J. Astouric : **Frouin A**, Traitement pre opératoire/ conservateur du LCA, individualisation VS guidelines et trajectoire individuelle du patient (2023).

Podcast « Bien dans ses baskets » animé par Y. Betus et N. Thoër : **Frouin A**, Sport, Blessure et Epanouissement (2024).

Rédaction d'un chapitre d'ouvrage « Thérapie manuelle du genou : Expertise neuro-musculo-squelettique » F. Barillec, A. Delafontaine, M. Pillu : Chapitre : Entraînement contre résistance et pathologies du genou (**Frouin A**, *co-écriture du chapitre avec M. M'Baye , à paraître aux éditions Elsevier 2024*)

Avant-Propos

Il m'a souvent été dit que lorsque les remerciements commençaient à être inscrits dans le manuscrit de thèse, cela signifiait que la fin n'était plus très loin. Ces 3 ans, je ne les ai pas vu défiler sous mes yeux. Je n'ai pas l'impression d'avoir profité du paysage et pourtant, quel voyage ! La thèse, c'est un peu comme une course en ultra trail il y a des hauts durant lesquels on se sent invincible tout nous réussit et cela semble « rouler », et il y a des bas, plus ou moins impactant. L'important est d'apprendre à gérer les « bas », et de savoir que l'on finit toujours par rebondir ensuite. Je pense que cela s'acquiert avec l'expérience. Le moment durant lequel je me permet d'écrire ces remerciements est sans doute, l'un des plus complexes. Le travail ne diminue pas et la deadline approche. Il ne faut pas s'endormir. Si de manière totalement égoïste je vais présenter les résultats de « mon » travail dans cet écrit, et devant vous le 19 juin à l'oral, il est important de remettre « l'église au milieu du village » et de bien préciser que ce travail c'est avant tout un travail d'équipe. Cette équipe qui m'entoure, elle compte énormément pour moi. Je crois que depuis le plus jeune âge c'est bien faire partie d'une équipe forte et soudée qui m'anime. Je vais tenter de n'oublier personne ici, si cela était le cas je remercie par avance tout ceux dont j'ai croisé la route et qui ont de près ou de loin contribué à ce parcours.

Je tiens en premier lieu à remercier chaleureusement Monsieur **Nicola Maffiuletti** et Monsieur **Thomas Lapole** d'avoir accepté d'être rapporteur de ce travail de thèse. Je voudrais ensuite remercier Monsieur **Olivier Seynnes** d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse et particulièrement Madame **Patricia Thoreux**, j'ai un remerciement particulier à vous adresser puisqu'en plus d'avoir accepté de faire partie de mon jury en ce jour au combien important vous m'avez également accompagné au cours des 3 années de thèse réalisée en tant que membre de mon CSI (Comité de suivi individuel ; j'en profite pour remercier Monsieur **Christophe Cornu** pour son accompagnement également). Je suis honoré de pouvoir bénéficier de l'expertise d'un tel jury pour échanger sur ce travail.



Christophe, François, et maintenant **Benoît**, mes tontons flingueurs, comme j'aime bien vous appeler. J'ai un profond respect pour ce que vous avez, au fil des années, réussi à construire, à entreprendre, et pour votre investissement sans compter au service des patients et plus généralement de la kinésithérapie. J'ai énormément appris à votre contact et me suis efforcé de vous apporter ce que je pouvais en retour afin que nous progressions ensemble.

Cette aventure n'aurait jamais pu naître si un jour de juillet, à la suite d'un mail culotté, vous ne m'aviez pas reçu à l'Institut Sport Atlantique. La suite, vous la connaissez désormais de A à Z. Je ne sais pas si j'ai toujours été le plus simple des salariés à vivre, mais d'autant que je me souviens je suis pour le moment le seul en conséquence dire que oui « haha ». Je vous remercie également d'avoir été là dans les moments de doute, avec des échanges construits sur la vie en générale, sur l'épanouissement, les projets, en enlevant votre casquette de collègue ou de « patron » pour partager des moments simples autour d'un bon verre.

Un grand merci à toute l'équipe également pour votre soutien, **Arnaud** (même si ton club de cœur ne me va toujours pas au teint), **Audrey** (Jamais 3 sans 4 un LCA de plus dans une vie ce n'est rien) et **Gaëtan** (pas assez de place ici pour tout dire mais un immense merci) de m'avoir supporté durant ces trois ans.

Je tiens également à remercier l'ensemble des kinésithérapeutes, médecins et chirurgiens orthopédiques du bassin Nantais qui participent à ce projet.



En parlant de bon verre, je ne peux pas écrire ces remerciements sans avoir une pensée pour mes petits lapins du Stade Nantais. Merci encore **François** de m'avoir fait découvrir ce monde où la cohésion, l'entraide, et la solidarité sont reines. Merci à **Alexis, Mirco, Benjamin** de m'avoir fait confiance et intégré aussi simplement. J'ai une pensée particulière pour **Morgan, Pierrick, Georges, Bouijoux, Hugo, Fabien** et enfin **Saba** (cœur cœur) qui ont eu la

chance (ou pas) de me voir un peu plus souvent que les autres. Cette première expérience dans le sport de haut niveau est un souvenir que je garderais à vie tant les moments ont été riches en bonne humeur (sauf quand en cas de défaite à l'autre bout de la France et qu'il y a 8h de bus derrière) et appréciables en votre compagnie. « Quand ça tire serre les dent et ça passe » (accent du sud-ouest requis pour cette phrase)

La team encadrants



Me voici encore une fois à écrire quelques lignes que vous lirez sans doute, j'espère ne pas y faire de fautes ou laisser traîner des coquilles, une chose est sûre cette partie ne reviendra pas toute rouge. Merci de m'avoir encadré durant ces 3 ans. Je ne pouvais pas espérer meilleure équipe. Avec du recul je me rends compte de la chance que j'ai eu de pouvoir collaborer avec vous. Toujours disponibles, réactifs, aimables, jamais un mot plus haut que l'autre, même si sur certains retour je pense que cela aurait pu. La légende raconte que l'on ressemble en fin de thèse à ses encadrants. Je vous avoue que si j'ai pu prendre un tout petit peu de chacune de vos qualités je signe tout de suite. Ma route sera, je l'espère encore longue en recherche, mais la première marche est passée et je n'y serais jamais parvenu sans vous.

Antoine, tonton comme nous te nommons affectueusement, je tiens à te remercier pour tout ce que tu as pu m'apporter même si certaines énigmes restent pleines. En l'occurrence je vais citer « c'est normal », il faudra un jour que tu m'expliques ce que cela veut dire car tu l'a souvent utilisé mais cela remplit un rôle dans de multiples contextes et je crois que c'est à l'appréciation de l'étudiant de le remplacer par un terme qui nous convient. Tu as cette envie de nous laisser avancer en faisant nos propres erreurs en ne disant jamais « non » à nos idées, du moins celle qui font sens ce qui n'est pas toujours le cas. Dans cette situation, tu dégages sans hésiter LA question « naïve » qui bien souvent à raison de l'idée. Tu nous laisse créer notre

propre parcours et pour autant tu es toujours là quand on en éprouve le besoin. Ainsi encore une fois merci.

Ps : Entraîne toi aux fléchettes car je ne t'ai encore jamais vu à l'œuvre. Tu t'es pourtant régulièrement cité comme excellent un joueur nous attendons la démonstration.

Lilian, tu es un véritable exemple pour moi, je ne sais toujours pas comment tu parviens à tout faire tenir dans une journée, mais je réussis à comprendre avec le temps. Merci pour tout ce que tu as fait pour moi, pour nos échanges sur la vision du travail, de l'organisation, de l'avancement de la carrière, pour lesquels je n'avais pas toujours le bon regard. C'est toujours simplissime de travailler avec toi, tu as toujours les bons mots, toujours la « vanne » qui va bien, bref reste comme tu es (n'en jetez plus la cour est pleine - citation cadeau). Une collaboration étayée d'innombrables citations qui, m'ont parfois fait sourire, rire ou laissées dans l'incompréhension. Mes préférées resteront :

1-Il ne faut pas jeter le bébé avec l'eau du bain

2-Les articles ce n'est pas la course aux échelotes

3-Qui veut voyager loin ménage sa monture

4-Ménager la chèvre et le chou

J'ai tout un recueil si tu le souhaites, car je pense que l'on pourrait en faire un livre. Un jour je « snatcherai » peut être tout court car pour le moment même barre à vide c'est cata.

Enfin **Guillaume**, mon capitaine, schtroumpf bougon ou alors juste schtroumpf breton au grand cœur, je te dis un grand merci. J'ai l'impression que tu m'as véritablement pris sous ton aile durant ce doctorat, que tu m'as permis de grandir, d'apprendre à laisser couler parfois, de ne pas stresser mais de plutôt mettre en place la bonne stratégie pour ne pas en arriver là. Ta rigueur et ta capacité de travail m'impressionneront toujours, certains retours arrivant le soir même alors que le

document a été envoyé à 20h. Hors du cadre de la thèse tu m'as également appris à rédiger un des appels à projet dont tu as le secret. Je ne sais pas combien tu en as à ton actif mais je crois que cela commence à faire un bon nombre. Merci pour les footings agrémentés d'échanges sur la kinésithérapie et son enseignement. Cela avance et continuera d'avancer grâce à des personnes comme toi qui sont « righthere, right now ». En avant Guingamp comme on dirait et n'oublie pas, le titre c'est pour 2090, c'est l'IA qui l'a dit.



La team MIP

C'est un joie au quotidien de pouvoir travailler dans un environnement comme le MIP et avec des collègues comme vous.

Je vais commencer par **Gwen**. C'est vraiment très agréable de travailler avec toi, tu as toujours un train d'avance et ne prends jamais de détour quand il manque des choses ou que je suis à la bourre pour rendre un réponse (ce que j'apprécie). Tu rends un nombre de services impressionnants sans jamais le montrer et pourtant il y a de quoi. Donc pour tout ce que tu fais un grand merci.

Les anciens :

Marion, tu as été la première doctorante que j'ai eu la chance de croiser au MIP. A ce moment-là, je ne savais pas encore que ce que tu faisais (contourner des CSA pour évaluer le volume d'un muscle) allait devenir mon passe-temps « favori ». Chaque sujet était entrecoupé d'une série de squats histoire de ne pas être complètement sédentaire quand même. Tu m'avais montré à l'époque que c'était vraiment cool la recherche, qu'un doctorat valait la peine d'être vécu et tu avais raison.

Valentin, la force de frappe, si j'en suis arrivé là c'est en partie grâce à toi. En M2 nous étions en permanence dans ton bureau espérant un petit coup de main sur les lignes rouges qui s'affichaient sur Matlab. Un plaisir que tu aies rejoint la team du vendredi pour : « juste une vite fait » avec Titouan et Tristan. J'en profite pour avoir une pensée pour les collègues du master Quentin, Breg, Greg, Charlotte, Antoine etc. c'était top d'avoir pu faire cela avec vous.

Aurélié, un immense merci pour tout ce que tu fais au quotidien. Des problèmes on t'en amène par wagon et tu trouves toujours la solution. Grâce à toi, je sais que ce tiret « _ » cela sert à faire des sous dossiers, de sous dossier, de sous dossier pour que cela soit toujours bien organisé. Attention à ne pas te faire manger par le troll tu manquerais au labo !

Raphaël, plus qu'un collègue, tu es devenu un patient, pardon, un ami avec lequel les discussions ont toujours été très intéressantes. Je viendrai te voir sur la côte une fois que tu seras maître de conférence, histoire d'arroser cela. Merci pour ton soutien jour après jour, et d'avoir avec le tien, accompagné mon syndrome de l'imposteur.

Maxime, emblématique gestionnaire du PMU (notre bureau), tu nous en a laissé les clés en partant, tout un symbole. Merci pour ta bonne humeur et pour les étapes de toutes ces courses ainsi que pour tes enseignements sur le cyclisme qui est devenu un sport que j'apprécie. Tu ne seras pas là le jour J car en déplacement pour une énième victoire de Total Energie mais je sais que le cœur y est.

Iris, quand on parle de vélo tu n'es jamais très loin. Merci de m'avoir permis de prendre l'air durant les sorties à vélo où quand tu accélérais il était compliqué de se mettre à hauteur. Autant rester dans la roue c'est moins complexe.

Julien, merci pour ces petits moments de bonheur au quotidien grâce à tes tee-shirts tous plus originaux les uns que les autres.

Ricardo, cela a été un plaisir de te côtoyer toutes ces années. J'espère que cela continuera. Pour moi, tu as toujours été le plus jeunes des anciens. Merci pour tes conseils, tes vannes pour me remotiver dans cette dernière ligne droite c'était vraiment appréciable.

Les jeuns

Julian, cela a été un plaisir de te rencontrer et d'apprendre à te connaître. Même si l'on te charrie beaucoup sur ton organisation et ton hygiène de vie, sache que derrière cela se cache un profond respect. Je suis impressionné par tout ce que tu arrives à faire et je te souhaite tout le meilleur pour la suite. J'ai également une pensée pour **Lisa** avec qui vous formez un duo de choc.

Yohan, le second de mes collègues de bureau, car oui tous les deux vous avez intégré le PMU. Il faudra perpétuer les traditions de ce bureau et transmettre à la nouvelle génération le goût des fléchettes etc. Tu as été le premier à me dire que si tu t'étais lancé dans cette voie c'est parce que je t'avais donné envie de le faire. Pour moi ce fût un plaisir immense que d'entendre ces mots après t'avoir eu en tant qu'étudiant puis collègue. Continue tout ce que tu fais et ne lâche rien même si le soléaire c'est bien galère « haha ».

Valentin, mon Valou continue à charbonner fort cela va payer. Même si je n'ai pas toujours tout intégré de tes enseignements sur les statistiques, je vais continuer à m'y intéresser. Tu m'as convaincu ! Merci pour ces pauses chocolat/thé réglisse menthe dont tu as le secret, cela aère les neurones et parfois, ce n'est pas plus mal.

Juliette, cela a été un réel plaisir d'apprendre à te connaître et de découvrir tes talents de pâtissière, même si avec l'appétit de certains, il est parfois complexe de goûter à tes créations. Continue la course à pied et l'entraînement, cela va porter ses fruits.

Eva, même si pour le moment l'organisation des données est un absolu chantier et que les copier-coller dans tous les sens m'agacent parfois, je vais m'y mettre et produire un rapport digne de ce nom, sois-en sûre haha.

Tristan, un réel plaisir que d'avoir pu faire ta rencontre. Ce n'est pas fini, Glasgow nous attends avec impatience. Je vais te laisser les clés du jeudi soir, mais je ne suis pas inquiet sur ton aptitude à gérer cela avec brio (ne t'endors pas c'est tout).

Titouan, quand je parle du jeudi soir ou du vendredi soir, c'est marrant, car ton nom me vient directement sans forcer. Le gars sûr, mon pote avec qui j'ai pu soulever de la fonte comme « never » durant ces 3 ans, même si il faut l'avouer, certaines séances servaient plus de décoration qu'autre chose. Pour la suite fait ce que tu veux mais fais ça bien. Si tu as besoin, tu sais où me trouver. Bon courage pour le coloriage.

Hugo, je vais terminer en ce qui concerne le MIP, par toi. Nous en avons passé du temps à scanner toutes sortes de choses et à les colorier pour savoir si cela allait donner un volume cohérent. Je ne pensais pas en te rencontrant en master sur le premier projet de thèse que l'on s'entendrait si bien et que ce serait un véritable plaisir de partager ces moments avec toi. Merci pour tes nombreux conseils en entraînement. Si mon squat, mon deadlift et mon bench sont un peu moins risibles, c'est grâce à toi.

Je vais profiter de cette ouverture sur les étudiants masters pour remercier tous ceux qui ont été de véritables appuis durant cette thèse **Martin, Nemo, Tanguy, Gabriel** et surtout les pépites **Léa** et **Emilie**. Cette manip avec vous je m'en rappellerai soyez-en sûrs. On a pris le feu mais on s'en est bien sorti. Je n'y serai jamais arrivé sans vous.

Les Tanks

Romain, merci d'avoir été là dans les bons et mauvais moments de cette thèse. Tu peux entièrement comprendre ce par quoi je suis passé et tu as tout mon soutien également, tu le sais (« when i need a friend »). J'ai hâte de me rendre à ta soutenance. Il y a quelques années, nous nous sommes rencontrés dans un camping à l'occasion d'un WEI. Tu m'as encouragé à aller vers le Master EOPS à Nantes en me disant que si je me posais autant de questions il fallait trouver les réponses. Ensuite, sur le chemin vers la thèse ou nous avons discuté des personnes qui pourraient être intéressés par un tel projet. Tu m'as ensuite appuyé dans mes démarches quelles qu'elles aient été, en tempérant parfois à juste titre mon impatience. Ainsi, merci pour tout cela. Vivement de nouvelles discussions longues..... oh mince je l'ai endormi !



Mass, merci pour ton soutien, pour les échanges et ta vision du métier. C'est toujours un plaisir d'échanger avec toi et d'avancer sur ce qui peut permettre de tirer des questions du terrain et de les amener dans un laboratoire. Je te souhaites énormément de réussite pour la suite.

Simon, je n'oublierais pas de sitôt le « vino blanco » de Séville. Quel fantastique moment nous avons partagé ! Vivement les prochains !

Les Nantais



Les Nantais, les Marmules je n'ai pas assez de mots pour dire ô combien vous avez été importants dans cette aventure. Cela n'a pas été simple de me mettre à l'écart durant ces derniers mois. Vos messages d'encouragements m'ont réellement portés. Ce petit groupe traverse les années sans difficultés avec une complicité à toute épreuve et une bonne dose de course à pied et de trail. J'ai hâte d'écrire de nouvelles pages avec vous dans les années à venir.

Les numéros 10

Aurélien, Tony, cela fait 12 ans que nous nous connaissons. Des amitiés comme celle-ci, il y en a peu et je ferais tout pour qu'elles durent le plus longtemps possible !
Merci pour votre soutien.

La famille

Maman, Papa si j'en suis là aujourd'hui c'est avant tout grâce à vous et à votre soutien inconditionnel dans tout ce que je peux entreprendre jour après jour. Les valeurs du travail bien fait, c'est vous qui me les avez transmises et j'espère voir une nouvelle étincelle de fierté dans vos yeux à la suite de cette nouvelle étape. C'est avant tout pour cela que je travaille autant.

Sarah, ma petite sœur, merci pour ces magnifiques illustrations que tu as réalisées. Elles auraient sans doute été moins réussies si c'était mon stylo qui les avait dessinées. Merci pour ton soutien également.

J'ai une pensée pour tous les membres de ma famille pour qui je n'ai sans doute pas été assez présent ces derniers temps. J'ai surtout une pensée très émue pour Henri et Andrée qui ne pourront ni lire ce travail ni être là à ma soutenance.



C'est sans doute un peu long mais peu importe, la thèse c'est cela aussi, un entourage fort sans lequel je n'aurais pas toujours pu avancer alors la moindre des choses était de dire merci. J'en viens aux dernières lignes qui te sont réservées.

Hélène, je n'aurais pas assez de mots pour qualifier ce que tu représentes pour moi, tu sais à quel point je suis démonstratif. Sans toi et ta bonne humeur à toute épreuve, il y aurait sans doute eu des périodes durant lesquelles j'aurais eu un peu plus de mal à sourire. Je ne suis sans doute pas toujours facile à vivre, ni très présentable ces derniers temps mais tu fais toujours ce qu'il faut pour que je me sente bien.

Liste des abréviations

ACSA	Section transversale physiologique
PCSA	Section transversale anatomique
F_{\max}	Force maximale isométrique
MVC	Contraction volontaire maximale
IJ	Ischio-jambiers
ST	<i>Semitendinosus</i>
SM	<i>Semimebranosus</i>
BF	<i>Biceps Femoris</i>
Q	<i>Quadriceps</i>
RF	<i>Rectus Femoris</i>
VL	<i>Vastus lateralis</i>
VM	<i>Vastus medialis</i>
VI	<i>Vastus intermedius</i>
RT	Entraînement contre résistance
BFR	Dispositif de restriction du flux sanguin
BFR-LL	BFR associé à la charge légère

Introduction Générale

Introduction générale

Les traumatismes du membre inférieur sont rencontrés fréquemment lors de la pratique de sport de pivot contact comme par exemple, le football qui compte par exemple 270 millions de licenciés à travers le monde (chiffre la Fédération Internationale de Football Association ; Quisquatter et al., 2013). La lésion du ligament croisé antérieur (LCA) est l'un des champs de la médecine traumatologique/orthopédique le plus étudié avec plus de 28000 publications disponibles dans pubmed à ce jour (24000 concernant l'entorse de cheville par exemple). Elle se classe en seconde (16,2 % des études) derrière les commotions cérébrales (21,1 %) dans les recherches utilisant des banques de données publiques recensant les traumatismes constatés dans le sport de haut niveau. Cette lésion représente plus de 50 % des lésions constatées au niveau du genou (Musahl et Karlsson., 2019).

De 2009 à 2016 les données montrent une incidence (en Nouvelle Zélande ; **Figure 1**) de 58,2 pour 100000 personnes par an comparée à 36,9 pour 100000 entre 2000 et 2005 avec une augmentation plus importante pour les jeunes femmes de 15-19 ans (Sutherland et al., 2019). Plus de 200000 personnes sont touchées aux Etats-Unis chaque année (Logerstedt et al., 2017). Ces lésions surviennent en majorité (65%) lors de pratiques sportives ou récréatives, suivie par les activités de la vie quotidienne (11%). En Nouvelle-Zélande le rugby, le football et le ski sont les trois plus gros pourvoyeurs de lésion du LCA avec respectivement 37, 13 et 12,5% des lésions totales constatées (Gianotti et al., 2016).

Dans l'exemple de la pratique du football, la lésion du LCA représente 6% des lésions traumatiques du genou pour cette discipline au sein du championnat belge (Tamalet et al., 2016). En ce qui concerne le Handball la lésion du LCA est considérée de par l'éloignement des terrains (12 mois en moyenne) comme l'une des plus sévère (Langevoort et al., 2007). Cette dernière nécessite en effet une prise en charge rééducative longue qui permet un retour progressif à la participations et aux activités mais ne garantit pas un retour au même niveau ni même à la compétition sportive (Van melick et al., 2016; Ardern et al., 2016).

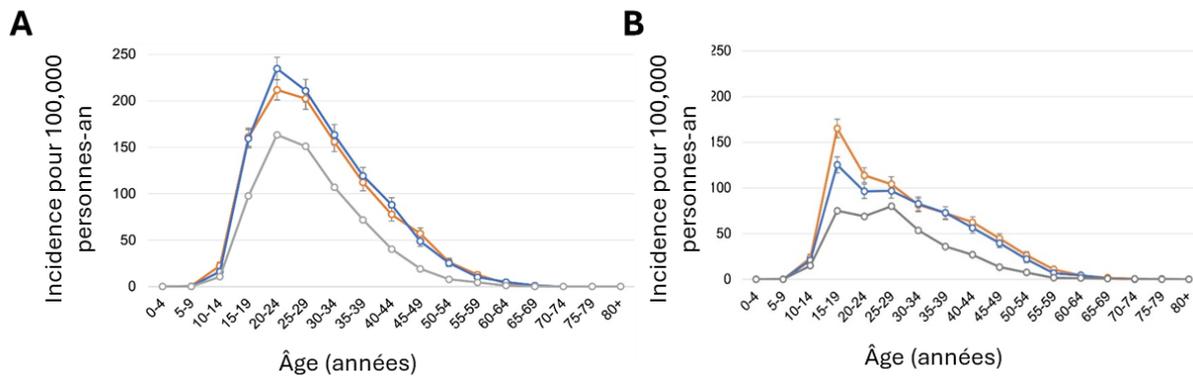


Figure 1 : Incidence annuelle des reconstructions chirurgicales du ligament croisé antérieur en Nouvelle-Zélande. (A) Hommes (B) Femme, orange 2013-2016 bleu 2009-2012 gris 2000-2005

Malgré le nombre croissant de recherches, et l'évolution des traitements sur les 10 dernières années, l'objectif de restauration de la fonction du genou et de la préservation de la bonne condition de cette articulation à long terme demeure un défi important (Svantesson et al., 2020). La chirurgie suivie du traitement post opératoire est pourtant fortement étudiée avec de nombreux consensus et lignes directrices afin de limiter de manière importante les conséquences liées à la blessure et à sa chirurgie (Van Melick et al., 2016 ; Ardern 2016). La littérature des 40 dernières années fait état d'une proportion d'études s'intéressant à la chirurgie évaluée à 91% de l'ensemble des documents publiés (Li et al., 2022). Aucune mention n'est cependant faite de la rééducation pre opératoire.

Pourtant, débuter la rééducation le plus tôt possible après une lésion du LCA, et avant l'opération fait consensus de toutes les recommandations scientifiques (Van melick et al., 2016 ; Svantesson et al., 2020). En effet, la rééducation pre opératoire vise à préparer le patient à l'opération, et faciliter la récupération post opératoire en limitant les risques de mauvaise récupération et d'échecs à long terme (récidive de la blessure, douleurs chronique etc.). Des études rétrospectives soulignent une corrélation entre le niveau de force pré et post opératoire, puis entre celle-ci et la qualité de vie/la confiance du patient (Kitaguchi et al., 2020). Enfin, cette diminution de force favorise l'apparition de pathologies articulaires dégénératives telles que l'arthrose (Ze gong et al., 2022).

Introduction générale

Le délai moyen entre la chirurgie et la ligamentoplastie du LCA (4,5 mois ; King et al., 2020) laisse supposer qu'un programme de développement de la force musculaire peut être mis en place lors de la phase pre opératoire en pratique usuelle. Cela permettrait de développer le niveau de force pre opératoire et ainsi permettre une évolution favorable en post opératoire si des facteurs comme la force maximale des extenseurs du genou et le bien être mental ainsi que la qualité de vie sont considérés (Kitaguchi et al., 2020 ; Hägglund et al., 2013).

Dans le contexte d'un dispositif CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la recherche) établi entre l'Institut Sport Atlantique (ISA) et le laboratoire *Motricité, Interactions et Performance* nous souhaitons créer puis mettre en place dans le bassin nantais un programme de rééducation pre opératoire visant à améliorer la force maximale musculaire du patient atteint d'une rupture du LCA.

Le premier objectif de cette thèse sera de développer une méthode originale de mesure du volume musculaire par échographie tri dimensionnelle. Cela permettra de mesurer le volume musculaire des muscles de la cuisse (déterminant de la production de force maximale) et de suivre leur évolution au cours de la rééducation après une lésion du LCA mais également chez des sujets sains au cours d'un programme d'entraînement contre résistance. Le second objectif de cette thèse est de créer un programme d'entraînement visant à développer le volume musculaire et la force maximale des muscles de la cuisse chez des sujets sains mais qui puisse être applicable ensuite à des patients atteints d'une rupture du LCA. Enfin ce programme sera mis en place dans des structures de kinésithérapie libérale de la région nantaise afin de développer les capacités de production de force maximale du patient avant la chirurgie. Nous faisons l'hypothèse que cette mise en place devrait permettre d'améliorer la récupération post opératoire et de limiter les pathologies secondaires à l'opération ainsi qu'à la lésion sur du long terme.

Ce manuscrit sera composé de quatre parties. La première « **Revue de la littérature** » visera, après avoir rappelé le contexte post opératoire, à faire un état des lieux de la prise en charge pre opératoire et des déterminants de l'entraînement contre

résistance qui conditionnent l'augmentation de volume et force maximale musculaire qui peuvent y être associés. La seconde partie « **Méthodes expérimentales** » présentera les méthodes de mesures utilisées au cours des travaux de recherche. La troisième partie « **Contributions expérimentales** » exposera les études réalisées et à venir inhérentes à ce projet de recherche. Enfin la quatrième partie « **Discussion générale** » permettra de discuter de considérations méthodologiques, décrira les perspectives de ce travail de recherche et proposera des applications pratiques.

R

evue de littérature

C

hapitre 1 :

De la lésion du LCA à la prise en charge
chirurgicale et rééducative

Chapitre 1

Le travail de thèse traitant de la rééducation pre opératoire, cette partie sur le contexte du LCA actuel ne sera pas exhaustive. Il sera fait mention des principaux facteurs de risques, des chirurgies principales et de la rééducation post opératoire. Cette partie est essentielle afin d'appréhender le contexte dans lequel nous souhaitons mettre en place la rééducation pre opératoire et pourquoi, elle semble si importante.

Partie 1 - Mécanismes lésionnels du LCA et facteurs de risque

Sous partie 1 - Les mécanismes Lésionnels

Le genou est une articulation entre le fémur (condyles fémoraux) et le tibia (plateaux tibiaux). Les mouvements permis par cette articulation sont dans un plan sagittal la flexion et l'extension, dans un plan frontal abduction/adduction et dans un plan transversal la rotation interne et externe (plus précisément il est fait mention de rotation interne ou externe tibiale et/ou fémorale).

La lésion du LCA intervient le plus souvent lors d'une décélération brutale, un changement rapide de direction et est associée à un valgus dynamique (valgus de genou constaté lors d'un mouvement dynamique ; e.g réception de saut) de l'articulation du genou. De manière plus précise ce mécanisme lésionnel intervient en un peu moins de 40 millisecondes (ms). Lors de cette fenêtre temporelle réduite le genou voit sa flexion augmenter (passage de 20° vers 40°). La hanche passe d'un schéma d'adduction (environ 5°) à un schéma d'abduction (entre 10 et 15° à 40ms). Une rotation tibiale interne est décrite avant un passage (après ces 40ms) à la rotation externe. Enfin, une composante majeure de translation tibiale antérieure créée par la contraction du *quadriceps* (DeMorat et al., 2004) en réponse aux forces verticales de réaction du sol (estimée jusqu'à 4,5 fois le poids du corps) sont décrites (Koga et al.,

2010). Ces mécanismes sont soulignés auprès de joueuses féminines de Handball par analyse vidéo du mouvement (exemple [figure 2](#) ; n=10 ; Koga et al., 2010).

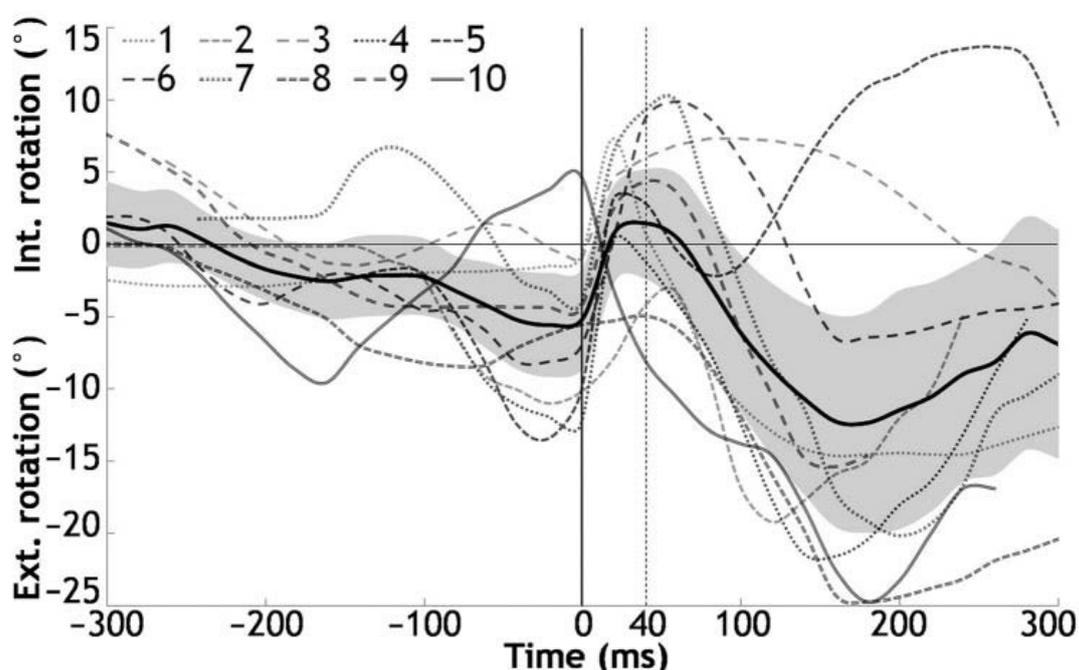


Figure 2 : Comportement biomécanique au moment de la lésion du LCA. Moment de rotation interne et externe tibiale lors du mécanisme lésionnel du LCA analysé par vidéo (Koga et al., 2010)

La rupture du LCA intervient le plus souvent sans contact direct (Ahn et al., 2019). Une description rétrospective au sein d'une cohorte de joueurs de football américain (2013-2016) en témoigne. En effet, sur les 69 vidéos analysées, 72,5% des lésions ont lieu sans contact direct sur l'articulation du genou (23,2% sans aucun contact et 49,3% avec une perturbation sur le membre lésé). Le type de terrain semble, ici, ne pas avoir d'influence. En effet, 52% des lésions se déroulent sur terrain naturel contre 48% sur terrain artificiel. Le schéma de flexion de genou, abduction de hanche, rotation externe y est confirmé (Johnston et al., 2018). En parallèle du mécanisme principal, des variations biomécaniques de la lésion sont décrites (McLean et al., 2004,2005 ; Quatman et Hewett., 2009).

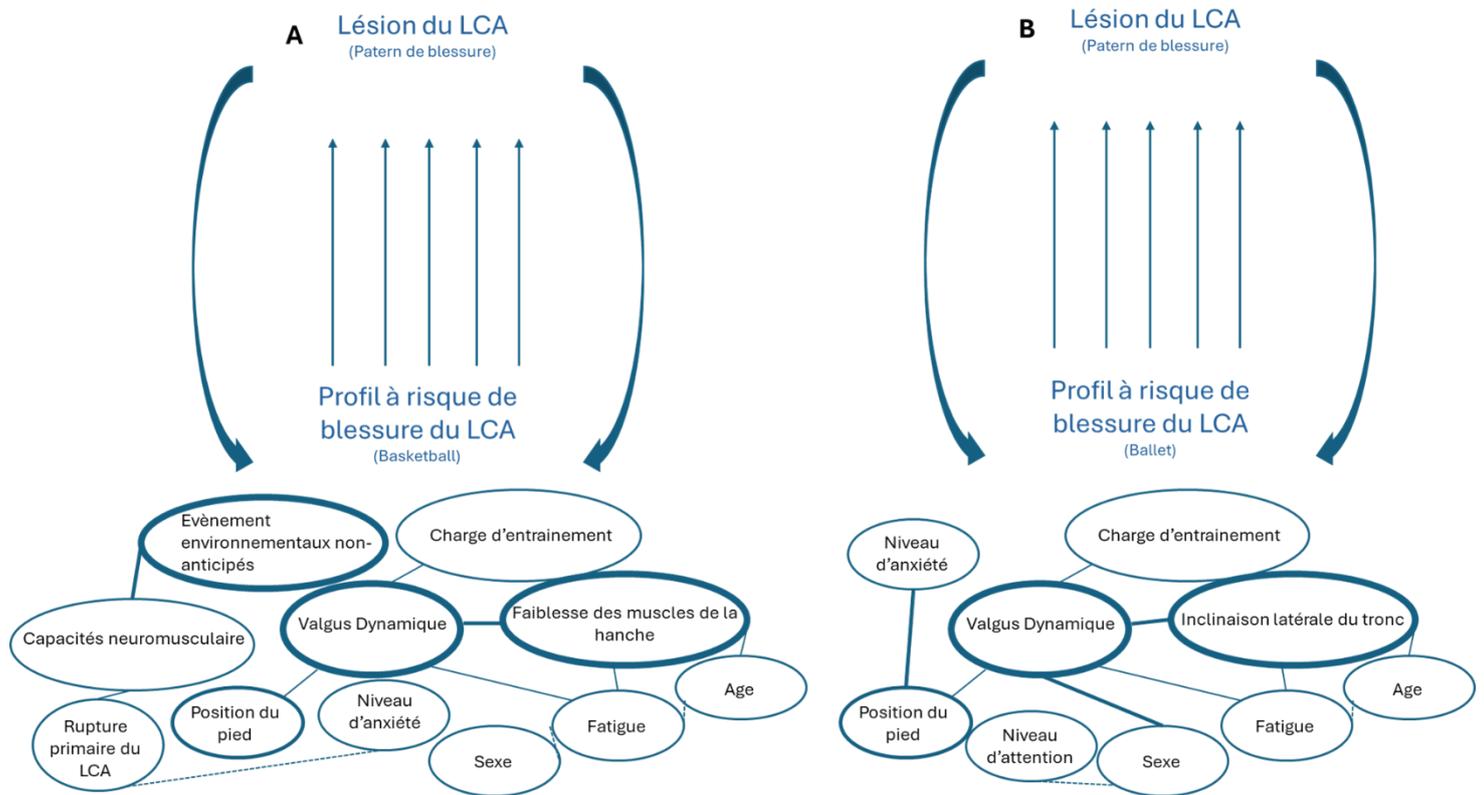


Figure 3: Paramètres interagissant pour la survenue de la lésion du LCA. Représentation schématique pour un joueur de basketball (A) et chez une danseuse étoile (B). La taille et l'épaisseur des cercles représentent l'importance d'un facteur dans la lésion, plus le cercle est important et mis en gras plus le facteur pèse sur la lésion (adapté à partir de Bittencourt et al., 2016)

Ce mécanisme d'apparence simple, résulte de l'interaction d'un ensemble de paramètres isolés qui liés entres eux peuvent donner lieu à l'apparition de la lésion (Bittencourt et al., 2016 ; Figure 3). Ces facteurs de risques sont décrits et répartis en 2 catégories les facteurs intrinsèques et extrinsèques.

1-1-Les facteurs de risque intrinsèques

De façon non exhaustive nous aborderons ici les principaux facteurs intrinsèques. Nombre d'entre eux sont cependant régulièrement cités et nous allons en exposer certains ici. Tout d'abord, il est constaté un risque plus important de blessure pour les femmes (Giannoti et al., 2009 ; Larwa et al., 2021). Stojanovic et al., (2023) décrivent une incidence de 0,20 pour 1000 chez des basketteuses féminines contre 0,07 chez

leurs homologues masculins, soit un ratio femme/homme de 3,33. Les facteurs hormonaux émergeant dans les études scientifiques pourraient être parmi les facteurs de risques expliquant cette différence importante (Mancino et al., 2023). Le retour au sport de compétition de ces dernières après une opération est également bien plus faible comparativement aux hommes avec 65% contre 75% dans une étude de cohorte s'intéressant à 1338 patients pratiquant le football en Australie (Klemm HJ et al., 2023). L'indice de masse corporelle semble avoir une influence de surcroît (Collings et al., 2021) d'autant plus si il est associé à une pente tibiale importante permettant une contrainte, en tiroir antérieur (avancement des plateaux tibiaux en regard des condyles fémoraux), majorée (Kizilgöz et al., 2019).

D'autre part, des déterminants neuromusculaires peuvent également influencer sur le risque de blessure. Tout d'abord, une faible symétrie de production de force quadricipitale entre les deux membres inférieurs pourrait entraîner une majoration du risque de lésion du LCA, bien que cela soit mal identifié par les cliniciens (Straub et al., 2022). Ensuite, une faible activation des ischio-jambiers en regard de l'activation du quadriceps préalablement à la pose du pied augmenterait la translation tibiale antérieure en réponse aux forces de réactions du sol et ainsi le risque de lésion (Zebis et al., 2021).

La capacité de décélération indispensable aux changements de direction (COD) rapides lors de la pratique sportive peut en être le reflet (Harper et al., 2021). Un mauvais contrôle du tronc lors de ces changements de direction peut être mis en jeu également, car tout en entraînant une inclinaison controlatérale du tronc à la direction du joueur, il majore les contraintes en abduction sur le genou (Cronstrom et al., 2016). Le lien du contrôle postural avec la plasticité proprioceptive doit encore être approfondi. Il apparaît cependant le profil proprioceptif de l'individu influencerait la biomécanique impliquée dans la rupture du LCA (Picot et al., 2022).

Le rôle neurocognitif est de plus en plus investigué à ce jour. S'il est démontré que le manque d'anticipation ou l'erreur de jugement peuvent influencer sur la stabilité d'une articulation telle que le genou et mener à la lésion (Gokeler et al., 2021), la fonction

Chapitre 1

exécutive doit encore être investiguée pour décrire finement le lien entre le facteur de risque et la blessure (Swanik., 2015). Finalement, il semblerait qu'une part génétique soit non négligeable et à prendre en compte dans les relations entre facteurs de risque et accident (Zhuo Sun et al ., 2023).

1-2-Les facteurs de risque extrinsèques

La pratique d'un sport dit de type « pivot contact » influence grandement la survenue d'une lésion. Ce risque grandit avec le niveau de pratique sportive (Chia et al., 2022), le nombre de minutes jouées durant la saison et varie avec l'augmentation de la pression environnementale et psychologique (Mellalieu et al., 2009). La lésion, apparaît d'ailleurs, de manière préférentielle lors de matchs comparativement aux situations d'entraînements (Walden et al., 2011) pour un sport tel que le football. Les terrains qu'ils soient synthétiques ou « en herbe », ne semblent pas avoir ici d'influence (Fuller et al., 2007). Cependant la friction entre la chaussure et le sol sur un parquet semble accroître le risque de lésion dans le handball par exemple (Collings et al., 2021 ; Serpell et al., 2012). Une référence au poste du joueur est également faite dans la littérature, notamment en NFL (National Football League ; Foot US) avec de plus nombreuses lésions constatées chez les « hommes de ligne attaquants » protégeant le « quaterback » (17,5% du total de lésions constatées sur une saison) comparativement à celle touchant ledit « quaterback » (7,3% du total de lésions constatées sur une saison ; Johnston et al., 2018).

La combinaison des facteurs de risques intrinsèques et extrinsèques peuvent expliquer en partie la survenue de l'évènement traumatique et l'apparition de la lésion (Figure 4 ; Koga et al., 2010). Cette lésion est, à ce jour, traitée de manière quasi systématique par chirurgie reconstructrice du LCA : la ligamentoplastie.

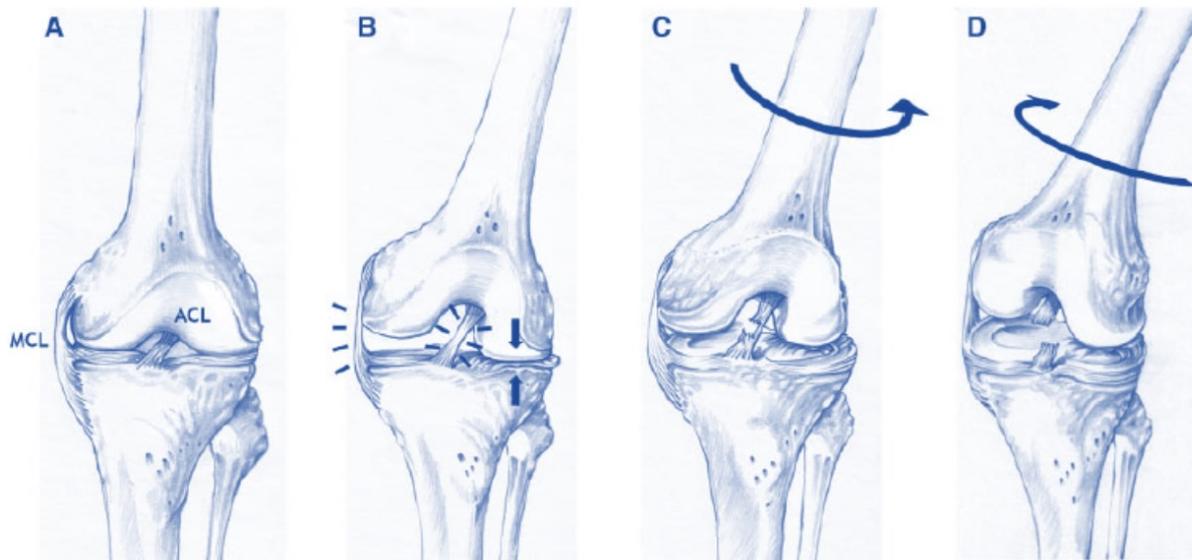


Figure 4 : Hypothèse de la biomécanique menant à l'évènement traumatique à l'origine de la rupture du LCA. A, Le genou sans charge appliquée. B, Une charge en valgus est appliquée, le ligament collatéral médial se met en tension et une compression latérale s'effectue entre le condyle fémoral et le plateau tibial. C, Cette contrainte en compression associée à un vecteur de force antérieur créé par la contraction du quadriceps provoquent un déplacement du fémur par rapport au tibia. Le condyle fémoral glisse de manière postérieure et le tibia avance et effectue une rotation interne résultant, par mise en tension maximale, en la lésion du LCA. D, après la lésion du LCA la résistance première au tiroir antérieur du genou est levée ce qui entraîne une rotation externe tibiale post rupture. Décrite par Koga et al., 2010.

Partie 2 - Les types de chirurgies et éléments chirurgicaux

déterminants de la réussite opératoire

Le nombre de chirurgie du LCA ne cesse d'augmenter. Un registre récent (décembre 2021) a été mis en place. Le « SFA-Data Lake » (Bouguennec et al., 2022) permettra prochainement, de décrire l'évolution sur le sol Français, de manière précise le nombre de rupture du LCA. Nous pouvons rendre compte de 59000 actes en 2019, les projections estiment jusqu'à 49,5% d'augmentation du nombre de chirurgie réparatrices du LCA d'ici à 2070 (Erivan et al., 2020). Ce qui porterait le nombre d'actes à environ 75000 par an.

La chirurgie réparatrice du LCA demeure l'un des actes sous arthroscopie le plus effectué dans le monde (Blom et al., 2021). La chirurgie se pratique aujourd'hui à l'aide de techniques « mini-invasives » appelées arthroscopies. Elles sont décrites comme étant moins délétères pour le patient comparativement à l'opération à ciel ouvert (Veltri., 1997). Le néo greffon peut être constitué à partir de tissu prélevé sur le patient lui-même (autogreffe) mais également provenir d'un cadavre ou d'une banque de tissu organique (allogreffe ; Runer et al., 2023) ou encore être constitué de matière synthétique. La plupart du temps, tout ou partie d'un tendon est prélevée, en particulier : du tendon quadricipital, du tendon du *semitendinosus*, associé ou non au tendon du *gracilis*, de la bandelette iliotibiale, du tendon d'Achille, du tibia antérieur et postérieur mais encore des fibulaires (Runer et al., 2023). Deux types de chirurgies principales demeurent décrites à ce jour dans la littérature (DIDT et Kenneth Jones ; Kataoka et al., 2023). L'administration de l'une ou l'autre ne fait à ce jour pas consensus, le débat demeure donc largement ouvert.

La description des techniques opératoires ne sera ici, pas exhaustive. Le choix a été fait de se porter sur les techniques les plus utilisées à ce jour pour plus de lisibilité et de clarté.

Sous partie 1 - La greffe d'origine patellaire

En 1936, Campbell décrit le traitement de 17 patients par prélèvement du tiers médian du tendon patellaire. Les patients avaient retrouvé une stabilité de genou et l'absence de douleur leur permettait un retour au sport 6 à 10 semaines après l'intervention (Campbell., 1936). La technique Kenneth-Jones a ensuite été introduite par le porteur du nom et consistait à prélever une partie osseuse proximale en plus du tiers médian du tendon patellaire (Jones., 1963 ; **Figure 5**). Cette partie était ensuite, au moyen d'un tunnel fémoral, réintroduite dans l'articulation à des fins de stabilisation.

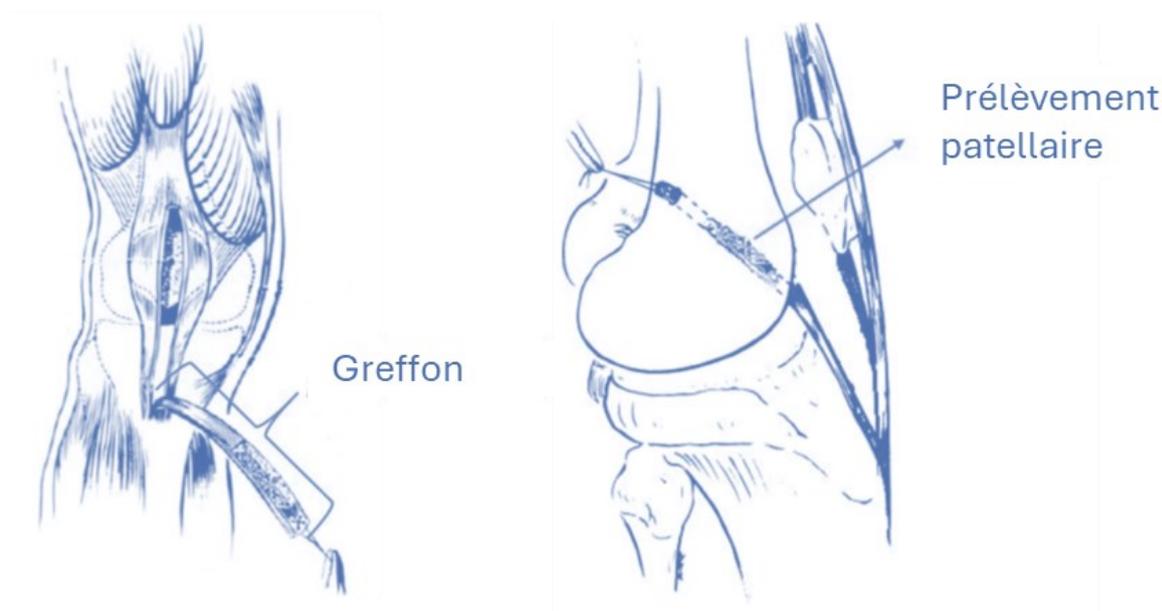


Figure 5 : Technique chirurgicale de Kenneth Jones selon Jones., 1963. La portion médiale du tendon patellaire est prélevée avec une portion osseuse de la patella. Le greffon ainsi constitué est ensuite réintroduit dans l'articulation au moyen d'un tunnel fémoral afin de stabiliser l'articulation du genou en remplaçant le ligament croisé antérieur lésé.

La partie proximale restait, quant à elle, sur site d'attache distal. Cette technique est à l'origine de la technique « bone-patellar tendon-bone » (BPBT). Cette dernière se distingue par l'existence d'un tunnel tibial et de deux attaches osseuses, l'une proximale et l'autre distale, fixées à l'aide de vis dans les tunnels prévus à cet effet.

Sous partie 2 - La technique du Droit Interne Demi Tendineux (DIDT)

Les premières autogreffes « tendineuses » présentées en 1917 utilisent la bandelette ilio-tibiale et le tendon du muscle *semitendinosus* (Groves., 1917). En 1982, le

Chapitre 1

prélèvement du tendon du muscle *Gracilis* est associé au tendon du muscle *semitendinosus* pour constituer un greffon de meilleure qualité (i.e Raideur, diamètre ; Lipscomb et al., 1982 ; Hammner et al., 1999). Ces greffes permettraient de limiter les complications post-opératoires sus mentionnées et un retour au terrain plus rapide (Mouarbes et al., 2019). Leur variation réside dans l'utilisation d'une technique à 2 ou 4 brins (eg. DT4 : Demi Tendineux 4, qualifiant le nombre de replis du tendon natif sur lui-même avant suture ; Friedman., 1988 ; Figure 6).

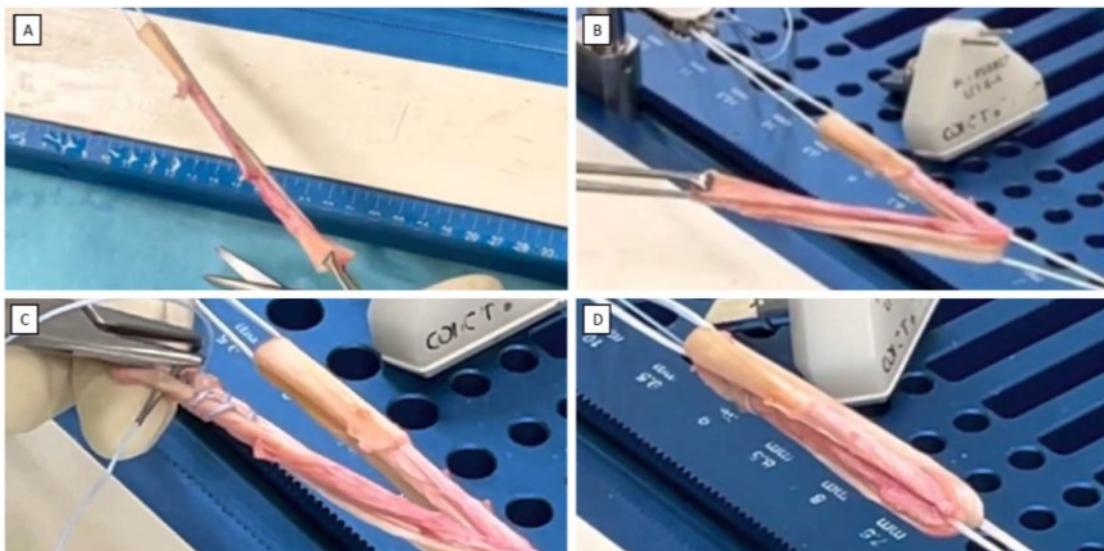


Figure 6 : Préparation ex vivo d'une greffe de type HT à 4 brins. (A) le prélèvement du tendon est dupliqué. (B) le prélèvement est quadruplé (C) les émergences libres de la greffe sont suturées l'une à l'autre à chaque extrémité du greffon. (D) le greffon est attaché sous tension préalablement à son insertion dans l'articulation.

Le choix peut également être fait par le clinicien de laisser les insertions distales sur site d'attache ou de les désinsérer totalement. La fixation du néo greffon a, elle aussi évolué, elle peut désormais être réalisée au moyen d'endo bouton se fixant sur les parties extra articulaires des tunnels maintenant une tension importante et étant peut délétère pour le tissu osseux (Perreira et al., 2021).

Enfin, une reconstruction/un renfort du ligament antérolatéral (LAL) est expérimentée récemment afin de réduire l'instabilité rotatoire suite à la lésion du LCA.

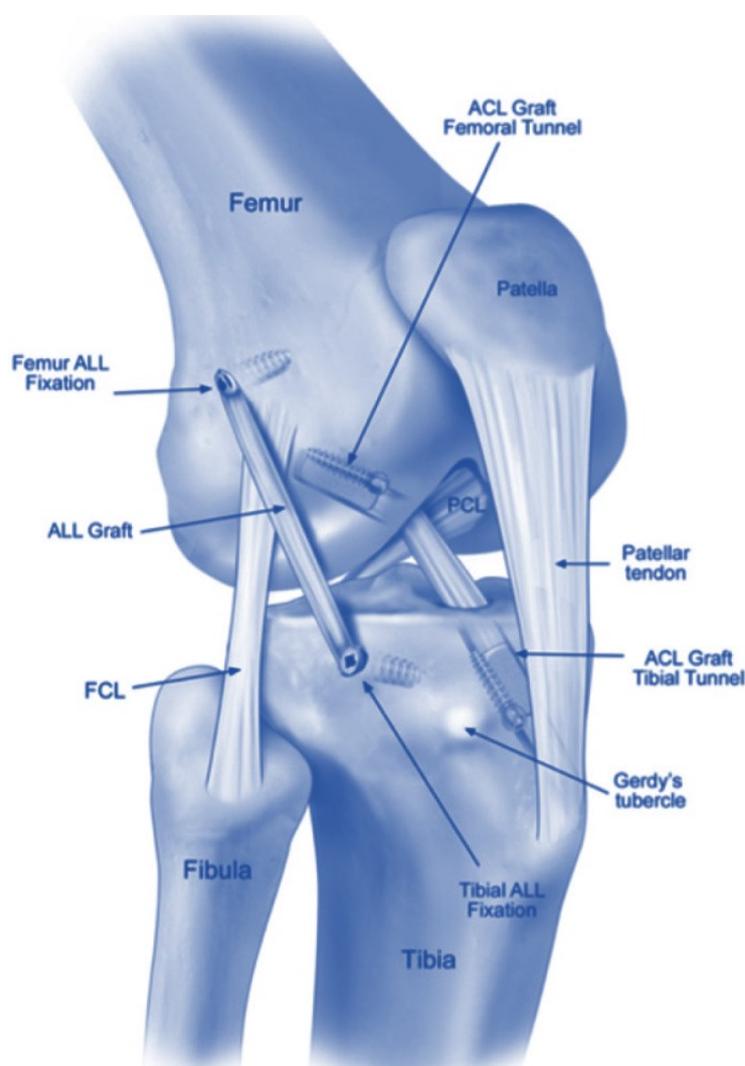


Figure 7 : Greffe pratiquée en 2023 avec mise en place d'un renfort latéral du LCA (Roethke et al., 2023). ALL graft : greffon servant au renfort latéral, FCL : ligament collatéral latéral, ACL Graft Femoral Tunnel : tunnel fémoral accueillant le néo greffon.

Le prélèvement des tendons du muscle *gracilis* et *semitendinosus* pose cependant question selon des considérations biomécaniques. En effet, le prélèvement de ces deux tendons dans leur entièreté pour la constitution du néo greffon augmenterait la laxité en valgus du genou de manière significative. Cette augmentation est majorée dans les premiers degrés de flexion de genou à 0° et 30° mais également de manière plus discrète à 60° (Vermorel et al., 2023).

La technique idéale pour le remplacement du LCA rompu n'est pas consensuelle à ce jour. Compte tenu des avantages et désavantages de chacune, un certain nombre de critères intrinsèques (liés à la chirurgie) est décrit pour limiter le taux de re-rupture (pour revue Svantesson et al., 2020).

3-1-Type de greffe

En prenant comme origine de constitution du greffon, le tendon patellaire ou le prélèvement du tendon du *semitendinosus* et du *Gracilis*, il est difficile de dégager la pratique idéale. En effet, le prélèvement aux Ischio-jambiers (associé au *Gracilis* ou non) est utilisé de prime abord car le retour au sport post chirurgie semble plus rapide. Cette technique ne semble cependant pas sans puisque un nombre important de rechute imputable à une qualité moindre du néo greffon est constaté (Lansdown et al., 2017). De plus, une désinsertion musculaire est effective après prélèvement du tendon du *semitendinosus* et/ou du *gracilis* (Konrath et al., 2016 ; *Figure 8*).

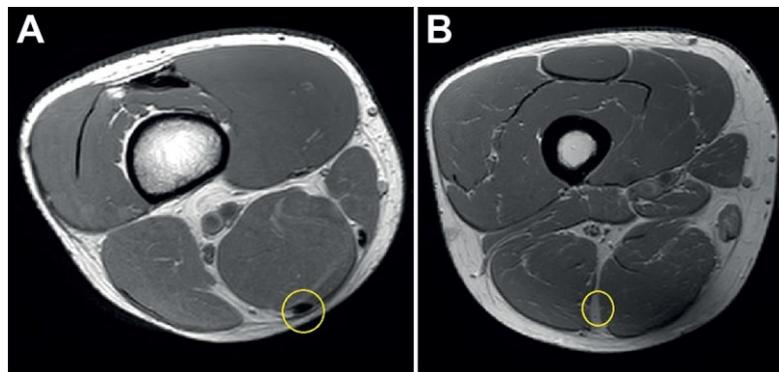


Figure 8 : Imagerie à résonance magnétique du site donneur pour le néo greffon en post-opératoire. Un cercle jaune vise à entourer la zone anatomique ou le tendon du semitendinosus est normalement présent. A, présence d'un tendon du semitendinosus B, absence du tendon après prélèvement.

Le risque de rechute semble minoré en cas d'utilisation d'une greffe provenant du tendon patellaire (Gifstad et al., 2013). Ce risque à 5 ans, post geste chirurgical, est également plus important pour des patients ayant subi une greffe provenant des ischio-jambiers (Persson et al., 2018). Néanmoins cette chirurgie comporte elle aussi

des points négatifs comme : les fractures secondaires à l'opération de la patella, la rupture du tendon patellaire, douleur à l'appui sur la zone de prélèvement (position à genou etc.) (Pinczewski et al., 2007). Il n'est en revanche constaté aucune différence de rechute entre le prélèvement du *semitendinosus* seul ou associés au *Gracilis* (Samuelsen et al., 2017).

3-2-Diamètre de la greffe

En 2014, Conte et al., soulignent un risque 6.8 fois plus important de re rupture si la greffe constituée obtient un diamètre inférieur ou égal à 8 mm. Lors de la démarche d'opération il semblerait donc important d'évaluer le volume tendineux du patient avant prélèvement. Un nombre important de publications scientifiques vont d'ailleurs en ce sens (Aggarwal et al., 2019 ; Leiter et al., 2016). Pour Snaebjörnsson et al., (2017) chaque incrément de 0.5 mm au diamètre entre 7 et 10 mm de greffe réduirait jusqu'à 14% le risque de reprise. Un diamètre de greffe trop faible dans le cas du prélèvement du *semitendinosus* seul, impliquerait le prélèvement du *gracilis* afin d'augmenter le diamètre de la greffe (Rovere et al., 2022). D'autres publications se veulent moins insistantes sur l'importance de la taille du greffon. Elles ne rapportent pas de différence significatives, pour les rechutes consécutives à des greffes ayant un diamètre supérieur ou inférieur à 8 mm (Andernord et al., 2014).

3-3-Positionnement des tunnels

Lors des premières interventions, le greffon était positionné de manière extra-articulaire, la constitution de tunnels n'intervient qu'en 1917 et permet de positionner le brin à l'intérieur de l'articulation (Groves., 1917 ; Figure 9). L'orientation des tunnels, directement responsable de l'inclinaison du greffon et de son positionnement dans l'articulation apparait comme l'un des facteurs de risque majeur d'une rechute. Le respect de la trajectoire anatomique du ligament rompu semble également essentiel afin de limiter la rupture du greffon (Desai et al., 2017). La

Chapitre 1

création d'un tunnel à partir d'un abord tibial antéro-médial, ou par un abord fémoral associé à un abord tibial, permettant de forer le tunnel fémoral semblent plus à risque de rechute comparativement à une technique trans tibiale (Desai et al., 2017).

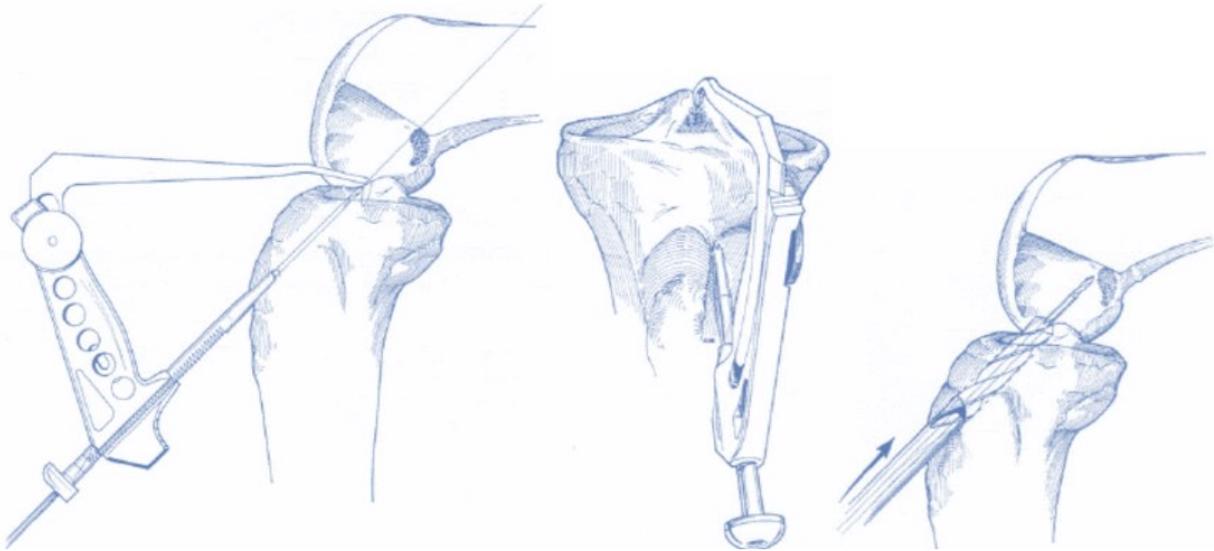


Figure 9 : Perçage d'un tunnel par voie d'abord tibiale grâce à un guide (Christel et al., 2012).

3-4-Fixation de la greffe

La greffe nouvellement constituée et insérée dans l'articulation, via les tunnels mentionnés ci-dessus, doit pour sa stabilité et sa fonction être fixée à l'os. Il apparaît que la fixation par endo bouton majorerait de 30% la rupture itérative de la greffe comparativement à la fixation par vis. La combinaison d'endo bouton et de vis de fixation rétrograde semble également majorer le risque de rupture secondaire (Persson et al., 2015).

3-5-Délai opératoire

En dépit de l'augmentation du nombre de publications sur la possibilité d'un traitement conservateur, la chirurgie semble être le traitement de choix et de première intention en regard de la rupture du LCA (Delince et Ghafil., 2012 ; Ajuied et al., 2014). La question du délai entre la rupture effective, l'objectivation de la rupture

(imagerie par IRM) et l'opération est fortement étudié. Ce délai est très variable d'une région à l'autre. Il est estimé à 4,5 mois en moyenne au royaume uni (King et al., 2020) et à 8 mois dans la pays nordiques (Fälström et al., 2014). Il ne devrait cependant pas dépasser un an car cela impliquerait une multiplication du risque de rechute passant de 1,51 fois à 3,07 fois plus de risque (20824 patients, Falström et al., 2014). Malgré une avancée forte de la technicité de la chirurgie et des pratiques de moins en moins invasives, par conséquent moins délétères pour le patient, les conséquences de la chirurgie à l'échelle de l'individu demeurent nombreuses.

Partie 3 - Conséquences du traitement chirurgical

Décrite comme un évènement « stressant » pour le patient (Dietmyer et al., 2002), l'intervention chirurgicale laisse place à de nombreuses conséquences.

En raison de l'arrêt de la pratique d'activité sportive, le système cardio-vasculaire se déconditionne rapidement (Kuenze et al., 2022). La condition psychologique du patient se retrouve également fortement impactée. Xiao et al., (2023) soulignent que les patients ayant une plus grande confiance auto-rapportée (évaluée par l'échelle K-SES), une kinésiophobie moins prononcée (évaluée par l'échelle TSK), et une confiance dans leur capacité de retour au sport (évaluée par l'échelle ACLrsi) retrouvent la pratique d'une activité sportive dans de plus grandes proportions. Le nombre de retour à l'activité physique demeure faible, puisque seulement 65% retrouvent une pratique sportive au même niveau et 55% seulement en compétition (Arderne et al., 2017). Les patients qui auraient subi une intervention présenteraient d'ailleurs jusqu'à 6 fois plus de risques de lésions secondaires du LCA (Paterno et al., 2014) comparativement aux patients n'ayant pas eu de rupture de ce ligament central du genou.

Sous partie 1 - Conséquences sur le volume musculaire et tendineux

La perte de volume musculaire serait importante après une opération, allant jusqu'à changer la forme du muscle *semitendinosus* (Du Moulin et al., 2023). Une perte de 10% de CSA pour ce dernier et de 12% pour le muscle *gracilis* est évaluée (Konrath et al., 2014). Une immobilisation post chirurgicale au moyen d'une attelle peut également majorer cette perte de volume musculaire. Il est décrit qu'une semaine d'immobilisation du membre inférieur chez un sujet sain peut ainsi mener à une perte de volume de près de 10 % (Kilroe et al., 2019). De plus, cette perte de volume serait étroitement liée à la perte de fonction (Lindström et al., 2013). Elle altérerait les patterns de mouvement durant la marche (Paterno et al., 2010), et irait même jusqu'à augmenter le risque de rechute (Paterno et al., 2012 ; Birchmeier et al., 2019). Associée à cette perte de volume, une diminution de l'angle de pennation est constatée (Noerhen et al., 2016b) et une transition du type de fibre de I vers II soulignée (Lepley et al., 2020) entraînant une diminution de la capacité de production de force maximale. La fonction du quadriceps serait, selon certains écrits, liée à sa taille (Kuenze et al., 2016). De manière plus directe, le prélèvement de greffon laisse place à des modifications tendineuses, et ce, même à long terme, post geste opératoire. Seulement 35% de patients observent une cicatrisation tendineuse (*semitendinosus*) et à 2 ans après le prélèvement tendineux, les conséquences restent marquées (Konrath et al., 2014). Concernant le tendon patellaire, une CSA augmentée (21%) et une diminution du module d'Young (-24%) sont soulignées (avec une plage allant jusqu'à 109mm² de tissu manquant à 2 mois ; Kiss et al., 2008 ; Reeves et al., 2009). Les altérations tendineuses sont ainsi spécifiques au type d'opération réalisé. Outre l'aspect morphologique pouvant être constaté de manière

directe, car visible à l'œil nu, la partie immergée des conséquences n'est pas à négliger (Lepley et al., 2020 ; Figure 10).

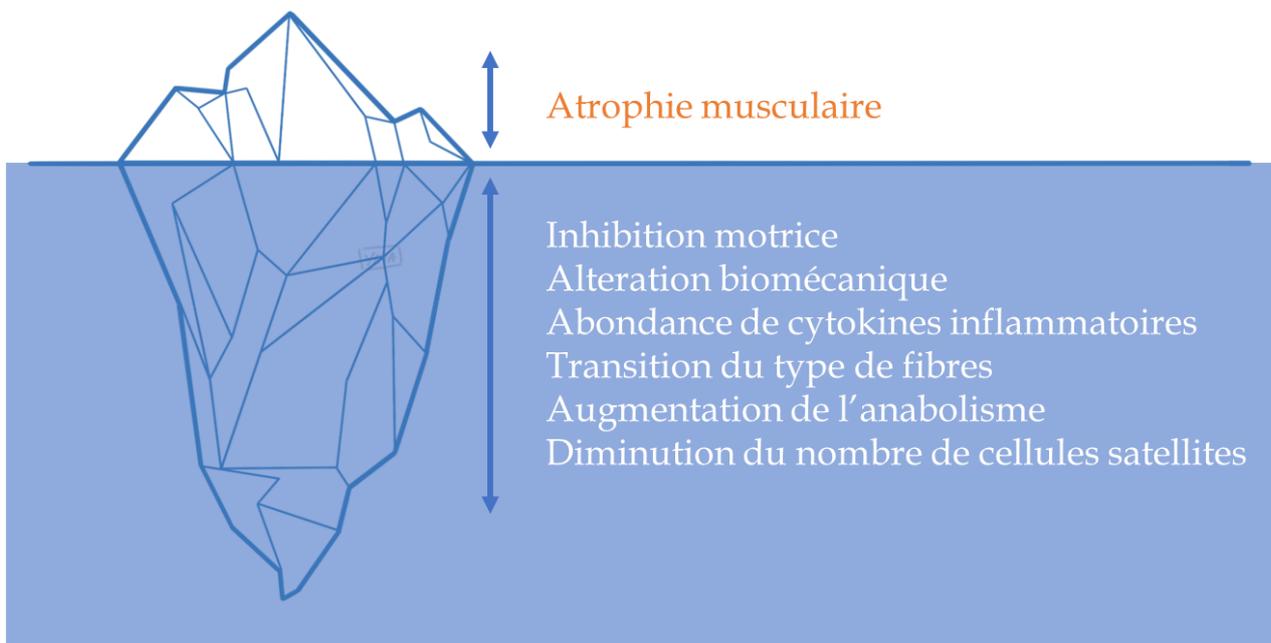


Figure 10 : Les conséquences du traitement chirurgical. En orange la partie visible des conséquences sur le système musculaire. En blanc la partie non observable à l'œil nu mais qui est également à l'origine de la perte de volume et de force musculaire (Adapté de Lepley et al., 2020 ; dessin S.Frouin).

Sous partie 2 - L'inhibition motrice

Décrite par Rice et McNair en 2010, l'inhibition du *quadriceps* pourrait provenir des dommages causés à l'articulation. L'inflammation, l'épanchement intra-articulaire, la laxité articulaire et les dommages causés aux capteurs proprioceptifs contenus dans le LCA découlent de la rupture de ce dernier. Ces conséquences entraînent, des modifications des voies spinales et supra spinales d'où découleraient l'inhibition motrice (Rice et McNair., 2010 ; Figure 11). Cette inhibition se manifeste cliniquement par une incapacité/ou faible capacité du patient à réaliser une contraction musculaire. Elle se révèle également dans l'absence de réponse hypertrophique au stimulus mécanique (Hopkins et Ingersoll 2000).

Chapitre 1

D'un point de vue neurophysiologique, le nombre d'unités motrices recrutables diminuées associé à la diminution de la capacité de recrutement des unités motrices restantes expliqueraient en partie les conséquences sus mentionnées (Pietrosimone et al., 2022). Il est en effet démontré que, pour préserver un niveau de force donné, la capacité de recrutement des unités motrices restantes devra être augmentée (Maffiuletti et al., 2016).

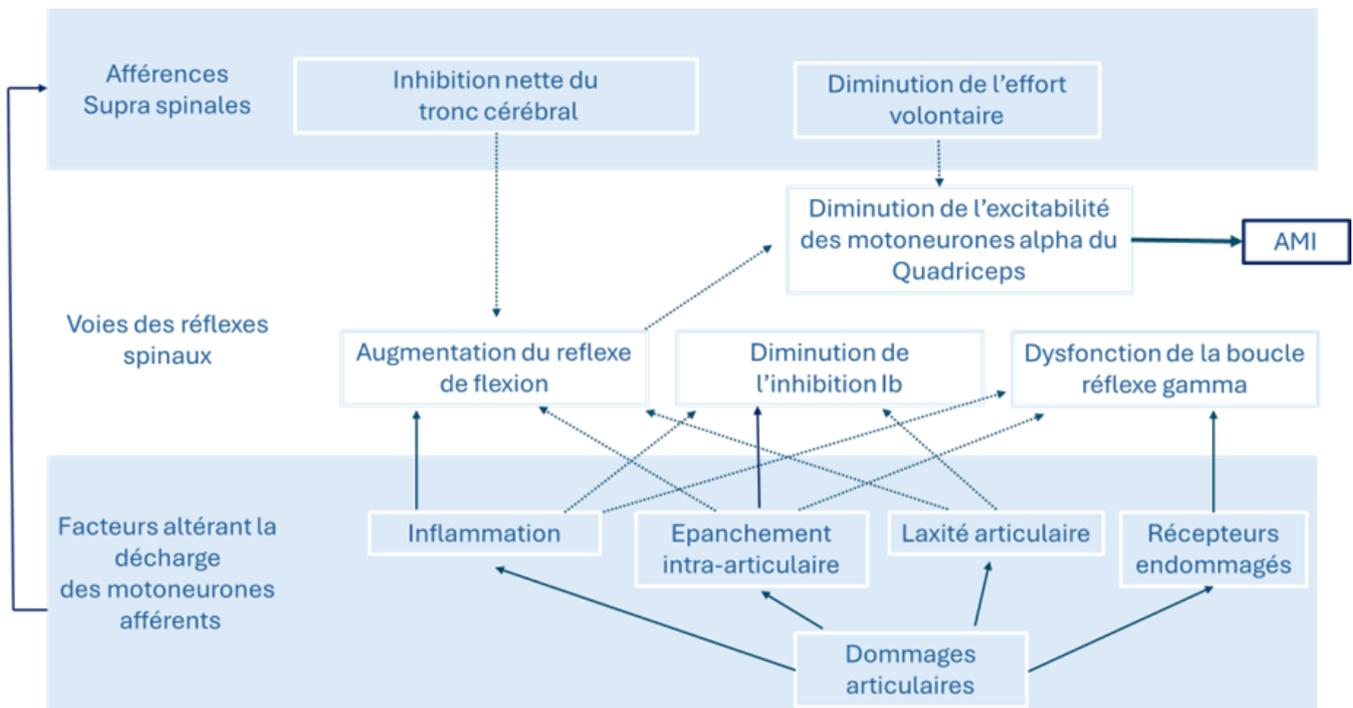


Figure 11 : Diagramme résumant les mécanismes à l'origine de l'AMI du quadriceps. Les lignes en gras représentent les évidences scientifiques les plus fortes (adapté de Rice et McNair., 2010).

Pour cela, l'excitabilité du « pool » de motoneurones restant est étudiée par la mesure réflexe de Hoffmann (H reflex ; Lisee et al., 2019). Les travaux de Konishi et al., (2010,2011,2012) établissant que la force produite par unité de volume musculaire est plus petite chez les patients atteints d'une rupture et/ou opérée du LCA confirment ce manque de recrutement des unités motrices. Néanmoins, il semblerait que le déficit d'activation soit d'avantage lié à la diminution du nombre de motoneurones ainsi qu'à la diminution de la fréquence de décharge des unités motrices recrutées (Shermann et al. , 2023a). Des altérations importantes au niveau

cortical sont également décrites mais leur interprétation nécessite de plus amples recherches (Baumeister et al., 2008 ; Shermann et al., 2023b). La capacité de production de force maximale du patient se retrouve donc largement impactée au niveau du *quadriceps* et des ischio-jambiers (les plus étudiés).

L'ensemble de ces conséquences sont décrites comme des facteurs de rechute après une première opération via la rééducation permettrait alors d'en limiter le développement.

Partie 4 - Les indicateurs de réussite en kinésithérapie

Sous partie 1 - Le retour au sport : étape finale du processus de rééducation

Le premier objectif poursuivi par tout patient étant atteint d'une rupture du ligament croisé antérieur est le retour à l'activité physique au niveau initial (Carter et al., 2021). Plusieurs étapes se succèdent : le retour à la marche, le retour aux activités de la vie quotidienne (eg. la conduite ; Salem et al., 2021), le retour au travail et enfin le retour au sport. Cette dernière phase est divisée en 3 sous étapes : le retour à la participation comprenant le retour à la course à pied, le retour au sport et le retour à la compétition (Ardern et al., 2016 ; Van melick et al., 2016).

Ces étapes sont largement décrites dans les « guidelines » internationales, et font consensus (Van melick et al., 2016 ; Ardern et al., 2017 ; Rambaud et al., 2017 ; Svantesson et al., 2020). Ces lignes directrices servent de support aux cliniciens afin de valider chaque étape du processus de rééducation (Figure 12).

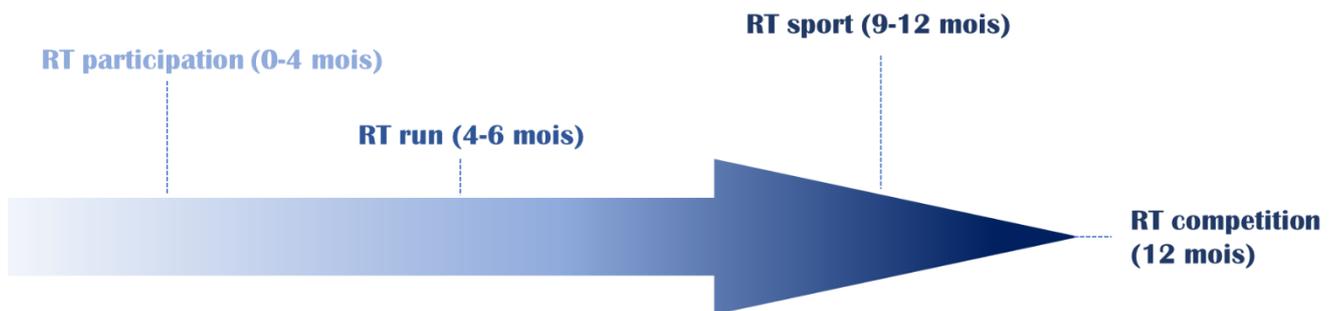


Figure 12 : Continuum de retour au sport après opération du ligament croisé antérieur. Les dates présentées entre parenthèse sont des moyennes retrouvées dans la littérature (Rambaud et al., 2017 ; Ardern et al., 2017 ; Van melick et al., 2016). Elles demeurent hautement variables entre les individus.

De manière générale, les critères utilisés pour le retour au sport et à la compétition doivent permettre : de prédire le succès de la rééducation ; à un patient/sportif/athlète de haut niveau, de retrouver son niveau de pratique, au patient, de retrouver le sport réalisé avant la blessure (et la chirurgie), de lui assurer de pouvoir répondre aux contraintes mécaniques imposées par le sport et enfin de lever les affections psychologiques (anxiété, dépression, manque de confiance) liés à la rupture (et la chirurgie) du LCA (Ardern et al., 2016 ; consensus de berne). Pour le retour à la compétition, les paramètres évaluées en post chirurgie du LCA se divisent en critères physiques, psychologiques et éléments auto-rapportés de la part du patient qui doivent être évalués régulièrement par les cliniciens.

Sous partie 2 - Evaluation post-opératoires

2-1-Le temps

Il a longtemps été considéré que seul le temps suffisait à déterminer si le patient était apte à retrouver les terrains. Le retour après une durée d'éloignement des terrains supérieures ou égale à 12 mois était en lien étroit avec le processus de ligamentisation du néo greffon (Barber Westin et Noyes., 2011) et devait permettre de limiter le risque de rechute. De nombreux travaux suggèrent, depuis, que ce critère est très variable d'un individu à l'autre et qu'il faut aller outre la seule temporalité pour décider du retour au terrain. D'autres auteurs estiment à plus de 2 ans le processus de ligamentisation complet et proposent d'attendre ce délai pour un retour au sport (Nagelli et Hewett., 2017). Les cliniciens se concentrent alors sur des

variables objectives telles que la diminution de la douleur relative à l'articulation mesurée par échelle visuelle analogique (EVA), ainsi que l'absence totale d'épanchement intra-articulaire (Périmétrie), la récupération des amplitudes articulaires complètes (goniométrie), la récupération de force (Isocinétisme) pour préconiser le retour à l'activité sportive.

2 - 2 - Mesures auto rapportées (PROMS)

La lésion du ligament croisé, au-delà d'être une atteinte biomécanique, affecte également la sphère bio-psycho-sociale du patient (Arden et al., 2016 consensus). Parmi les « guidelines » de retour au sport après une rupture du LCA il est établi que les facteurs environnementaux et personnels représentent 11,1 % et 8,9 % des facteurs évoqués, tandis que l'activité et la participation est représentée à hauteur 20 % (de Queiroz et al., 2023). La lésion du ligament croisé antérieur a un impact psychologique fort et peut être associée à des épisodes de dépression, surtout dans les 6 premières semaines post-opératoires (Piusi et al., 2022). Ces symptômes dépressifs évalués principalement grâce à des échelles telles la HADS (Hospital Anxiety and Depression Scale) ou encore le Beck Depression Inventory, sont en lien étroit avec une faible réussite de la rééducation. Une faible qualité de vie ou fonction rapportée par rapport à l'articulation du genou évaluées par l'échelle KOOS (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score) ou IKDC (International Knee Documentation Committee), ainsi qu'une faible confiance évaluée par ACLrsi (échelle visant à évaluer la confiance psychologique avant la reprise sportive) doivent être des signaux d'alerte pour investiguer la dépression chez le patient. En effet 34 % des patients atteints d'une lésion du LCA souffrent de dépression ou de symptômes dépressifs, (Crichlow et al., 2006). Afin de répondre au mieux aux attentes des patients et de limiter les symptômes dépressif une écoute et une compréhension des problématiques psycho-sociales du patient liées à la blessure semblent essentielles.

2-2-Volume musculaire

Les volumes musculaires du *quadriceps* et des ischio-jambiers sont fortement altérés, et ce plusieurs années après le geste chirurgical (Kositsky et al., 2023,

Chapitre 1

Konrath et al., 2016, Du moulin et al., 2023), cependant la récupération du volume musculaire ne semble pas entrer dans les recommandations. Suite à un prélèvement de tendon du semitendinosus et du *gracilis* un déficit de 40 et 50% en volume est constaté respectivement pour le muscle *gracilis* et *semitendinosus* et ce 2 à 4 ans après la chirurgie, avec une augmentation de volume de 10% environ des muscles *semimembranosus* et *biceps femoris* (Konrath et al., 2016). Un déficit important est rapporté au niveau du muscle *quadriceps* au sein de nombreuses études (pour revue Birchmeier et al., 2020). Étonnamment il n'existe à notre connaissance que deux revues s'intéressant à la perte de volume musculaire suite à une ligamentoplastie (Dutailis et al., 2020 ; Birchmeier et al., 2020). De surcroît, il n'est fait mention directe de la récupération du volume musculaire dans aucune des grandes « Guidelines » auxquelles nous avons pu nous intéresser précédemment (Ardern et al., 2017 ; Van Melick et al., 2016 ; Rambaud et al., 2017 ; Svantesson). Cela peut sans doute être attribué à la difficulté clinique que représente sa mesure par IRM (Franchi et al., 2018).

2-3-Capacité de production de force maximale

La mesure de capacité de production de force maximale est réalisée à l'aide d'un dynamomètre isocinétique qui est le « gold standard » de la mesure de force clinique. La mesure est réalisée en dynamique et en isométrique afin de mesurer la force maximale produite par le *quadriceps* ainsi que par les ischio-jambiers en post opératoire. D'après Edouard et Degâche., (2016) le patient est positionné à 80° de flexion de hanche et fixé au siège du dynamomètre pour éviter les mouvements de compensation. Le test consiste ensuite en des extensions et flexions successives réalisées à 60° et 120°/s en concentrique pour les extenseurs. Deux vitesses (30 et 90°/s) sont ajoutées en excentrique à ces mesures concentriques pour évaluer la force maximale des ischio-jambiers. Cette mesure s'effectue successivement sur le membre inférieur sain et atteint/opéré et permet de calculer ensuite un indice de symétrie nommé le Limb Symetry Index (LSI). Un LSI à 70% est nécessaire pour la reprise de la course à pied (Rambaud et al., 2017), puis il doit être amélioré à 90%

pour le retour au terrain (Van melick et al., 2016). Les normes rapportées au poids de corps tendent vers 3,0Nm/kg pour les *quadriceps* et 2,0Nm/kg pour les ischio-jambiers pour des sportifs pratiquant des sports de pivot contact (Van melick et al., 2021).

Il existe de multiples possibilités pour le calcul de symétrie de force (normes au poids de corps, écart absolu, écart relatif, calcul de pourcentage d'écart etc.). L'exploration de la littérature ne nous permet pas d'arriver à un consensus. Dans les dernières années il a été souligné que l'utilisation du pic de force seul posséderait des limites importantes car il ne serait pas réalisé en regard de l'angle auquel la force est produite.

Tableau 1 : Variabilité de l'interprétation de la mesure de force au sein des études LCA (exemples pris parmi la littérature ; non exhaustif). LSI : Leg symmetry index. Le LSI donne l'écart en pourcentage entre la jambe opérée et la jambe saine pour une mesure de force donnée.

Etude	Type de mesure	Présentation de la mesure
Fitzgerald 2000	<i>Quadriceps</i> isométrique	Leg symmetry index (blessée/saine)
Shaarani 2013	<i>Quadriceps</i> 90°/s	Valeur absolue Nm
Eitzen 2009	<i>Quadriceps</i> 60°/s	Absolue et LSI
Lepley 2016	<i>Quadriceps</i> isométrique	Rapportée au poids de corps

Baumgart et al., (2018) suggèrent alors d'utiliser une méthode statistique (spm) prenant en compte l'aire sous la courbe afin de définir un déficit global sur l'ensemble de la relation couple angle mesurée lors du test. L'établissement d'un déficit global permettrait de mesurer le déficit réel sur l'ensemble de la relation couple angle du patient. Par conséquent cela permettrait, de diminuer ainsi les risques de rechute liés à ce facteur de force maximale, puisqu'il permettrait de détecter puis d'agir spécifiquement sur les déficits de chaque patient.

L'évaluation de la force maximale isométrique est réalisée à une angulation donnée, la fiabilité et la reproductibilité de la mesure y sont augmentée. Certaines normes ont été établies sur 74 sujets sains de 18 à 41 ans (représentatifs de la population clinique retrouvée en post lésion du LCA) afin de fournir au cliniciens un repère à

Chapitre 1

atteindre lors de la rééducation (Barrué-Belou et al., 2023). Le dynamomètre isocinétique représentant un investissement coûteux pour les cabinets de kinésithérapie, une solution alternative est trouvée grâce au dynamomètre manuel permettant de reproduire des évaluations de force quadricipitale et des ischio-jambiers de manière fiable et reproductible (Pinto Ramos et al., 2021 ; Kristiansen et al., 2024). La prise en compte d'autres aptitudes telles que la production rapide de force maximale obtenu grâce à la mesure « time to peak » ou encore le taux de développement de la force (RFD ; Maffiuletti et al., 2016 ; Maestroni et al., 2021) semblent aujourd'hui être essentielles à prendre en compte pour le retour au terrain. Ces dernières peuvent être mises en évidence lors d'évaluations mono segmentaires (extension/flexion de genou) mais également pluri segmentaires (Mid Tigh Pull, Squat isométrique etc.).

La force maximale et le taux de développement de cette force maximale, et la puissance mécanique qui en découle, sont en effet essentiels dans les tâches de performances sportives comme le saut, la course, le sprint, les changements de direction rapide et le geste sportif (Suchomel et al., 2016).

2-4-Capacité de saut

L'évaluation de la capacité de saut pour un patient post rupture/opération du LCA est divisée en deux parties. Tout d'abord, la capacité de saut horizontal, évaluée grâce à une mesure centimétrique de la performance a été le gold standard pour les patients atteints d'une lésion du LCA (Rambaud et al., 2017). Les quatre tests majeurs utilisés sont le hop test, triple hop test, crossover hop test et side hop test (Figure 13).

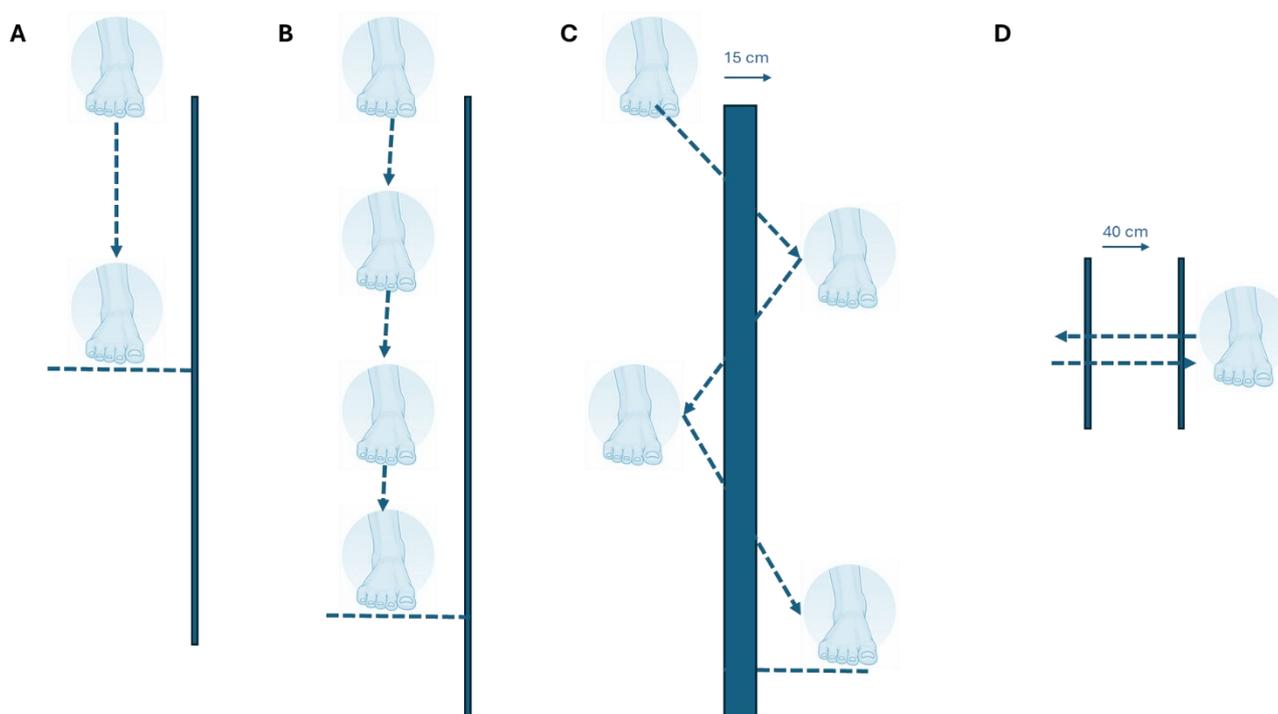


Figure 13 : Hop tests. A : Single Hop test, B : Triple Hop test, C : Crossover hop test, D : Side test durant lequel un maximum de sauts doit être effectué en 30 secondes.

Ces tests réalisés de manière unilatérale sur la jambe saine puis sur la jambe atteinte permettent également de fournir un LSI. Les pourcentages à atteindre pour les reprises successives de la course à pied et du sport restent respectivement 70% et 90% de symétrie entre les deux membres inférieurs. Cependant, l'étude de la contribution de l'articulation du genou révèle que lors de la phase de propulsion la contribution du genou au travail mécanique global du membre inférieur est réduite à 12,9% contre 44,3% et 42,8% imputable à l'articulation de la hanche ainsi que de la cheville.

Chapitre 1

C'est pourquoi dans un second temps, il serait judicieux de combiner aux sauts horizontaux proposés, des sauts verticaux (Coutermovement Jump, Squat Jump, Drop Jump) permettant de cibler de manière plus précise le travail à l'articulation du genou. Il est en effet responsable de 34,1% du travail total du membre inférieur pour cette phase de propulsion. En ce qui concerne la phase de réception, les pourcentages varient, passant à 64,7% et 34,3% du travail total réalisé par l'articulation du genou (Kotsifaki et al., 2021). Ces sauts sont le plus souvent évalués au moyen de plateformes de forces, mais peuvent aussi être remplacé par des applications de capture vidéo performantes (Whiteley et al., 2023).

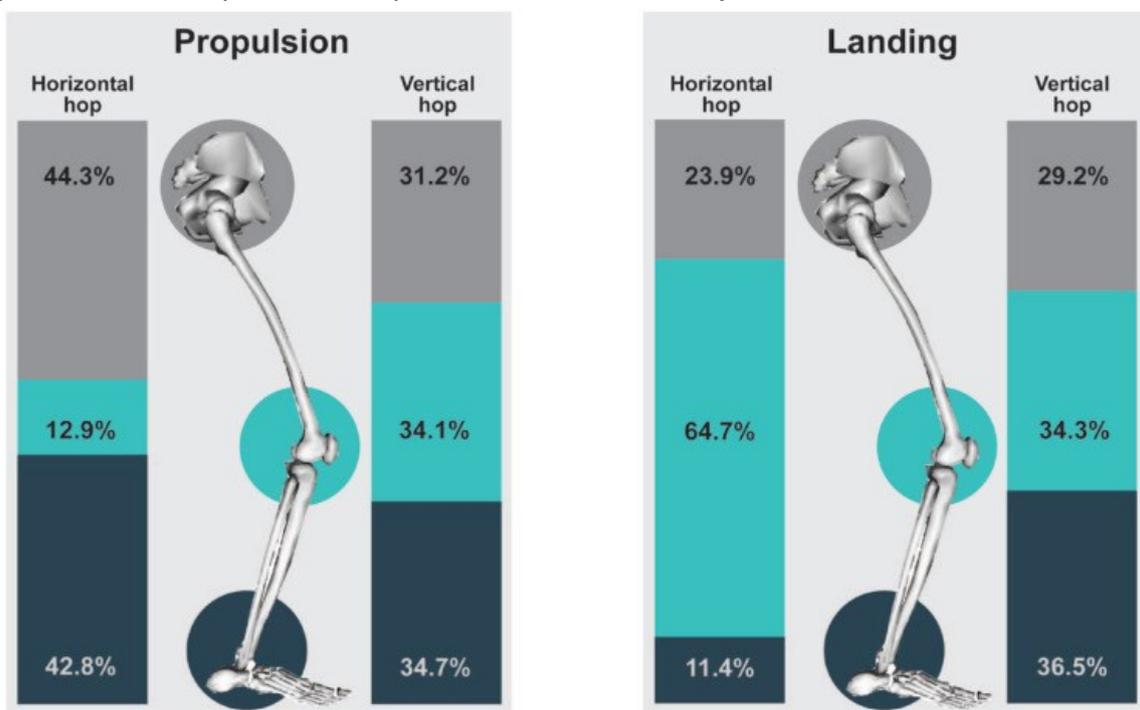


Figure 14 : Contribution au travail mécanique en W/kg des articulation aux phases de saut verticaux. (a) poussée et (b) atterrissage (Kostifaki et al., 2021)

Les sauts verticaux réalisés en unipodal permettraient de souligner plus encore les déficits de contribution du genou à la performance en sauts verticaux. Des LSI de 83% et 77% durant des « leg jump » et « drop jump » unilatéraux sont mis en évidence pour des athlètes post reconstruction du LCA ayant retrouvé le terrain (Kotsifaki et al., 2022). Les paramètres principaux utilisés en cliniques que sont la hauteur de saut et le temps de contact au sol (e.g index de force réactive le RSI) seraient des données plus représentatives des différences intersegmentaires que la simple distance de saut quantifiée grâce aux « hop tests » (Kotsifaki et al., 2022). D'autres critères tels

que l'impulsion (correspondant à la force produite par unité de temps lors de la phase excentrique et concentrique de propulsion ou de réception ; « impulse ») sont analysés car déficitaires après une opération du LCA (Costley et al., 2021). De récentes études recommandent de coupler une analyse biomécanique à l'analyse de saut, car la mesure de performance (puissance, force, explosivité) peut parfois masquer des comportements biomécaniques à risque de rechute (King et al., 2020). L'analyse de la capacité de saut est la première étape permettant de juger l'aptitude d'un patient à absorber de la contrainte mécanique au niveau du genou et lui permettre de rentrer dans des phases de reprise de course à pied, de sprint et de changement rapide de direction essentielles pour le retour au terrain et à la compétition (Welling et al., 2020).

Sous partie 2 - Mésusage de la kinésithérapie en rééducation post opératoire.

Malgré le nombre important de guidelines, le chiffre inquiétant de 55 % de retour au sport en compétition (Arden et al., 2017) est constaté. Une problématique, de prévention ou de diminution des facteurs de risques de rechute, conséquente est ainsi mise en exergue. De multiples raisons peuvent être évoquées :

- Le retour anticipé à l'activité physique sans validation des objectifs qualitatifs et quantitatifs mentionnés dans les parties précédentes. (Welling et al., 2018).
- L'implication du patient dans sa rééducation, le maintien de la motivation tout au long du parcours de soin post-opératoire et le manque de communication pluriprofessionnelle (Van Aesche 2016).
- L'absence d'utilisation de critères (40 %), l'utilisation du critère temporel uniquement (32 %), l'utilisation du critère temporel et de critères choisis (15 %) pour les kinésithérapeutes prenant en charge des patients atteints d'une rupture du LCA. Il est important d'avoir à l'esprit que seuls 13 % d'entre eux utilisent des critères objectifs (Barber Westin et Noyes 2011).

Il semblerait également qu'au-delà des considérations décrites ci-dessus et chirurgicales, émergent des interrogations concernant l'utilisation de la

Chapitre 1

kinésithérapie dans le cadre de la lésion du ligament croisé antérieur. En effet, Grindem et al., (2018) alertent sur la possibilité « sur » prise en charge à l'étape chirurgicale pour les sportifs de haut niveau, mais de sous-utilisation de la rééducation kinésithérapique ensuite. Il est également décrit que seulement 5 % des patients (i.e., hors athlètes élités) pris en charge recevraient un traitement rééducatif en adéquation avec l'atteinte du LCA (Erbert et al., 2017). Cette prise en charge inadaptée à la situation clinique du patient expliquerait que seulement 31 % et 53 % des patients avaient récupéré une symétrie de production de force maximale quadricipitale et une performance au single hop test supérieure à 90 % à 1 an post opératoire (Erbert et al., 2017). Il est important de comprendre que le traitement inadapté peut entraîner un risque de rechute majoré et générer des coûts secondaires importants. La chirurgie représente, par exemple, un coût de 25000 dollars par patient aux États-Unis (Bokshan et al., 2019).

L'arthrose (usure cartilagineuse) secondaire à une lésion et/ou une prise en charge chirurgicale du LCA peut entraîner des coûts importants à distance, mais également, une augmentation de la consommation de soins (i.e., consultations médicales, prise d'antalgique, appareillage médical etc.) et d'arrêt de travail par le patient. Malgré la progression des techniques chirurgicales, la restauration du comportement biomécanique du genou avant rupture reste imparfaite (Liukkonen et al., 2023)

Il est raisonnable de penser que le délai court entre la lésion et la prise en charge chirurgicale est le fruit d'un biais de disponibilité majeur. En effet, le délai moyen entre la lésion et l'opération est de 4,5 mois en moyenne (King et al., 2020). Nos observations de terrain nous amènent aux mêmes conclusions dans le bassin nantais en ayant à l'esprit une grande variabilité entre les patients. Il est de plus souligné qu'en terme de qualité de vie (KOS-ADL), aucune différence n'est observée entre des patients opérés immédiatement après la lésion ou à 3 mois (Beard et al., 2022). Au regard de ces éléments, il semble important d'exploiter le temps à disposition afin de préparer le patient de la meilleure manière possible au geste chirurgical.

C

hapitre 2 : La rééducation pre
opératoire

Partie 1 - La rééducation pre opératoire en kinésithérapie

La rééducation pre opératoire (ou « prehabilitation ») est définie comme la préparation d'un individu, de par l'amélioration de ses capacités fonctionnelles, à l'évènement stressant que représente l'opération (Ditmyer et al., 2002). Ce type de rééducation est couramment proposée aux patients pour des pathologies oncologiques, cardio-respiratoires, traumatologiques et concerne, d'une manière générale, l'intervention avant une opération afin d'entretenir ou d'améliorer une ou plusieurs capacités physiques, physiologiques, psychologiques du patient destiné à l'opération.

L'angioplastie ou l'angiographie coronaire sont des examens répandus en cardiologie et nécessitent l'introduction d'une gaine utilisant les conduits artériels. La mise en place de ce type d'intervention peut être associée à la thrombose et l'occlusion artérielle. En regard de ces problématiques, Alkarmi et al., (2010) se sont intéressés à la mise en place d'exercices pre interventionnels (angioplasties coronariennes) afin d'observer si ces derniers pouvaient entraîner un remodelage (augmentation du diamètre artériel) et une augmentation de la fonction artérielle. L'équipe conclut que l'exercice effectué en amont d'une chirurgie permettrait d'augmenter le diamètre et la fonction artérielle limitant ainsi le risque de complication secondaire, liée à une thrombose et occlusion post-interventionnelle.

Pour poursuivre dans l'exemple cardio-respiratoire, la rééducation pre opératoire est utilisée afin d'augmenter la qualité de vie des patients avec une atteinte pulmonaire majeure avant lobectomie ou pneumonectomie (Bibo et al., 2021) Cette phase de rééducation dispensée au moyen d'entraînements cardiorespiratoires adaptés aux patients en terme de fréquence et d'intensité permet également de développer les capacités musculaires (eg., force maximale), la tolérance à l'activité physique, le périmètre de marche (eg., test de marche de 6 min) et la capacité de récupération post opératoire du point de vue de l'essoufflement (i.e., diminution de la dyspnée).

Dans le domaine de l'oncologie la « prehabilitation » est utilisé avant un traitement de chimiothérapie et/ou chirurgie d'ablation tumorale (Harris et al., 2024), et dans le cadre du cancer gastro-intestinal afin d'augmenter la tolérance à l'activité physique (Lau et Chamberlain., 2020). Elle permet également de diminuer la durée d'hospitalisation post opératoire de patients opérés d'un cancer abdominal (Waterland et al., 2021). Pour le cancer du sein, un entraînement de 12 semaines mis en place en parallèle de la radiothérapie permet de diminuer la fatigue liée au cancer de manière significative chez 80 patients observés durant un essai clinique contrôlé et randomisé. En comparatif 80 patients soumis à un programme de relaxation n'observent pas de diminution de la fatigue liée au cancer (Steindorf et al., 2014).

Afin de recentrer le propos sur la traumatologie, nous pouvons évoquer la mise en place de la rééducation pre opératoire dans un contexte d'arthroplastie totale de genou. Celle-ci est recommandée pour des patients à un stade de dégénérescence arthrosique avancé, en amont de la mise en place d'une prothèse totale de genou, afin de développer les capacités de production de force maximale du *quadriceps* du patient, d'améliorer l'autonomie et sa qualité de vie, mais également de développer le périmètre de marche en pre opératoire (Wang et al., 2016). Des retombées sont observées à court terme en post opératoire pour les patients ayant suivi un programme de rééducation en amont de l'opération (Husted et al., 2020).

La phase pre opératoire est une étape lors de laquelle le patient apparaît particulièrement motivé et à l'écoute en regard de l'éducation thérapeutique qui peut lui être prodigué par les différents professionnels de santé qu'il rencontre (Durrand et al., 2019). Le succès d'une prise en charge, quel que soit le type de pathologie considérée, se définissant à partir de la récupération de capacités permettant aux personnes de reprendre ses activités à un niveau comparable à celui présenté au moment de la blessure : retour au travail, au sport (Lynch et al., 2015), il est important de situer le patient dans une étape de préparation et non d'attente de la chirurgie.

Partie 2 - Le cas particulier de la rééducation pre opératoire de patients atteints d'une rupture du LCA.

Sous partie 1 - Contexte post rupture

Il est essentiel de différencier la phase suivant la lésion du LCA et celle suivant la chirurgie reconstructrice. De manière immédiate, à la suite de l'évènement traumatique, les premières conséquences physiologiques, mécaniques, périphériques et centrales apparaissent. L'absence du LCA donne naissance à une laxité articulaire importante en tiroir antérieur (Niu et al., 2022). Cette laxité est évaluée manuellement lors du test de Lachmann (Van eck CF et al., 2013) ou encore mécaniquement grâce à dispositif comme le Genurob (Saravia et al., 2020). Une instabilité mécanique peut également apparaître et être durable dans le temps (Diermeier et al., 2021). Tous les patients ne sont pas touchés par cette instabilité mécanique à terme. Un déficit proprioceptif dû à l'anéantissement du système de mécanorécepteurs contenus par le LCA (Corpuscule de Pacini et Organe tendineux de Golgi ; Fremerey et al., 2000) serait en partie à l'origine de cette instabilité (Relph et al., 2014).

A la suite de la rupture du LCA le parcours du patient peut être organisé de manière différente en fonction des déficits. Pour les patients « non-copers » (Thoma et al., 2019) c'est-à-dire pour qui une instabilité mécanique est décelée il existe deux possibilités. La chirurgie peut être proposée avec un délai très court si le genou est sec, indolore et possède des amplitudes en extension et en flexion, complètes. Une capacité importante de production de force (80% LSI *quadriceps*), en extension (0°) et en flexion de genou (110°), est également attendue par certains chirurgiens orthopédiques pour prétendre à l'opération (Cunha et al., 2022). Dans le cas contraire la chirurgie peut être remise à plus tard (Frobell et al., 2010) et une rééducation peut être proposée afin de constater ou non une amélioration de l'instabilité. Une distinction est faite avec les patients « Copers » (Sans instabilité mécanique, Thoma et al., 2019), pour lesquels un rétablissement de la stabilité et de la fonction par

rééducation est constatée. Ces patients sont orientés vers une rééducation et un traitement conservateur peut être envisagée (Fitzgerald et al., 2000).

La lésion du LCA a également une influence neuro cognitive (Neto et al., 2019). L'intégration du signal sensoriel et moteur est diminué et la demande liée à la programmation du mouvement est augmentée. Enfin, l'inhibition motrice est plus importante pour des patients atteints d'une rupture du LCA. Cet ensemble de paramètres rendraient les patients atteints d'une rupture de LCA dépendants visuellement dans des situations de déstabilisation (Sherman et al., 2023). Chez de jeunes patients une centralisation du phénomène douloureux est également recensée (Markiewietz et al., 2022). Durant cette phase, la sphère biopsychosociale se retrouve impactée de par l'éloignement des terrains (12 mois en moyenne ; Ardern et al., 2017). L'aspect psychologique est à son paroxysme durant cette période post-lésionnelle (Bullock et al., 2022), avec une forte prévalence de trouble dépressif (42% ; Piussi et al., 2022). Un déconditionnement cardiaque (Kuenze et al., 2022) et neuro musculaire (Steding Ehrenborg et al., 2013) est constaté, associé à un déficit d'activation (Hart et al., 2010) et de force du *quadriceps* notamment (Adams et al., 2012).

Sous partie 2 - La place de la phase pré opératoire dans le parcours de soin.

La première référence à cette phase a été faite par le professeur Bonnet (université de Lyon) en 1845, au sein de l'ouvrage « traité des maladies des articulations ». Il suggère alors un traitement conservateur et fait d'ores et déjà mention de l'intérêt de la mise en place d'une rééducation précoce à la suite d'un traumatisme de l'articulation du genou.

Chapitre 2

Aujourd'hui, les nombreuses « guidelines » décrivant le parcours de soin du patient opéré du LCA mentionnent également les pratiques à adopter dans le cadre d'une rééducation pre opératoire (Van melick et al., 2016 ; Ardern et al., 2017 ; Svantesson et al., 2020). Le kinésithérapeute devra alors intervenir afin de diminuer l'épanchement intra-articulaire, mais aussi la douleur. Il s'agit pour le praticien de mettre en place une rééducation permettant de récupérer les amplitudes articulaires (Extension complète) et de diminuer le déficit de force à 20% concernant le *quadriceps* (Van melick et al., 2016 ; Diermeier et al., 2020). Cependant, une étude de pratique menée en 2020 auprès de 183 praticiens, révèle que 84.4% de kinésithérapeutes interrogés ont le sentiment que les patients n'ont pas eu accès à la rééducation pre opératoire.

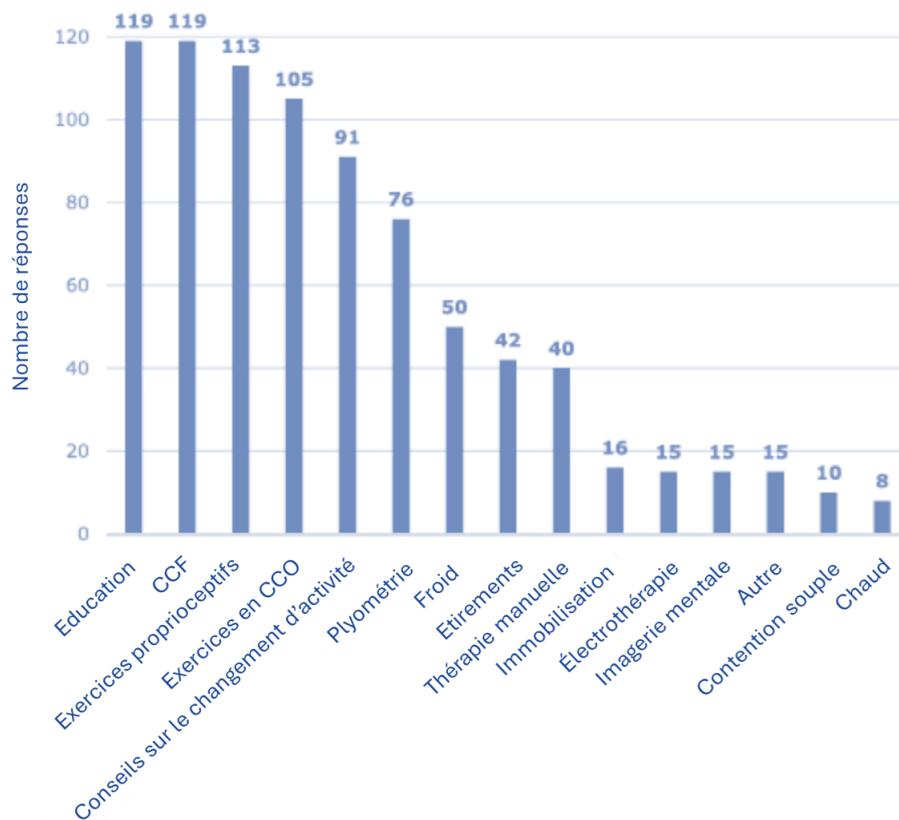


Figure 15 : Hétérogénéités concernant la phase pre opératoire dans une étude d'analyse des pratiques auprès de kinésithérapeutes anglophones. Le nombre de réponses, données par les praticiens en fonction de la méthode ou technique mise en place lors de la phase pre opératoire, y sont représentées. (adapté de Carter et al., 2020)

La moitié d'entre eux (50% du total) révèle que les patients expriment de l'appréhension à l'approche de la chirurgie. Les interventions les plus couramment utilisées sont l'éducation thérapeutique (97.5%), des exercices de proprioception (92.6%), de plyométrie (62.7%) et d'entraînement contre résistance en chaîne cinétique ouverte (32.8%). Un tiers des professionnels utilise la thérapie manuelle lors du traitement, 13% conseillent la mise en place d'une attelle et 8% la mise en place d'un « tape » afin d'améliorer la stabilité du genou. Nous pouvons également constater que des exercices d'entraînement contre résistance sont utilisés par une majorité de praticiens (97,5%) mais aucun détail n'est donné sur ces exercices hormis la configuration en chaîne ouverte ou fermée (Carter et al., 2020 ; Figure 15).

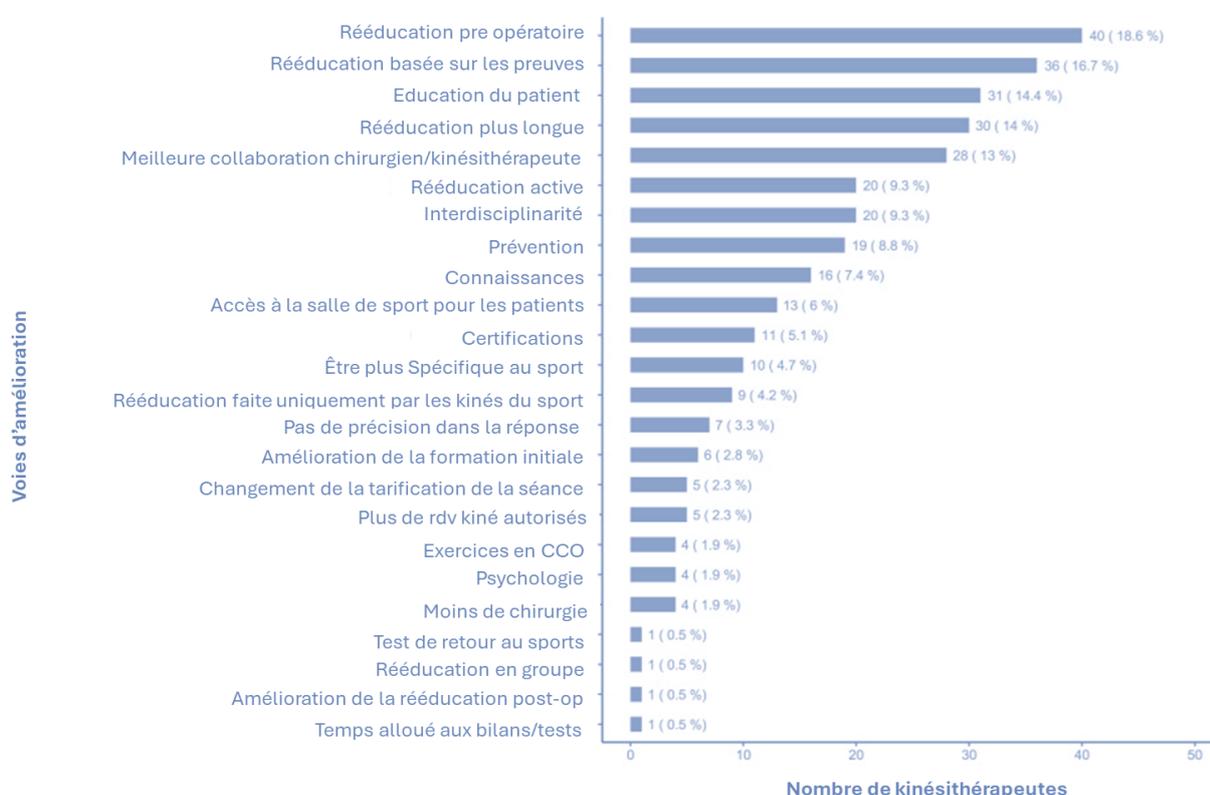


Figure 16 : Critères permettant d'améliorer la rééducation après une lésion du ligament croisé antérieur selon 247 physiothérapeutes suisses. Les critères d'amélioration sont présentés en fonction du nombre de répondants par critère. (adapté de Pulver et al., 2024)

Une autre étude s'intéressant aux pratiques cliniques auprès de physiothérapeute Suisses démontre que la mise en place de cette phase de rééducation ne s'effectue que chez un nombre réduit de praticiens. Une majorité de praticiens (41 %) estiment que seulement 1 à 20 % de leurs patients ont accès à cette phase. L'objectif majeur

Chapitre 2

est pour 82 % d'entre eux la restauration de la force quadricipitale. Ce qui est le plus remarquable ici est que le premier facteur d'amélioration du parcours de soin en rééducation post lésionnelle du LCA est la rééducation pre opératoire pour 18,6 % des praticiens puis le choix de critères pour l'évolution dans le parcours de soin pour 16,7 % d'entre eux (Pulver et al., 2024 ; [Figure 16](#)). Les limitations à la mise en place de cette phase sont en premier lieu le nombre de prescriptions et le temps disponible (cité par 35,5 % des praticiens interrogés ; Pulver et al., 2024).

D'autre part, nous avons aussi montré que les patients sont demandeurs de ce type de rééducation et y voient un fort intérêt (Frouin et al., 2024). Lors de cette étude nous avons interrogé par questionnaire (n=25) puis par entretiens semi-directifs (n=9/25) des patients en attente d'une chirurgie du LCA. Les plus grandes attentes vis-à-vis de cette phase pre opératoire de la part des patients se situaient dans la prévention de la re rupture du LCA (96%) et dans l'augmentation de la capacité à réaliser les activités de la vie quotidienne (92%). Lors des entretiens semi-directifs les patients confient que la période pre opératoire était une période pleine de défis accompagnée d'incertitude de peur d'une blessure secondaire à la suite de la rupture du LCA. Ils décrivent que cette phase pre opératoire permet de développer la confiance et la motivation en rééducation. Ils témoignent que cette phase permettrait d'accélérer la récupération et le développement du volume musculaire (88%) et de la force maximale (84%) ([Figure 17](#)).

	<div style="display: flex; justify-content: space-around; border: 1px solid black; padding: 2px;"> 0-20% 21-40% 41-60% 61-80% 81-100% </div>					
	Before surgery	At the time of surgery	After the surgery			
			Immediately (first week)	First to third months	Third to sixth months	> Sixth months
Knee pain	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Knee joint effusion / swelling	32%	32%	28%	32%	32%	28%
Muscle volume (size)	88%	76%	72%	84%	84%	64%
Knee joint range of motion	76%	68%	68%	72%	72%	60%
Muscle force (strength)	84%	68%	68%	72%	72%	60%
Knee joint stability	60%	60%	56%	60%	56%	44%
Self-confidence on recovery	68%	60%	56%	60%	56%	44%
Drug consumption (analgesics, anti-inflammatories, etc)	8%	8%	8%	8%	8%	8%

Figure 17 : Effets positifs anticipés de la rééducation pre opératoire du point de vue des patients. L'influence de la rééducation pre opératoire est exprimée en pourcentage pour un ensemble de paramètres selon les patients interrogés avant la chirurgie, au moment de la chirurgie. Puis elles sont données immédiatement après la chirurgie, dans les 3 premiers mois suivant la chirurgie et à plus long terme > 6 mois post chirurgie.

Partie 3 - Influence de la rééducation pre opératoire sur les paramètres mesurés

Il est décrit que la faiblesse quadricipitale pre opératoire est un facteur prédictif de l'évolution du patient en post opératoire. Une moins bonne récupération post opératoire, et ce jusqu'à deux ans post chirurgie, est constatée pour des patients ayant des faibles niveaux de force pre opératoires (Eitzen et al., 2009 ; Hartigan et al., 2009). De plus il est mis en évidence que le niveau force maximale quadricipitale pre opératoire est directement corrélée avec un niveau force maximale quadricipitale post opératoire plus important (Kitaguchi et al., 2020). Cette phase semble donc à ne pas négliger dans le parcours de soin du patient atteint d'une rupture du LCA. De façon subséquente, la force maximale post opératoire quadricipitale est également associée avec des complications à long terme (risque de re rupture du LCA, arthrose,

Chapitre 2

douleur, faible qualité de vie etc. ; Palmieri et al., 2015). Ce paramètre semble donc essentiel à développer lors de la phase pré opératoire afin que le patient puisse se présenter dans les meilleures dispositions au moment de l'opération.

Sous partie 1 – La mise en place de la rééducation pré opératoire

La rééducation pré opératoire est admise à ce jour, les revues de littérature s'y intéressant ne regroupent qu'un faible nombre d'étude (e.g Carter et al., 2020 ; 9 essais contrôlé randomisés). La phase pré opératoire a un impact positif auprès des patients lorsqu'elle est composée de rééducation active (entraînement contre résistance, entraînement aux sauts et entraînement proprioceptif) comparativement au patients n'ayant pas de rééducation (pour revue Alshewaiier et al., 2017). Les deux revues systématiques cités précédemment témoignent d'un niveau de preuve faible concernant l'effet de la rééducation pré opératoire sur la force musculaire maximale du *quadriceps* mais également sur d'autres critères tels que la qualité de vie. Une revue systématique récente s'est intéressée spécifiquement à l'influence de la rééducation pré opératoire sur la force maximale quadricipitale (Potts et al., 2022 ; [Tableau 2](#)).

Les durées de prise en charge des patients avant l'opération sont très variables d'une étude à une autre. La durée de la phase peut varier de 5 semaines à plusieurs mois (Eitzen et al., 2010 ; Hartigan et al., 2009). Diverses méthodes d'entraînement et/ou de rééducation sont utilisées afin d'optimiser les qualités musculaires, proprioceptives etc. du patient, d'augmenter son amplitude articulaire et de diminuer les symptômes inhérents à la lésion. Elles comparent le plus souvent un groupe interventionnel (entraînement) à un groupe contrôle (pas de rééducation pré opératoire ; Failla et al., 2016) mais peuvent aussi opposer 2 méthodes d'entraînements différentes (eg., utilisation d'exercices en chaîne cinétique ouverte vs utilisations d'exercices en chaîne cinétique fermée ; Tagesson 2008).

- 1 **Tableau 2 : Etudes investiguant la capacité de production de force maximale du Q en critère principal dans un contexte de**
 2 **rééducation pre opératoire (Potts et al., 2022).**

Auteur (année)	Patients	Intervention	Control	Temps de mesure	Mesures	Résultats
Aggarwal et Adhya 2016	N=20 Groupe A n=10 Groupe B n=10	Groupe B 4 semaines de prehab 6 jours/semaine 3*10 reps à 60 et 120°/sec sur un dynamomètre isocinétique (biodes)	Groupe A Rééducation usuelle seulement	Baseline T0 (avant prehab) T1 après 4 semaines de prehab	Pic de couple, travail et puissance Q et IJ EVA (douleur) Score de Cincinnati Score de Lysholm	Les 2 groupes augmentent de manière significative leur pic torque après les 30 premiers jours (p<0.05) La comparaison entre les deux groupes montre un pic de couple, un travail supérieur dans le groupe B (p<0.05) Aucune différence significative n'est retrouvée pour les autres critères de mesure
Eitzen et al., 2010	N=100	5 semaines de prehab 2-4 séances par semaine 3-4 séries de 6-8 reps Presse à cuisse Leg extension Plyométrie Exercice de proprioception	Pas de groupe contrôle	T0 avant la prehab T1 après la prehab	5 reps Q et IJ à 60°/sec Single leg hop test Crossover hop test KOS-ADLS EVA (évaluation de l'état du genou)	Augmentation significative du pic de couple Q et IJ (p<0.05) Augmentation du pic de couple des Q de 10% en moyenne. Aucune différence significative entre pre et post test pour les autres critères de mesure.
Hartigan et al., 2009	N=19 Groupe perturbation	Groupe perturbation	Groupe force	T0 avant intervention T1 6 mois post op	MVIC Q et IJ avec surimposition	Augmentation significative de la force en post op par rapport au pre op (p=0.002) mais pas de

	N=9 Groupe Force N=10	10 séances de prehab sur 3.7 semaines moyenne Focus membre inférieur en entraînement contre résistance (=groupe force) Exercices de saut et d'équilibre sur des surfaces dures et molles.	10 séances de prehab sur 3.1 semaines en moyenne 3*6 reps à 75% 1RM sur (step down et lateral step) Une série de 10 reps en concentrique et excentrique pour le Q à 60/90/120/150/180 /180/150/120/90 Et 60°/s		Analyse de la marche par capture du mouvement	comparaisons intergroupes disponibles Pas de différence significative pour la marche entre les deux groupes
Keays et al., 2001	N=31	6-8 semaines de prehab Programme à domicile ciblant l'entraînement contre résistance du <i>quadriceps</i> , la stabilité dynamique du genou, ainsi que la co-contraction IJ et Q.	Pas de groupe contrôle	Baseline avant la prehab T0 une semaine avant chirurgie T1 6 mois post opératoire	MVC Q et IJ à 60° et 120°/s au dynamomètre isocinétique	Comparativement au côté sain Une différence significative est relevée (p<0.001) Pas de différence sur la jambe atteinte à 120°/s avant et après opération (déficit moyen 5.2%) suggérant une augmentation pre et un maintien post opératoire
Keays et al., 2006	N=36 Groupe T n=12 Groupe NT n=12 Groupe C n=12	6 semaines prehab Groupe T 7 exercices membre inférieur ciblant la force,	Groupe NT : pas de traitement Groupe C : contrôle sans traitement et sans lésion LCA	T0 avant prehab T1 après les 6 semaines de prehab	MVC Q à 60 et 120°/s (5 essais)	Après 6 semaines le groupe T montre une différence à 60 et 120°/s pour la MVC du Q comparativement au groupe NT

			l'équilibre, l'étirement du Q, IJ, Triceps sural au poids du corps 30-50 reps par jour en 30 min					(p<0.001) et aucune différence par rapport au groupe contrôle
						Laxité ligamentaire (KT1000)		Diminution significative de la translation tibiale antérieure pour le groupe T
						Equilibre (« Swaymeter »)		Amélioré dans le groupe T et empiré dans le groupe NT.
						Tests d'agilité		Amélioration significative seulement pour le groupe T
						Questionnaire subjectif sur le ressenti par rapport au genou		Amélioration seulement pour le groupe T
Kim et al., 2015	N=80 Groupe PEG n=40 Groupe NPEG n=40	Groupe PEG 4 semaines de prehab 3*/semaine Exercices supervisés dans un centre médical 20 min d'ergomètre et de travail de l'amplitude articulaire	Groupe NPEG Prise en charge post opératoire conventionnelle (12 semaines)	Avant la prehab T0 après la prehab (4 semaines avant la chirurgie) T1 12 semaines post op		Pic de couple 60° et 180°/s du Q (4 essais)		Le groupe PEG montre une augmentation plus importante du pic de couple du Q comparativement au groupe NPEG (P=0.033)
						Single hop test		Augmentation significative pour le groupe NPEG

		6 exercices d'entraînement contre résistance 2*10 reps 6*30 secondes d'exercices d'équilibre Prise en charge post opératoire conventionnelle (12 semaines)				
Logerstedt et al., 2013	N=83	5 semaines de prehab (maximum) 10 séances 2-3 fois semaine Programme de renforcement basé sur Eitzen et al., 2010. Ajout de NMES pour les patients ayant plus de 20% de déficits Q	Pas de groupe contrôle	Avant la prehab T0 (baseline) après les 5 semaines d'entraînement T1 24 semaines en post opératoire	MVIC Q avec surimposition et maintient durant 3-5 secondes IKDC2000	Pas de différence entre le preop et post op pour la MVC Q. Scores plus importants comparativement au score pre opératoire et post opératoire.
Shaarani et al., 2013	N=20 Groupe Exercice N=14 Groupe Contrôle N=9	Groupe Exercice 6 semaines de prehab 4 séances par semaine 2 à domicile et 2 supervisées	Groupe contrôle n'avait pas de programme spécifique mais n'était pas encouragé à ne rien faire.	T0 avant la prehab T1 après la prehab(6 semaines) T2 12 semaines post opératoire	Pic de couple moyen Q Travail moyen par répétition à 90° /s	Augmentation du pic de couple moyen et du travail moyen par répétition en pre op. Aucune différence entre les deux groupes pour chaque point de mesure.

ciblant l'équilibre et l'entraînement contre résistance des Q et IJ.
3*12 répétitions avec une augmentation de charge de 10% par semaine.

Single leg hop test avec une attelle articulée

Augmentation significative dans le groupe **Exercice** (p=0.001) en pre opératoire.

Score plus important en post opératoire du groupe **Exercice** comparativement au groupe **Contrôle**

CSA musculaire (IRM)

Augmentation significative pour le groupe **Exercice** en pré op (P=0.001) et différence intergroupe (P=0.0024)

Biopsie musculaire du VL

IGF-1 (facteur de croissance musculaire) augmente de manière importante dans le groupe **Exercice**

Score de Cincinnati modifié

Evolution significative dans le groupe **Exercice** en pre et post op (0.004) et significativeemnt différent du groupe contrôle en post op (p=0.001)

Retour au sport (date)

Pas de différence entre les deux groupes

Tagesson et al., 2008	et	N=42	Groupe OKC	Groupe CKC	T0 avant la prehab	MVC Q et IJ à 60°/s	Après le programme le groupe OKC avait une MVC du Q significativement plus importante que le groupe CKC (p=0.009)
		n=22	16 semaines 3*/semaine	16 semaines 3*/semaine	T1 après la prehab (16 semaines)	(3 essais)	
		Groupe CKC	Ensemble d'exercices	Ensemble d'exercices d'entraînement contre résistance.			Pas de différence entre les groupes
		N=20					

d'entraînement contre résistance. Seul le groupe OKC réalisait des extensions de hanche et extensions de genou en CCO.	Seul le groupe CKC réalisait des squats unilatéraux guidés à la « smith machine »	Translation tibiale antérieure (CA-4000) Hauteur de saut et single hop test	Pas de différence entre les groupes
---	--	--	-------------------------------------

Sous partie 2 - Influence sur la production de force maximale

L'intérêt pour cette mesure est présente dès la phase opératoire. Potts et al., 2022 démontrent l'influence d'un programme d'entraînement pre opératoire sur l'augmentation de force quadricipitale.

Chacune des études présentées ici utilise un dynamomètre isocinétique afin de rapporter les mesures relatives à la force (Tableau 3). Deux équipes utilisent une mesure isométrique de force maximale avec surimposition électrique visant à être certain de mesurer la capacité de production de force maximale du patient (Logerstedt et al., 2013 ; Hartigan et al., 2009). Une augmentation de la MVIC (contraction maximale volontaire isométrique) du *quadriceps* est soulignée dans l'étude de l'équipe d'Hartigan (2009 ; $p=0.002$). Aucune différence entre la MVIC pre (juste avant la chirurgie) et post opératoire n'est souligné dans l'investigation de Logerstedt et al., (2013) indiquant un retour en post opératoire à la capacité de production de force mesurée pre opératoire. Aggarwal et Addhya rapportent une augmentation du pic de couple du *quadriceps* dans les deux groupes (interventionnel et conventionnel). Après 5 semaines d'entraînement pre opératoire, une augmentation relative de 8 à 11% est décrite par Eitzen et al., (2010) pour les deux groupes musculaires. Une différence significative est soulignée par Kim et al., (2015) en post opératoire, lorsque le groupe pre opératoire est comparé au groupe sans prise en charge pre opératoire, pour le pic de couple du Q. Une étude comparant un groupe pre opératoire (i.e., Entraînement orienté vers le gain en force du Q et des IJ) à un groupe contrôle (i.e., Pas de programme précis mais pas d'interdiction d'activité) décèle une augmentation significative du pic de couple du Q et des IJ mais ne souligne pas de différence entre les groupes après les 6 semaines pre opératoire et en post opératoire à 12 semaines (Shaarani et al., 2013).

Après 16 semaines d'entraînement contre résistance, le groupe chaîne cinétique ouverte exprime une augmentation significative du pic de couple en comparatif au groupe chaîne cinétique fermée ($p<0.001$). Cela semble logique, s'il est pris en considération, que seul ce groupe s'est entraîné dans la modalité du test réalisé par

Chapitre 2

dynamométrie isocinétique, qui s'effectue en chaîne cinétique ouverte (Tagesson et al., 2008). Enfin, un entraînement réalisé entièrement à domicile durant 6 à 8 semaines permettrait également de diminuer le déficit de production de force du Q (5,2% en moyenne à 120°/s ; Keays et al., 2006). Cette augmentation de force quadricipitale est associée en rééducation avec une augmentation de contrôle moteur du genou et de capacité de saut.

Sous partie 3 - Influence sur les Volumes musculaires

Une seule étude s'intéresse au volume musculaire en pré opératoire. L'équipe de Shaarani et collaborateurs (2013) a mesuré la CSA des muscles *quadriceps* et *ischio-jambiers* en pré opératoire (début et fin du programme d'entraînement de 6 semaines) et à 12 semaines post chirurgie. Comparativement à la mesure initiale, une augmentation significative de la CSA du *quadriceps* est retrouvée après les 6 semaines d'entraînement contre résistance (aucun changement dans le groupe contrôle). La différence de CSA entre le groupe contrôle et le groupe exercices qui était significative avant l'intervention ($p=0.002$; figure 18) ne l'est plus après l'opération. L'augmentation de volume musculaire induite par l'entraînement a donc diminué significativement à 12 semaines post geste chirurgical. Aucune différence entre les groupes n'est mentionnée pour la CSA des muscles ischio-jambiers.

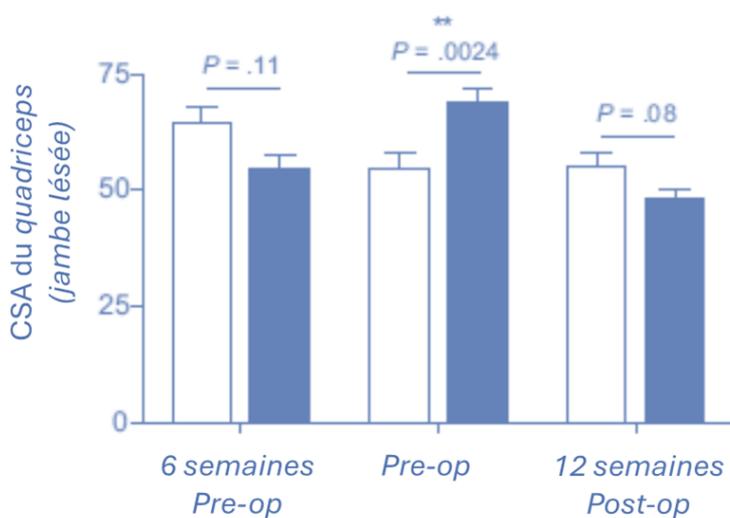


Figure 18 : Variation de CSA du quadriceps. Au cours d'un entraînement pré opératoire et à 12 semaines post opératoire (Shaarani et al., 2013).

Sous partie 4 - Influence sur la capacité de saut

Le saut horizontal est le « gold standard » de la mesure de capacité de saut lors de la prise en charge des patients atteints d'une rupture du LCA. L'évaluation du saut vertical ne s'étant développé que lors des 5 dernières années, pour ce type de prise en charge, les études évoquées ici ne réalisent qu'une mesure horizontale de la performance en saut.

A l'image du bénéfice que la rééducation pre opératoire apporte au patient blessé, elle influe également sur la performance de saut horizontal. Ainsi, il est rapporté une augmentation comprise entre 5.5%-9.5% de la longueur atteinte au single hop test et au triple hop test. De la même manière, Keays et al., (2001) rapportent une augmentation de 6.3% au single hop test après une phase de rééducation pre opératoire. Le groupe réalisant un programme d'entraînement en force et en stabilité lors de la phase pre opératoire (Groupe PEG) augmente de manière significative sa performance au single hop test comparativement au groupe contrôle n'ayant réalisé que la phase post opératoire (Kim et al., 2015).

La seule étude s'étant intéressée à la hauteur de saut est celle de Tagesson en 2008. Aucune différence n'est cependant retrouvée entre le groupe chaîne cinétique ouverte et le groupe chaîne cinétique fermée. Nous avons avec la force résumé l'influence de la rééducation pre opératoire sur ces paramètres clé du retour à la participation, l'activité sportive et à la performance.

Sous partie 5 - Qualité de vie et mesures auto-rapportées par le patient

Plusieurs études se sont intéressées à la fonction du genou auto rapportée par le patient lors de la phase pre opératoire (Shaarani et al., 2013 ; Keays et al., 2006 ; Grindem et al., 2015 ; Failla et al., 2016 ; Aggarwal et Adhya., 2016 ; Eitzen et al., 2010 Fitzgerald et al., 2000 ; Logerstedt et al., 2013 ; Tagesson et al., 2008). Concernant Failla et al., (2016) le score au questionnaire KOOS est plus important pour le groupe ayant eu accès à la rééducation pre opératoire (84 +/- 25 points contre 71 +/- 32 points pour le groupe sans rééducation pre opératoire ; $p < 0.001$). Grindem et al., (2015) confirment cette observation en mettant en évidence une différence

Chapitre 2

importante de 17,7 sur la sous échelle KOOS-sport par exemple. Keays et al., (2006) utilisent le questionnaire Noyes and Trust et observent une différence significative sur la fonction du genou rapportée par le patient du groupe prise en charge pre opératoire en opposition au groupe sans prise en charge ($p < 0.001$). Le score de Cincinnati, utilisé également pour évaluer la perception de la fonction du genou par le patient, obtient un résultat plus important pour le groupe pre opératoire en pre (6 semaines) et en post opératoire (12 semaines) ($p < 0.001$). La fonction du genou est, dans toutes ces études, améliorée dans les groupes étant pris en charge en pre opératoire comparativement aux groupes n'ayant pas eu de prise en charge. La douleur est également améliorée, comme en témoignent Aggarwal et Adhya (2016) et Eitzen et al., (2010). L'amélioration de la fonction du genou ainsi que la diminution des douleurs peuvent permettre la mise en place d'une progression dans les exercices d'entraînement contre résistance, entre autres, afin de permettre une progression en force.

Sous partie 6 - Contenu et suivi des programmes de rééducation pre opératoire

Il est complexe, en regard des études mentionnées (Tableau 3) de préciser un contenu de programme pre opératoire consensuel et optimal, afin de développer la force maximale des muscles de la cuisse en pre opératoire.

En effet lorsque nous nous attardons sur les variables utilisées afin de générer les adaptations en force maximale par ces études (Tableau 3) il n'existe qu'e 2 études ayant utilisé le même programme d'entraînement (Eitzen et al., 2010 ; Logerstedt et al., 2013). Lorsque des méthodes similaires sont utilisées, comme l'entraînement à l'ergomètre isocinétique elles ne sont pas non plus utilisées avec des conditions de réalisation (i.e. vitesse) similaires (Aggarwal et Adhya., 2016 ; Hartigan et al., 2009). Les autres études utilisent des exercices d'entraînements contre résistance mono ou polyarticulaires sans restriction d'amplitude articulaire, permettant ainsi au patient d'utiliser le maximum d'amplitude articulaire permise par le genou afin de réaliser l'entraînement contre résistance. Une étude avait mis en place une restriction de

mouvement au moyen d'une attelle articulée à -20 degrés d'extension de genou (Shaarani et al., 2013).

Pour aller plus loin le nombre de séries et de répétitions réalisées ne sont absolument pas homogènes entre les études. Lorsque certaines rapportent 3 séries de 10 répétitions (Aggarwal et Adhya., 2016 ; Tagesson et al., 2008) d'autres rapportent des chiffres allant de 2 à 3 séries de 5 à 12 répétitions (Eitzen et al., 2010 ; Hartigan et al., 2009 ; Kim et al., 2015 ; Logerstedt et al., 2013 ; Shaarani et al., 2013 ; Tagesson et al., 2008). La charge relative utilisée varie quant à elle de 50 à 80% de la 1RM. La fréquence et le nombre de séance est également différent entre les études elles s'étendent respectivement de 1 à 2 séances quotidiennes durant 6 semaines à 1-semaine comprenant 34 sessions en moyenne (Hartigan et al., 2009 ; Tagesson et al., 2008).

Enfin, les critères de mesures sont également hautement variables d'une étude à l'autre (Tableau 3) et ne sont pas toujours tous suivi du début de la phase pre opératoire à la fin de la phase post opératoire. Shaarani et al., 2013 effectuent un suivi pre opératoire puis à 12 semaines post opératoire et couvrent ainsi la plus longue période de suivi retrouvé au sein de ces études. Malheureusement seul le questionnaire de qualité de vie est conservé en post opératoire aucune variable mécanique n'est mesurée. Il serait intéressant de suivre l'ensemble des paramètres au long de la rééducation afin de mettre en évidence ou non des différences de récupération entre les patients ayant accès à la rééducation pre opératoire et ceux n'y ayant pas accès par exemple.

Le faible nombre d'études investiguant la phase pre opératoire et la grande variabilité entre les programmes proposés, les critères mesurés et les instants de mesure de ces critères au long de la rééducation ne permettent pas à ce jour de dégager des pratiques optimales pour les kinésithérapeutes. L'entraînement contre résistance permet des adaptations en volume et force maximale musculaire pouvant être maximisés à l'aide de variables précises de l'entraînement contre résistance. Une énonciation de contenus précis, de variables de l'entraînement et de critères précis

Chapitre 2

de progression dans l'entraînement contre résistance pré opératoire seraient nécessaire afin de préciser les contenus de cette phase et permettre de les appliquer en pratique clinique.

1 **Tableau 3 : Description des exercices et des paramètres de l'entraînement utilisés pour les programmes pre opératoire. Adapté**
 2 **de Potts et al., (2022).**

3

Auteurs (année)	Type d'exercice	Séries	Répétitions	Fréquence	Durée (Semaines)	Nombre de séances	de Charge	Progression
Aggarwal et Addhya (2016)	Isotonique Leg extension (isocinétique)	NA 3 (60 et 120°/s)	NA 10	6*/sem	4 semaines	24 séances	NA	NA
Eitzen et al., (2010)	Presse à cuisse Leg extension Leg curl	3-4	6-8	2-4 séances par semaine (75 min d'exercice au total)	5 semaines	10	A l'échec sur les deux dernières séries	Progression avec 2 répétitions en plus par série
Hartigan et al., (2009)	Isotonique et Isocinétique Presse à cuisse Leg extension Step up sur une marche de 10cm Leg extension et leg curl sur machine	3	6 + 10 Contractions isocinétiques sur un spectre de vitesse de 60/90/120/150/180/150/120/90	2-3 fois par semaine	3 semaines en moyenne	NA	75%1RM Calculé par rapport à la 1RM sur des mouvement de leg press et leg extension de la jambe atteinte	NA

	isocinétique (ROM : 10-110°)		Et 60°/s					
Keays et al., (2001)	Programme à domicile ciblant le <i>quadriceps</i> et éduquant le patient à la stabilité et à la co-contraction IJ et Q	NA	NA	NA	6-8 semaines	NA	NA	NA
Keays et al., (2006)	Programme constitué de 7 exercices unilatéraux ciblant la force du Q des IJ et des mollets.	1 pour chaque exercice	30-50 reps de chaque exercice	1 séance par jour (2 ^{ème} conseillée)	6 semaines	30-60 séances	Poids du corps ou ajout de 1-2kg pour les exercices d'extension de genou	Passage de la position allongée à la position assise pour l'exercice de leg extension avec ajout de 1-2kg
Kim et al., (2015)	Leg extension, Extension jambe tendue, flexion de genou, presse à cuisse et demi squat,	2 séries pour chaque exercice	10 reps	3*/semaine	4 semaines	12 séances	NA	NA

	exercice d'équilibre							
Logerstedt et al., (2013)	Presse à cuisse, leg curl, leg extension, demie fente avant, Flexion plantaire, abduction de hanche, flexion de hanche	Identique à Eitzen et al ;, 2010	Identique à Eitzen et al ;, 2010	2-3*/Semaine	5 semaines	10 séances	En %1RM mais niveau d'intensité non communiqué	Surcharge progressive
Shaarani et al., (2013)	Presse à cuisse, leg curl, leg extension, demie fente avant, squat 45°, flexion plantaire	3	12	4*/semaine	6 semaines	24	%1RM mais niveau d'intensité de départ non communiqué	10-15% d'augmentation par semaine
Tagesson et al., (2008)	Leg extension unilatéral, squat unilatéral	3	10	3*/semaine	16 semaines	34 en moyenne	50-60%1RM de la jambe saine	Surcharge progressive Pour atteindre 70%-80% de la 1RM

C

hapitre 3 :

L'entraînement contre résistance : une réponse à l'atrophie et à la perte de force maximale.

Partie 1 - Le système neuromusculaire

Sous partie 1 - La structure musculaire et tendineuse

1-1-La structure musculaire

Le muscle est l'organe qui permet aux Hommes de générer de la force ce qui lui donne un rôle crucial dans la production du mouvement. Une des particularités remarquables du muscle réside dans son organisation (figure 19). Tout d'abord, il est subdivisé en faisceaux musculaires (regroupement de fibres) enveloppé par un tissu conjonctif : l'épimysium. Les fibres musculaires (cellules musculaires) sont, quant à elles, entourées par le périmysium. La fibre musculaire est principalement constituée de myofibrilles. Lorsque nous observons ces dernières au microscope, elles laissent apparaître un aspect strié. Ces stries sont dues à l'arrangement des protéines musculaires en sarcomère (Barret, 1962).

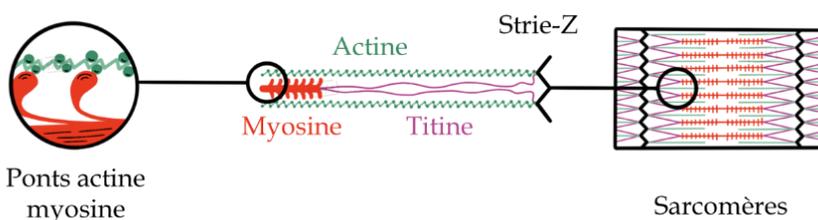
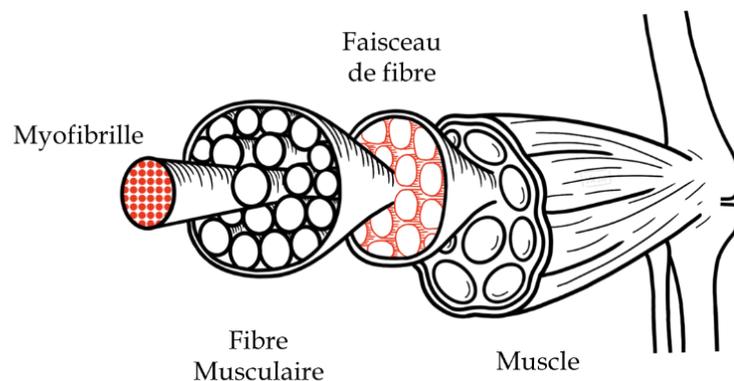


Figure 19: Structure musculaire. Le muscle est un ensemble de faisceaux musculaires enveloppé par un tissu conjonctif : l'épimysium. Les fibres musculaires sont entourées par le périmysium. La fibre musculaire est constituée de myofibrilles. Observées au microscope ces dernières laissent apparaître un aspect strié. Ces stries sont dues à l'arrangement des protéines musculaires en sarcomère. Adapté de Uchida et Delp (2021) (dessin original S.Frouin)

Une multitude d'architectures existent au sein des muscles striés squelettiques. Les chefs musculaires composant les ischio-jambiers en sont un exemple (Woodley et Mercer., 2005). Le *biceps femoris* (longue et courte portion) est un muscle bipenné (i.e. les fibres musculaires s'attachent de part et d'autre du tendon), le *semitendinosus* est un muscle dont les fibres sont orientées parallèlement à sa ligne d'action, selon une organisation fusiforme. Le *semimembranosus*, enfin, est un muscle penné. Ses fibres s'insèrent sur des aponévroses placées en séries de chaque tendon. Les volumes sont aussi différents d'un muscle à l'autre, allant de 100 mL à 830 mL chez de jeunes individus sains (Handsfield et al., 2014). La surface de section transversale physiologique (PCSA), est très variable pour les muscles du membre inférieur (Lieber et Fridèn., 2000). Si nous comparons les muscles de la cuisse (Q et IJ considérés ici), leur PCSA s'étend d'environ 5 cm² pour le muscle *semitendinosus* à environ 30 cm² pour le *vastus lateralis* (Tableau 4). La longueur des fibres obtenues par mesures échographiques (Lieber et Fridèn., 2000) est également très variable entre ces muscles. Le muscle ST possède des fibres longues de 16 cm environ contre 6 cm pour le SM (Tableau 4). Les angles de pennation à longueur optimale varient, quant à eux, de 4 à 24 degrés respectivement pour le *vastus intermedius* et le *vastus medialis* pour ces mêmes muscles de la cuisse (Tableau 4 ; Lieber et Fridèn., 2000 ; Ward et al., 2009 ; Handsfield 2014).

Tableau 4 : Architecture musculaire des muscles de la cuisse et force maximale isométrique à longueur optimale. (adapté de Uchida et Delp., 2021)

Muscle	PCSA (cm ²)	Volume (mL)	Longueur optimale des fibres musculaire (cm)	Pennation à la longueur optimale (°)	Force maximale isométrique du muscle (N)
<i>BFlh</i>	13	206	10	10	1313
<i>BFsh</i>	12	100	11	15	557
<i>Semitendinosus</i>	5	186	19	15	591
<i>Semimembranosus</i>	17	245	7	14	2201
<i>Vastus lateralis</i>	30	830	10	15	5149
<i>Vastus medialis</i>	22	432	10	24	2748
<i>Vastus intermedius</i>	23	270	10	4	1697
<i>Rectus femoris</i>	12	269	8	12	2192

1-2-La structure tendineuse

Le tendon permet la transmission de force générée par un muscle au segment osseux. Cette structure viscoélastique est capable de stocker puis restituer de l'énergie lors de tâches quotidiennes comme la marche (Zajac., 1989). Le tendon possède une structure organisée hiérarchiquement, tout comme le muscle. Il est composé de molécules de collagène qui constituent les fibrilles de collagène. Ces fibrilles tendineuses sont organisées en faisceaux de fibres primaires. Ces faisceaux primaires constituent ensuite les faisceaux de fibres secondaires et, de la même manière, les faisceaux secondaires constituent les faisceaux tertiaires. Ce sont ces derniers qui composent l'unité tendineuse macroscopique (Wang., 2000 ; **Figure 20**). Les fibres sont entourées par l'endoténon qui contient les vaisseaux sanguins et lymphatiques ainsi que les nerfs (Kastelic et al., 1978). Les fascicules des fibres sont contenus par l'épiténon qui contient les mêmes éléments (Kastelic et al., 1978). Ce

dernier constitue avec le paratendon (3^{ème} enveloppe conjonctive) le péritendon dont le rôle est de réduire les frottements avec le tissu adjacent.

La jonction myo-tendineuse a pour rôle le transfert de la force produite par le muscle au tendon (Benjamin et Ralphs., 1996). Cette force transmise permet la modification de la structure tendineuse et de ses caractéristiques. Les fibrilles de collagène du tissu tendineux y sont insérées dans des espaces profonds renfermés par des myofibroblastes permettant aux forces de traction générées par les protéines contractiles du tissu musculaire d'être transmise au tendon (Tidball et al., 1984). La création de perturbations mécaniques telles que les forces de tractions musculaires sont souvent liées à un mouvement ou un déplacement de charge externe dans la vie courante.

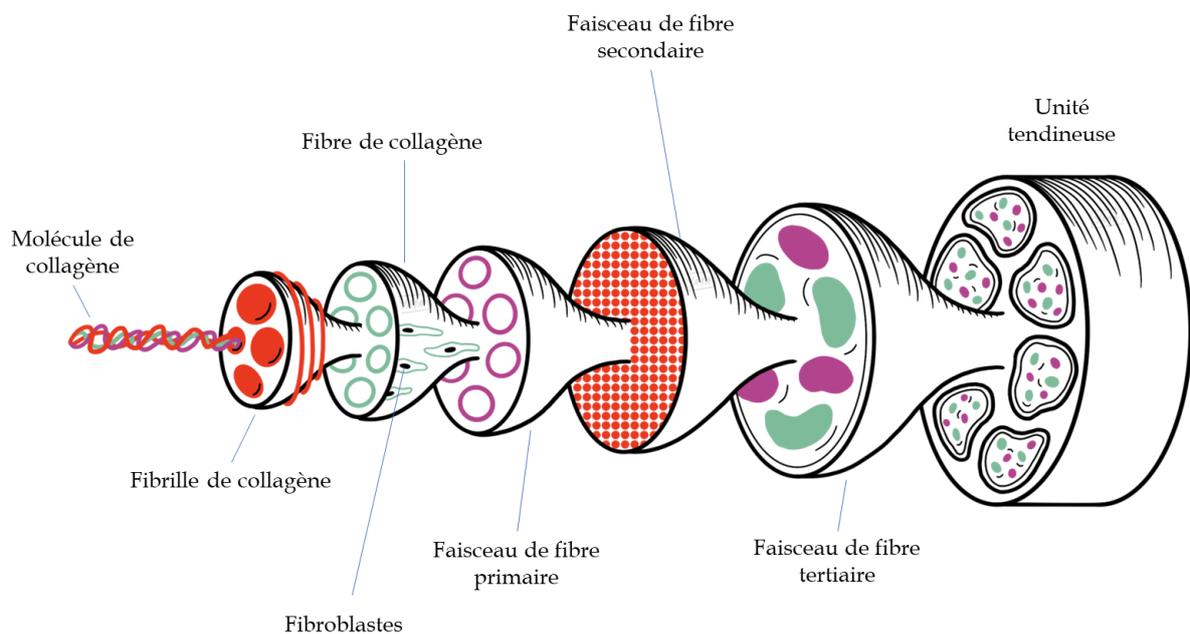


Figure 20 : Vision schématique de l'organisation multi-niveaux du tendon. adaptée de Wang., 2006 ; dessin original S.Frouin).

Partie 2 - Les mécanismes hypertrophiques musculaires et tendineux

Sous partie 1 - La tension mécanique

Le muscle est très réceptif à la modification de stimulus mécanique qui peut lui être appliqué. Cette affirmation peut s'appuyer sur des constatations présentes dans la littérature. En effet, lorsque le muscle est immobilisé, il perd progressivement son volume et sa fonction de production de force. Kilroe et al., (2020) mettent en évidence une diminution de volume du *quadriceps* de 7% (mesuré par IRM) et de 4% pour les IJ après 1 semaine d'immobilisation. Pour le membre inférieur non immobilisé, aucune variation n'est observée. Ensuite, des études sur les animaux ont augmenté artificiellement la charge mécanique sur le soléaire de rats en sectionnant les muscles gastrocnémiens synergistes. En réponse à cette section, le soléaire a augmenté sa masse de 40% en 6 jours (Goldberg et al., 1975). Enfin, il a été démontré à maintes reprises que l'augmentation de la charge mécanique par l'entraînement contre résistance permettait l'hypertrophie musculaire (augmentation de volume musculaire ; pour revue Damas et al., 2018). Ces preuves indirectes permettent d'établir un lien entre la tension mécanique appliquée au muscle et son développement en volume.

Cette surcharge mécanique appliquée au muscle crée une perturbation mécanique qui est transmise le long et de manière transversale aux fibres musculaires. La réponse qui est associée est accomplie par un phénomène qui est nommé la mécano-transduction. La force appliquée au muscle est ainsi convertie en réponses moléculaires intervenant dans les voies anaboliques intracellulaires (de Deynne et al., 2001 ; **Figure 21**). Les intégrines qui fixent le cytosquelette cellulaire à la matrice extracellulaire sont retrouvées en premier lieu lors de la mécano-transduction. Ces protéines détectent le stress mécanique et transduisent le stimulus mécanique en signal chimique à l'intérieur des fibres musculaires. Lorsque les forces appliquées au muscle sont transduites en signal moléculaire, une cascade enzymatique se produit et entraîne une synthèse de protéine musculaire. La voie mTOR (i.e. mammalian TOR)

est la principale voie anabolique connue. Une fois active, cette enzyme permet d'activer des facteurs anaboliques comme p70 S6K qui jouent un rôle important dans l'initiation de la traduction de l'ARN messager, par exemple. Certaines voies de signalisation, comme les voies calciques (e.g. calcineurine), la voie de la protéine kinase (MAPK), la voie de la phosphatidylinositol 3-kinase (PI3K), interviennent directement dans la transcription de l'ADN en ARN messager puis la synthèse de protéines musculaires (Schoenfeld et al., 2013). Ce type d'hypertrophie menant à l'augmentation de volume musculaire par augmentation d'éléments contractiles se nomme l'hypertrophie myofibrillaire (Murach et al., 2018). Durant ce type d'hypertrophie, les cellules satellites peuvent fusionner et partager leur noyau aux cellules musculaires existantes permettant l'augmentation de la production de protéines musculaires (Kenney et al., 2019).

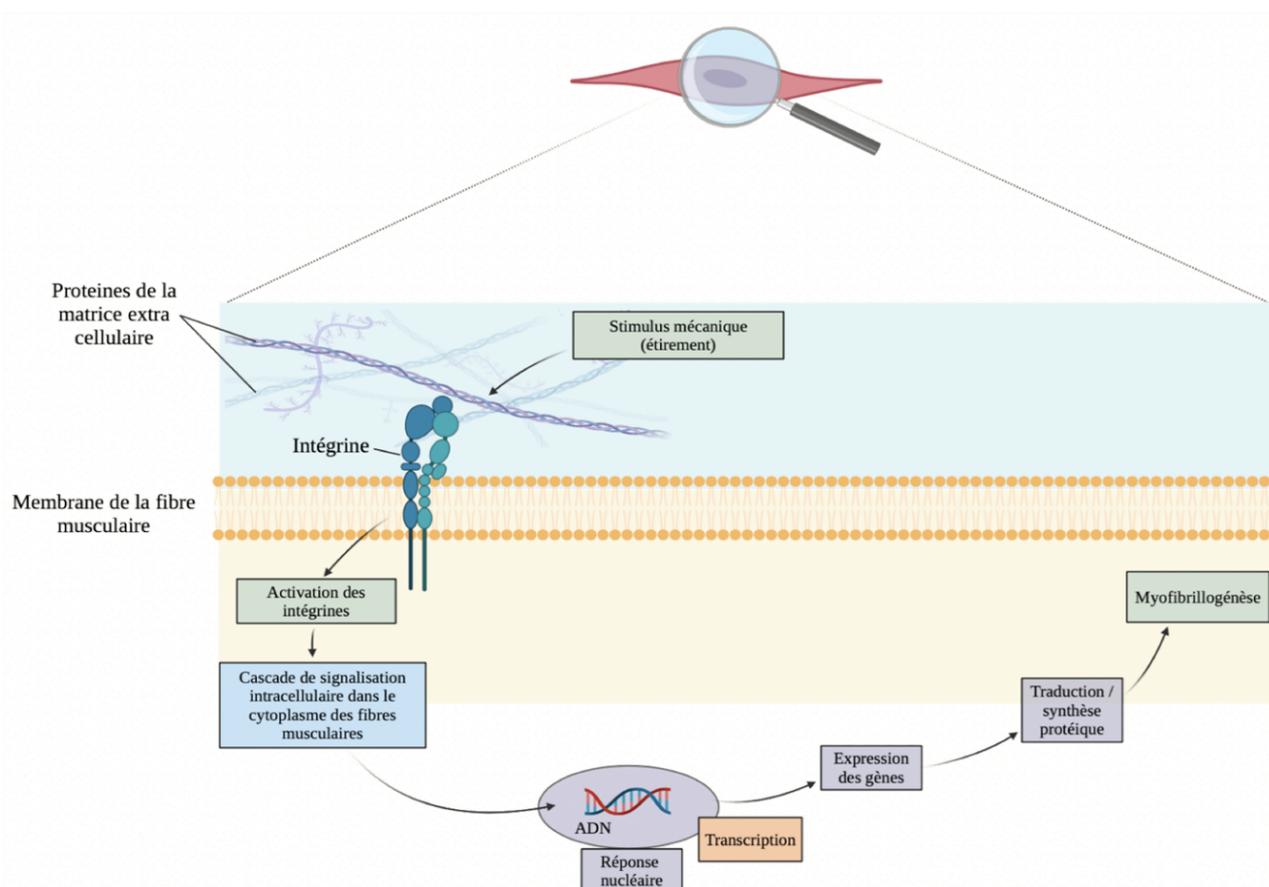


Figure 21 : Le processus de mécano-transduction musculaire. (adapté de, de Deynne et al., 2001 par J.Colard)

Chapitre 3

Le tendon est également sensible à la perturbation mécanique transmise par le muscle (Heinemeier et Kjaer., 2011). Cette perturbation semble essentielle pour le tendon. En effet, Beckham et al., (1977) mettent en évidence une genèse tendineuse incomplète pour des poussins, durant l'embryogenèse, lorsque les activations musculaires sont inhibées. Les activations musculaires peuvent également générer à l'inverse des contraintes qui permettent de modifier les propriétés tendineuses comme la raideur.

Deux mécanismes peuvent être à l'origine d'une augmentation de la raideur tendineuse : d'une part la modification des propriétés matérielles (i.e. Augmentation du Module d'Young) et d'autre part, la modification de la morphologie du tendon (i.e. CSA ; Bohm et al., 2016).

Les propriétés matérielles du tendon sont décrites par :

- 1 - Sa déformation qui correspond à l'élongation du tendon relative à sa longueur initiale.
- 2 - Le stress qui est la force du tendon relative à la CSA de ce même tendon.
- 3 - La raideur tendineuse qui est le rapport entre, la déformation d'un tendon, et la force qui lui est appliquée.
- 4 - Le module d'élasticité du tendon qui décrit la relation entre la déformation tendineuse et le stress tendineux. Cette variable représente la propriété matérielle du tendon indépendamment de la CSA.

Les modifications de la CSA interviennent à la suite d'une perturbation mécanique par exemple. Nous avons souligné précédemment que le tendon était constitué d'une matrice extra-cellulaire très importante en comparaison au nombre de fibroblastes (cellules) qui constituent le tendon. Cette matrice extra-cellulaire est majoritairement formée de collagène de type I qui est arrangé de manière longitudinale à la contrainte que subit le tendon (Wiesinger et al., 2014). Les fibroblastes sont eux accrochés à la membrane extra-cellulaire par l'intermédiaire d'intégrines. Le lien entre ces deux

structures permet au tendon de recevoir un signal mécanique lors de la contrainte du tissu tendineux et d'y répondre par des voies de signalisation semblables à celle du tissu musculaire (Figure 21). Cependant, ces mécanismes ne sont pas à ce jour totalement maîtrisés. Il est décrit que la contrainte mécanique entraîne par des voies de signalisation une synthèse accrue de cytokines et de facteurs de croissance tels qu'IGF-1 entraînant la production de fibres de collagène au sein du tendon (Lazarczuk et al., 2022).

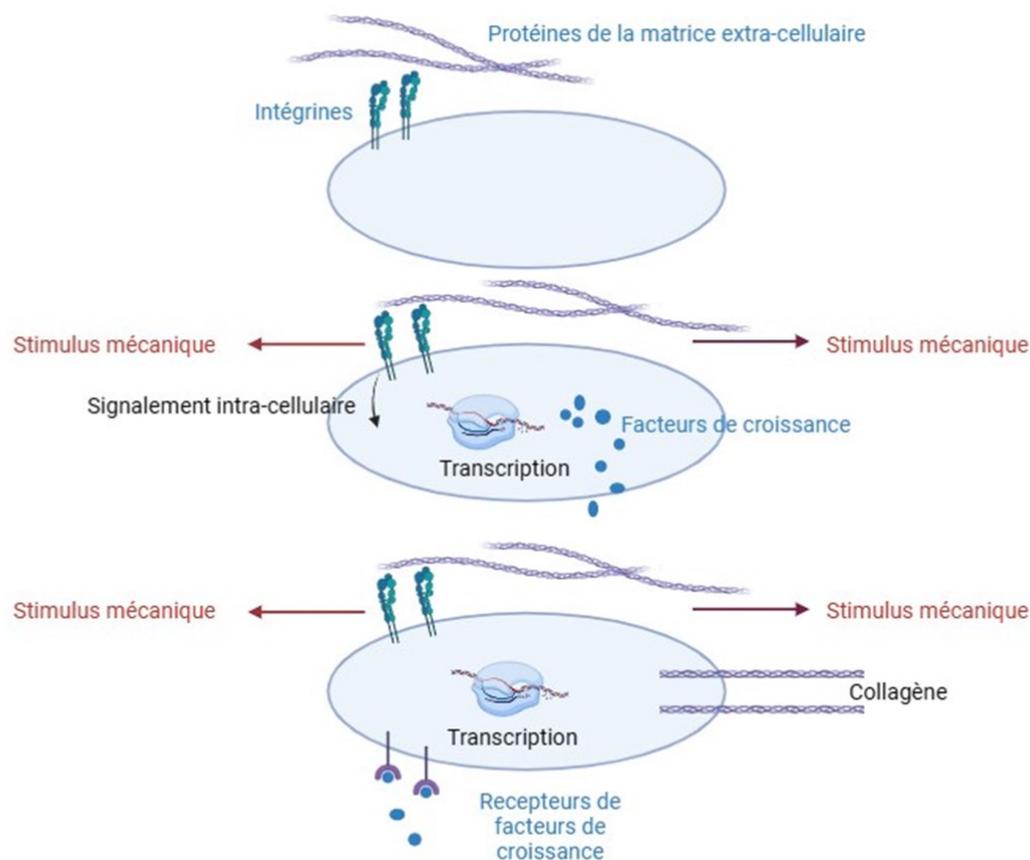


Figure 22 : proposition de mécanisme à l'origine de la synthèse de fibres de collagène tendineux (Heinemeier et Kjaer., 2011). 1- les fibroblastes se connectent à la matrice extracellulaire via les intégrines. 2- transcription et synthèse des facteurs de croissance induits par la charge mécanique via un changement de signalisation intracellulaire. 3- action des facteurs de croissance menant à l'augmentation de la transcription du collagène et de sa synthèse.

Sous partie 2 - Le stress métabolique

La tension mécanique est le principal promoteur de l'hypertrophie musculaire décrite. Cependant, un autre type de stress peut intervenir lorsqu'il s'agit de décrire les

Chapitre 3

mécanismes hypertrophiques. L'hypertrophie peut, en effet, être stimulée par une contrainte métabolique. Des entraînements, dont le volume et l'intensité de travail mécaniques sont identiques (5 séries de 10 répétitions par semaine à 75% de la 1RM) en leg extension sont dispensés à 2 groupes. La différence entre ces groupes réside, dans un temps de pause de 1 minute, laissé aux participants avec majoration du stress métabolique entre les séries. Le groupe sans majoration du stress métabolique, était autorisé à prendre une pause de 30 secondes entre la 5^{ème} et la 6^{ème} répétition de chaque série, puis une pause de 1 minute entre chaque série. La pause permise en milieu de série, vise ainsi à réduire l'accumulation de déchets métaboliques au sein du muscle (Goto et al., 2005). Le volume total était identique entre les groupes. Des différences d'hypertrophies sont alors retrouvées après 12 semaines d'entraînement. Le groupe sans pause entre la 5^{ème} et la 6^{ème} répétition de chaque série témoigne d'une augmentation significative ($p < 0,01$) de la CSA (mesurée par IRM) du *quadriceps* (12% en moyenne) en comparatif au groupe avec repos (4% en moyenne) et au groupe contrôle (1% ; Goto et al., 2005). Le stress métabolique conduit à l'accumulation de métabolites induite par l'entraînement contre résistance par exemple. Cette accumulation est due à la glycolyse anaérobie nécessaire à la production d'adénosine tri phosphate. La glycolyse entraîne ainsi l'accumulation de « déchets » musculaires tels que le lactate, l'ion hydrogène, le phosphate inorganique, la créatine etc. (Tesch et al., 1986). Le stress métabolique possède donc un rôle anabolique et certaines études démontrent que l'accumulation d'éléments non-contractiles permettrait une augmentation en volume musculaire (Shinohara et al., 1998 ; Figure 23).

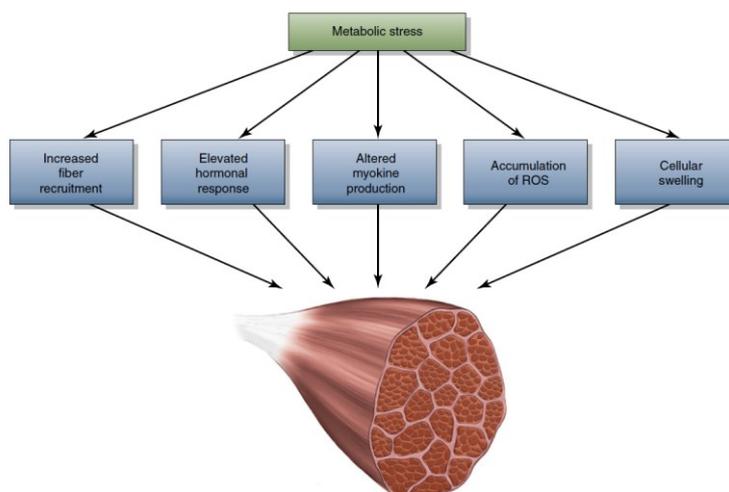


Figure 23 : Les mécanismes induits par le stress métabolique (Schoenfeld., 2018)

La médiation de la réponse hypertrophique à ce type de stress comprend des altérations du milieu hormonal (production de GH), un œdème cellulaire et une augmentation de la présence des facteurs de croissance (IGF-1). L'une des méthodes principales permettant d'augmenter le stress métabolique est le dispositif de restriction du flux sanguin (BFR ; Takarada et al., 2000).

Le « blood flow restriction » (BFR) est un dispositif qui permet de diminuer le volume sanguin apporté au muscle par voie artérielle et de diminuer le retour veineux lors d'un exercice contre résistance, créant ainsi un environnement hypoxique (Patterson et al., 2019). L'occlusion s'exprime en mm de mercure (Hg) ou en pourcentage d'occlusion artérielle (LoA). Des pressions d'occlusion artérielle de 50 à 80% sont couramment décrites dans la littérature pour provoquer des adaptations en volume musculaire lorsque le BFR est associé à des charges légères de travail (<50% 1RM). Des adaptations hypertrophiques des muscles du bras supérieures sont soulignées lors d'un entraînement avec occlusion comparativement à un entraînement effectué sans occlusion. L'entraînement comportait un exercice de « biceps curl » en position assise. Les deux groupes avaient le même volume d'exercice et l'exécution de l'exercice était identique. L'augmentation en CSA (mesurée par IRM était

Chapitre 3

significativement plus importante pour le groupe avec occlusion artérielle comparativement au groupe sans occlusion ($p < 0,05$) pour les muscles *biceps brachii* (20,3% vs 6,9%) et *brachialis* (17,8% vs 3,8% ; Takarada et al., 2000). Les auteurs expliquent cette différence par une augmentation de l'anabolisme causée par l'occlusion du flux sanguin.

Lors de l'exercice, la mise en place de cette restriction de flux sanguin majore aussi la production d'hormones de croissances comme la GH et la production de facteurs de croissance comme l'IGF-1 et une diminution du taux de myostatine (inhibiteur de croissance musculaire ; Pearson et Hussain., 2015). L'accumulation de métabolites lors de l'utilisation de cette méthode induit également la production d'espèces réactives à l'oxygène pouvant provoquer des altérations du métabolisme et augmenter la croissance des cellules satellites. L'une de ces espèces est l'oxide nitrique (vasodilatateur naturel) qui est associée à la stimulation de la voie mTOR citée précédemment (Pearson et Hussain., 2015). Immédiatement après l'exercice sous occlusion artérielle, la cascade métabolique déclenche le réflexe de pression à l'effort. Ainsi, une série de changements cardiovasculaires sont déclenchés par la contraction musculaire. Ces réactions sont identiques à celles observées à charge lourdes. Il est cependant nécessaire de se rappeler que le recrutement des fibres musculaires se produira ici à des intensités plus faibles (Loenneke et al., 2012). De plus, le BFR aurait des effets analgésiques sur les patients (mécanismes résumés dans Luke Hughes et Patterson 2019, figure 23). Cet effet permet de stimuler de manière précoce, les mécanismes hypertrophiques pour des patients ayant par exemple des douleurs antérieures de genou (Korakakis et al., 2018).

L'occlusion, par BFR associé à la charge légère, produira par conséquent une tension mécanique comparable à celle à charge légère. L'hypertrophie musculaire sera ainsi induite par le biais de mécanismes similaires amplifiés par l'environnement hypoxique en évitant certains inconvénients. La mobilisation d'une charge légère associée à la restriction du flux sanguin permet de limiter les dommages induits tout en réalisant un entraînement intense (Curty et al., 2023).

Sous partie 3 - Les dommages musculaires

Les dommages musculaires (DOMS) sont étudiés depuis les années 1990 comme étant la résultante d'un exercice intense ou inhabituel (Evans et Cunnon., 1991). Ils sont constatés en particulier lorsque la personne n'est pas habituée au type d'exercice effectué ou si ce dernier est intense. Ils apparaissent préférentiellement lorsque la contraction est effectuée de manière excentrique et/ou à grande longueur musculaire. Les dommages peuvent être constatés à plusieurs niveaux du muscle (pour revue Damas et al., 2018). Ils peuvent être spécifiques de macromolécules de tissu musculaire ou encore apparaître sous forme de lésions importantes dans le sarcolemme, la lame basale et le tissu conjonctif de soutien. Ils sont définis comme une atteinte de l'ultrastructure musculaire avec désorganisation ou rupture de la ligne Z. Ils touchent également les éléments contractiles du muscle et le cytosquelette musculaire (Clarkson et Hubal., 2002). Ces lésions sont suivies par la mise en place d'un processus inflammatoire local, une altération de la régulation de la concentration en ion calcium (Ca^{2+}), une activation de la dégradation des protéines musculaires et enfin une augmentation de la concentration sanguine en protéines comme la créatine kinase qui s'échappe de la fibre musculaire lésée (Clarkson et Hubal., 2002). Un continuum de dommages musculaires (Figure 24), induits par un exercice excentrique est proposé par Hyldhal et Hubal., (2014). L'apparition des dommages musculaires et le type de réponse cellulaire mise en place serait ainsi à mettre en relation avec plusieurs facteurs. Les modes d'activation du muscle (volontaire ou induit par stimulation électrique), la prédisposition génétique aux dommages musculaires induite par l'exercice contre résistance, muscle ou groupe musculaire sollicité et enfin le volume, l'intensité, et l'intensité de l'exercice pratiqué font ainsi varier la réponse cellulaire et physiologique aux dommages induits (Figure 24).

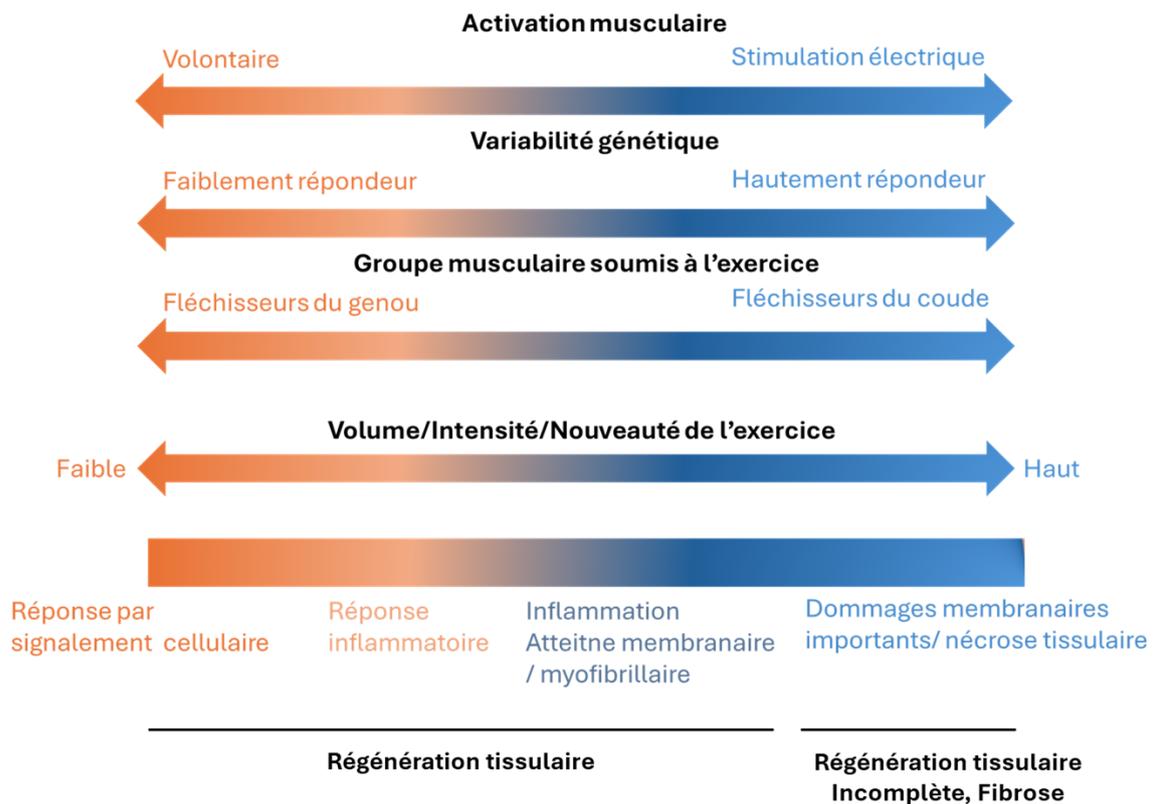


Figure 23 Proposition d'un continuum de dommages aux fibres musculaires squelettiques à la suite d'actions excentriques. La réponse du muscle squelettique aux actions excentriques se situe probablement dans un continuum qui va d'une réponse adaptative de la signalisation cellulaire à une lésion grave du tissu musculaire (Rhabdomyolyse). La réponse individuelle à une série d'actions excentriques dépend de plusieurs facteurs, dont le mode d'activation du muscle, la variabilité génétique, le groupe musculaire exercé, ainsi que le volume, l'intensité et la nouveauté de l'exercice. Les lignes avec des flèches bidirectionnelles indiquent que la réponse dans chaque condition peut se produire n'importe où sur le continuum, par exemple, la stimulation électrique entraîne une réponse inflammatoire plus importante et une perturbation myofibrillaire plus grave que les contractions volontaires, mais peut également entraîner un stimulus moins préjudiciable dans des circonstances de faible intensité/volume/nouveauté. (Hyldhal et Hubal., 2014).

Il avait été évoqué précédemment que la tension mécanique appliquée à un muscle favorisait la production de matériel contractile grâce au partage du noyau des cellules satellites avec les cellules musculaires existantes (Dumont et al., 2015). La prolifération des cellules satellites est également provoquée à de faibles niveaux de résistance ne générant pas de DOMS (Crameri et al., 2004). Le rôle des dommages musculaires dans l'hypertrophie est encore méconnu, mais il est souligné que l'activation des cellules satellites est particulièrement importante en réponse à la

création de dommages musculaires (Cramer et al., 2004) et agissent dans le sens de la réparation des fibres musculaires endommagées dans les premiers stades de l'hypertrophie (Damas et al., 2018). Le rôle précis des dommages et la relation directe avec l'hypertrophie restent donc à déterminer pleinement mais il semble intéressant de pouvoir la quantifier afin de savoir si la tension induite sur le muscle par un exercice est suffisante pour créer un mécanisme hypertrophique.

Partie 3 - La force maximale

Sous partie 1 - Le volume et force maximale musculaire

Un muscle est capable de produire une force maximale isométrique qui est relative à son aire de coupe transversale (CSA). Ce paramètre est également décrit en quantifiant une aire par le nombre de fibre que le muscle contient, la force d'un muscle étant dépendant de ce nombre (Lieber et Fridèn., 2000) :

$$F_{\text{max isom}} = k * \text{PCSA}$$

k = force par cm² de tissu musculaire

Equation (1)

La mesure sera donc prise perpendiculairement au sens des fibres et se nomme la surface de section transversale physiologique du muscle (PCSA). Elle peut être donnée par (Lieber et Fridèn., 2000) :

$$\text{PCSA} = \text{Volume musculaire} / \text{Longueur des fibres}$$

Equation (2)

Cette équation ne peut être utilisée qu'en présence d'un muscle fusiforme. En effet, pour le muscle penné, c'est-à-dire que l'axe des fibres (noté alpha) est différent de celui du raccourcissement musculaire, la quantité de force transmise au tendon est estimée par la PCSA effective. Le calcul de la PCSA effective prendra alors en

Chapitre 3

compte l'angle de pennation de ces fibres par rapport à l'aponévrose et sera donné par l'équation suivante (Lieber et Fridèn., 2000):

$$\text{PCSA effective} = \text{Volume musculaire} \cdot \cos \alpha / \text{Longueur des fibres}$$

Equation (3)

Massey et al., (2015) mettent en évidence une corrélation positive modérée entre les PCSA des différents chefs du *quadriceps* et le couple maximal d'extension de genou ($r = 0,519$; $p = 0,047$). La faible corrélation est ici expliquée par la relation indirecte entre la PCSA d'un muscle et le couple maximale. La corrélation est plus importante lorsqu'il s'agit de la relation entre la PCSA et la force produite par le muscle (muscles de cochon d'Inde ; Powell et al., 1984).

Dans les travaux de thèse présentés, le volume musculaire a été mesuré par échographie 3D (cf [partie méthode](#)). La quantité de force musculaire produite dépend de la capacité de génération de force. Il s'agit de la force produite par un muscle activé au maximum en condition isométrique à longueur optimale. La capacité de génération de force est reliée au nombre de fibres musculaires disposées en parallèle. Plus un muscle est grand, si les autres paramètres restent constants, plus il contient de fibres musculaires. Par conséquent, lorsque les autres paramètres (longueur de faisceaux et angle de pennation), le niveau de graisse intramusculaire, et la tension spécifique sont maintenus, un plus gros volume donnera naissance à une plus grande capacité de génération de force maximale. La force maximale isométrique d'un muscle est complexe à évaluer car il est impossible d'isoler un muscle des autres lors d'un mouvement exception faites de certains muscles comme l'abducteur du V^{ème} métacarpien. La littérature nous renseigne cependant sur des valeurs approximatives ([Tableau 4](#)). Une approximation de calcul par la PCSA est alors utilisée :

$$F_{\text{iso}_{\text{max}}} = \text{PCSA} \cdot T$$

Equation (4)

T, la tension spécifique est approximée à 0,3 MPa pour un muscle sain. Les fibres musculaires sont plus courtes et plus nombreuses au sein d'un muscle penné (Lieber et al., 2010).

Les courbes des relations force-longueur et force-vitesse sont plus grandes pour un muscle penné en raison de sa PCSA, mais plus importantes et moins longues que pour un muscle fusiforme (Figure 25).

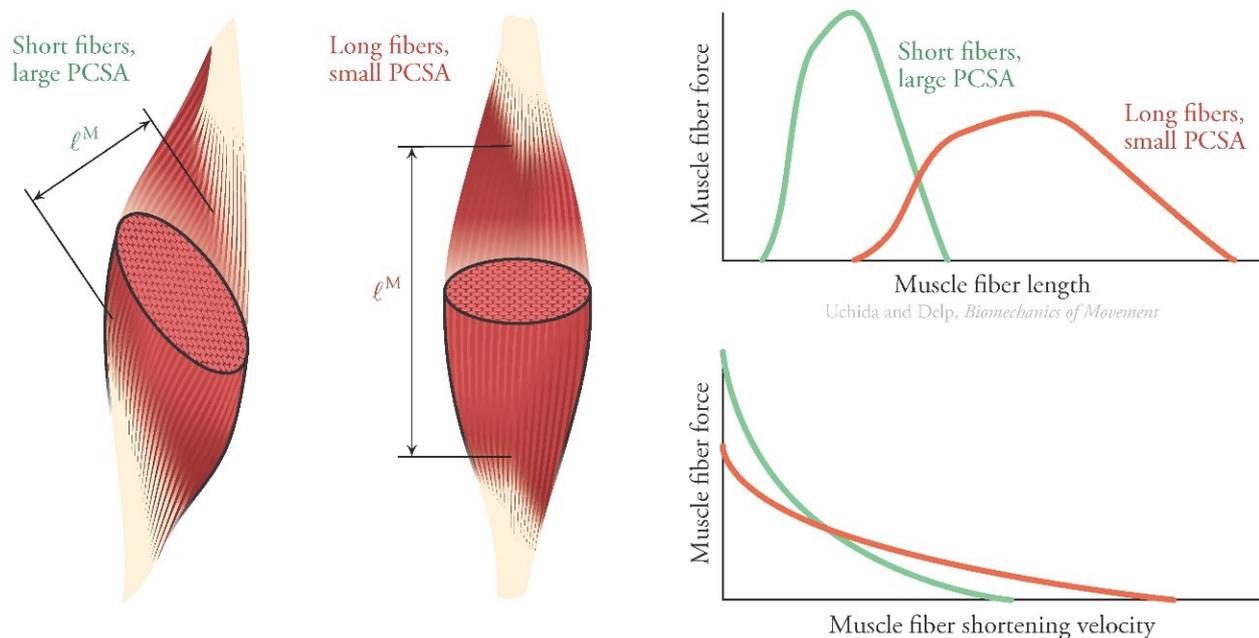


Figure 25: Les muscles à gauche ont à volume équivalent des PCSA, des longueurs optimales et des angles de pennation qui diffèrent de par l'organisation des fibres au sein du muscle. Le muscle le plus penné peu produire des niveaux de force plus importants mais possède des fibres musculaires plus courtes. Les relations force longueur et force vitesse sont donc plus élevées mais moins longues (illustration Uchida et Delp 2021).

Les muscles pennés sont donc capables d'une plus grande production de force qu'un muscle fusiforme à volume équivalent sur des longueurs plus courtes et des vitesses de contractions moindres (Lieber et al., 2010). Cette force maximale est également définie comme la limite haute du système neuromusculaire à produire de la force (Stone et al., 2002). Son augmentation est corrélée à une augmentation du taux de

Chapitre 3

développement de la force (explosivité) et à la puissance produite d'un individu (Rodriguez et al., 2018).

Sous partie 2 - La commande nerveuse

La contraction musculaire, succinctement décrite ci-dessus, résulte de la commande nerveuse envoyée par le système nerveux central aux muscles. La plus petite unité fonctionnelle pouvant être mobilisée par le système nerveux est l'unité motrice (Sherrington., 1906). Cette entité se compose d'un motoneurone et des fibres musculaires qu'il innerve. Ce motoneurone innerve des centaines, si ce n'est des milliers de fibres musculaires (Feinstein et al., 1955). En revanche, une fibre musculaire ne peut être innervée que par un seul motoneurone. Lorsque le corps cellulaire du motoneurone, situé dans la moelle épinière, est excité au-delà de son seuil de recrutement (ie. Loi du tout ou rien), un signal électrique appelé potentiel d'action nerveux est créé et se propage le long de l'axone du motoneurone vers les fibres musculaires. La zone de connexion entre le motoneurone et les fibres musculaires qu'il innerve est appelée jonction neuromusculaire. Lorsque le potentiel d'action nerveux arrive au niveau de cette jonction, un neurotransmetteur (l'acétylcholine) est libéré dans la fente synaptique. Ce neurotransmetteur, en se fixant sur la membrane plasmique de la fibre musculaire, déclenchera un nouveau signal électrique, le potentiel d'action musculaire. La propagation de ce potentiel d'action musculaire engendrera la libération, par le réticulum sarcoplasmique, du calcium à l'origine de l'interaction entre l'actine et la myosine.

Le recrutement des unités motrices suit le principe de taille d'Henneman (Figure 26). Ce dernier énonce que les unités motrices les plus petites sont recrutées en premier durant un mouvement. Plus petites et plus lentes avec un seuil de recrutement faible, elles sont progressivement suivies par des UM de taille plus importantes produisant des niveaux de force plus importants.

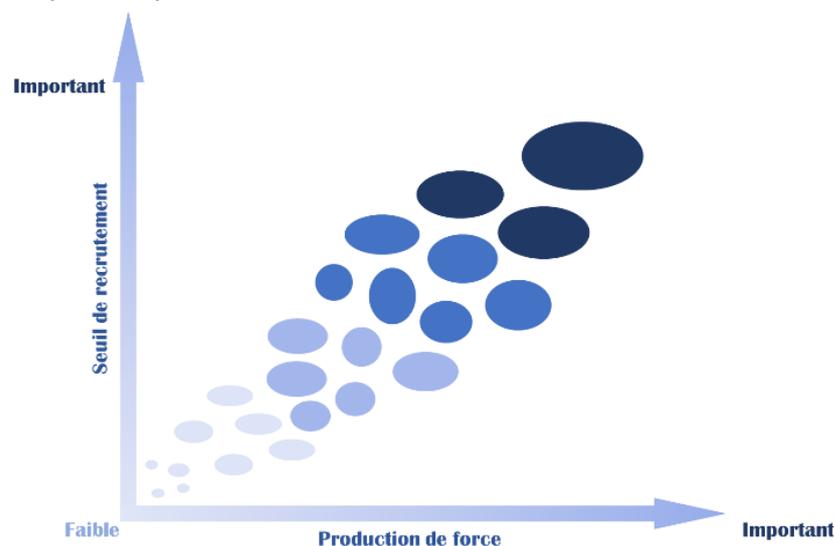


Figure 26 : Principe de taille de Henneman, 1957 de recrutement des unités motrices.

Le recrutement de ces unités motrices plus grandes se fait au fur et mesure que la sollicitation gagne en amplitude. Le système nerveux central contrôle ainsi le niveau de force active d'un muscle à l'aide de deux mécanismes principaux. Le premier consiste à varier le nombre d'unités motrices (composé d'un motoneurone et des fibres qu'il innerve ; Figure 27) recrutées et le second est de réguler le taux de décharge de ces unités motrices (Duchateau et Enoka 2011).

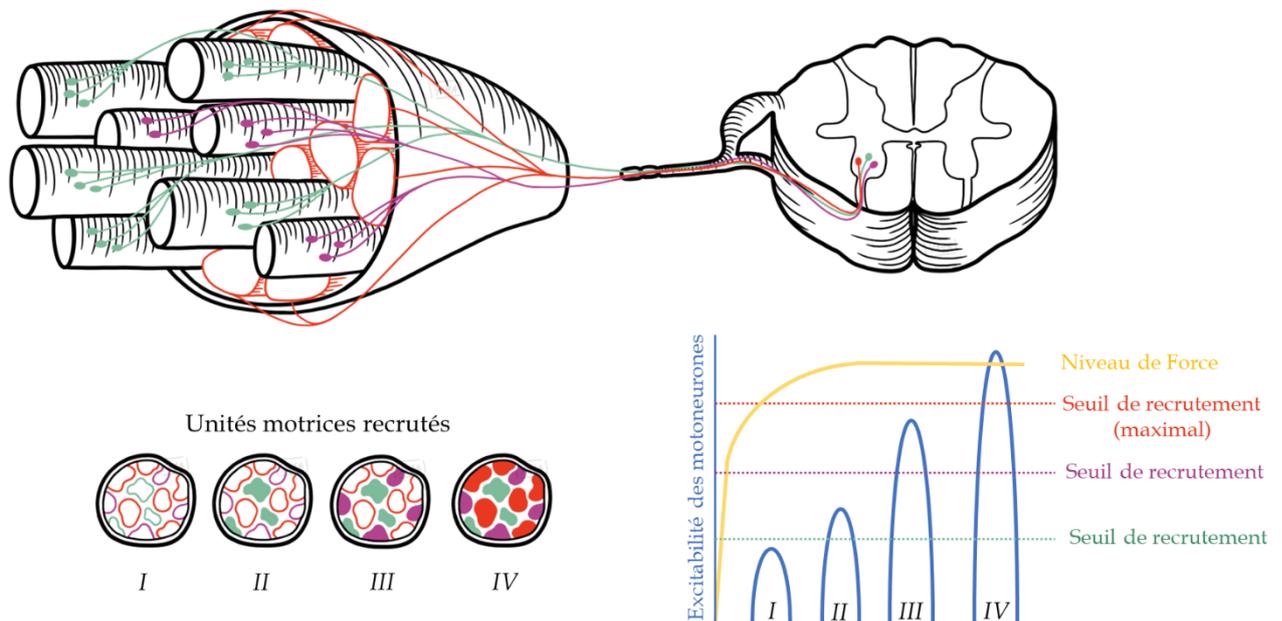


Figure 27: Recrutement des unités motrices d'un muscle et production de force relative à ce recrutement (dessin original S.Frouin adapté de Uchida et Delp., 2021)

Partie 4 - L'entraînement contre résistance

L'entraînement contre résistance permet le développement de nombreuses qualités musculaires. Ce dernier est régi par un ensemble de variables qui permettent d'agir sur l'hypertrophie et la force maximale. Nous allons ici présenter les principales.

Sous partie 1 - Les variables de l'entraînement contre résistance et leur influence sur la force maximale et sur le volume musculaire et tendineux

1-1-La charge

La charge soulevée est l'un des facteurs les plus importants de la réponse hypertrophique et de l'adaptation en force maximale. La charge peut être donnée de manière absolue en kilogramme mais peut également être exprimée de manière relative en pourcentage de la 1RM. La 1RM est définie comme la charge maximale mobilisée 1 fois sur une amplitude donnée.

Il est pris en considération qu'un nombre faible de répétitions (i.e. 1-5 répétitions) associé à une charge relative élevée (i.e. 80% à >100% de la 1RM) sont optimaux pour un développement de la force maximale ; alors qu'une charge plus faible (>30% de la 1RM) associée à un nombre de répétitions plus élevé (>12 répétitions) permettent de développer le volume musculaire (Schoenfeld et al., 2021). De plus, une revue systématique avec méta-analyse, investiguant l'influence de la charge sur l'hypertrophie et la force maximale musculaire, souligne que la charge lourde (>80% 1RM ou <8RM) favorise significativement les adaptations en force maximale comparativement à la charge modérée (entre 60 et 79% 1RM ou 9-15RM ; $p < 0.001$) et légère (<60% 1RM ou >15RM ; $p = 0.003$). En revanche, elle ne décèle aucune différence significative ($p = 0.113$) entre l'entraînement à charge lourde, à charge modérée et la charge légère lorsqu'il s'agit d'hypertrophie.

La charge légère (>30% de la 1RM) associée ou non à l'utilisation du BFR permettent également un développement du volume musculaire de manière efficiente chez des sujets sains (Lixandrao et al., 2017). Il est également utilisé pour des patients atteints d'une rupture du LCA (Caetano et al., 2020) permettant ainsi de lutter contre l'atrophie du *quadriceps* et des ischio-jambiers particulièrement touchés en post opératoire. Cependant, aucune étude ne compare à ce jour l'influence d'un entraînement à charge lourde comparativement à un entraînement à charge légère et BFR sur les muscles ischio-jambiers.

Une charge relative importante (>70% de la 1RM) serait, quant à elle, nécessaire afin de développer le volume tendineux (pour revue Bohm et al., 2016). Des recherches sur l'augmentation du volume tendineux comparant la charge lourde à des charges légères associées au BFR sont tout de même menées. Kubo et al., (2009) comparent un entraînement à charge lourde (80% de la 1RM) et un entraînement à charge légère associé au BFR (20% de la 1RM). Aucune modification de la CSA du tendon patellaire n'est retrouvée dans cette étude sur les deux méthodes d'entraînements après 12 semaines. Cette conclusion sera discutée par une autre équipe de recherche s'interrogeant sur la sensibilité de la méthode de mesure utilisée (Centner et al.,

Chapitre 3

2022). En effet, après un entraînement de 14 semaines, le groupe s'entraînant à charge lourde (de 70% à 85% de la 1RM progressivement) et le groupe s'entraînant à charge légère observent une augmentation significative de la CSA (mesurée par IRM) du tendon patellaire ($p < 0,01$; hormis à 90% et 100% de longueur). Aucune différence n'est observée entre les groupes hormis à 70% de longueur où l'on observe une augmentation significativement plus élevée pour le groupe charge légère et BFR ($p = 0,018$). Aucune étude à ce jour ne s'est intéressée au tendon du *semitendinosus* qui est lui aussi prélevé pour la constitution du greffon lors d'une ligamentoplastie du LCA.

1-2-Le volume

Le volume est défini par la quantité de séries et de répétitions effectuées sur une période donnée (Scott et al., 2016). Il est classiquement donné par :

$$\text{Volume de répétition} = \text{nombre de séries} * \text{nombre de répétitions}$$

Equation (5)

Une autre solution qui proposée est de raisonner en volume de charge relatif au % de 1 RM :

$$\text{Nombre de séries} * \text{Nombres de répétitions} * \% \text{ 1RM}$$

Equation (6)

Ce qui permet ainsi grâce à un volume relatif de comparer les individus entre eux en faisant fi de la charge absolue et de quantifier le stress métabolique. Ici encore, une problématique se pose. En effet, la difficulté de ce genre de calcul réside dans la capacité de l'individu à réaliser effectivement le nombre de répétitions prescrites par séries d'entraînement pour une charge absolue donnée. Il existe alors la possibilité de réaliser une série d'entraînement avec des répétitions en réserve. Les répétitions en réserve sont un arrêt volontaire d'une série d'entraînement à X répétitions de l'échec musculaire (répétitions en réserve : RR). Cependant, une modification du nombre de répétitions peut drastiquement modifier le volume d'entraînement. Si

l'athlète arrête sa série à 2 répétitions de l'échec lors d'une série réalisée à sa 4RM le volume est divisé par 2, alors que s'il réalise le même arrêt à sa 10RM, le volume total sera amputé de seulement 20%. La solution sera alors de calculer le volume de charge relatif à la XRM donné par l'équation suivante :

$$\text{Nombre de séries} \times \text{nombre de répétitions} \times \% \text{RM utilisé pour les RR utilisées}$$

Equation (7)

Les recommandations pour un gain de volume musculaire sont de réaliser 10 à 15 séries d'exercices par groupe musculaire ciblé puis d'augmenter la fréquence des entraînements afin d'augmenter le volume d'entraînement lorsque cela est nécessaire (Schoenfeld et al., 2021 JSC). Une précédente revue, indiquait par ailleurs, une augmentation progressive de l'hypertrophie en lien avec l'augmentation du nombre de séries réalisées par semaine. Une augmentation moyenne de 5,4%, 6,5% et 9,6% était soulignée pour un ensemble de groupes musculaires (Essentiellement le *quadriceps* et *biceps brachii*), respectivement pour un volume faible (<4 séries par semaine), un volume moyen (5 à 9 séries par semaine) et un haut volume d'entraînement (>10 séries par semaine) pour un groupe musculaire ou muscle donné. En ce qui concerne l'augmentation de la force maximale, le nombre de répétitions sera moindre et devra être réparti en plusieurs sessions sur la semaine (Pedersen et al., 2024).

En association avec les calculs de charge externe, que nous avons mentionnés, il est utile d'avoir le ressenti de l'athlète sur la charge interne perçue. L'une des méthodes permettant d'y parvenir est l'utilisation de l'échelle de Borg (RPE). Cette échelle permet de quantifier l'intensité perçue lors d'un entraînement contre résistance (Lagally et al., 2002) ; cela permettrait une régulation du volume d'entraînement et des gains plus importants en force maximale.

1-3-La Proximité de l'échec

La proximité de l'échec est définie par le nombre de répétitions restantes avant l'échec musculaire, c'est-à-dire lorsque l'individu n'est plus capable de réaliser la

Chapitre 3

répétition dans l'amplitude complète du mouvement de l'exercice sans dévier de la consigne de réalisation initiale (Refalo et al., 2022). Lorsqu'une série d'exercice est effectuée à proximité de l'échec, l'activation des fibres musculaires est augmentée.

Lascevicus et al., (2019) mettent en évidence qu'un entraînement contre résistance effectué à l'échec permet de provoquer des adaptations plus importantes en termes d'hypertrophie dans un groupe s'entraînant à charge légère (i.e. 30% 1RM) comparativement à un groupe s'entraînant à charge lourde (80% de la 1RM ; **Figure 28**). L'entraînement proposé durait 16 semaines à raison de 2 entraînements par semaine et était composé d'un exercice de leg extension (3 séries d'exercices). La CSA quadricipitale mesurée par IRM augmentait de manière significative pour les groupes « charge lourde à l'échec » (+6,7 cm² en moyenne ; p=0.001), « charge lourde sans échec » (+6,5 cm² en moyenne) et « charge légère à l'échec » (+6,5 cm² en moyenne). Aucun changement significatif n'était décelé dans le groupe « charge légère sans échec » (Figure X) et aucune différence significative n'était décelée entre les groupes. La force maximale évaluée par la mesure de la 1RM en leg extension augmentait de manière significative dans les 4 groupes. L'augmentation dans les groupes « charge lourde à l'échec » (+24 kg en moyenne) et « charge lourde sans échec » (+24 kg en moyenne) était significativement plus importante que dans les groupes « charge légère sans échec » (+11 kg en moyenne) et charge légère avec échec (+13 kg en moyenne).

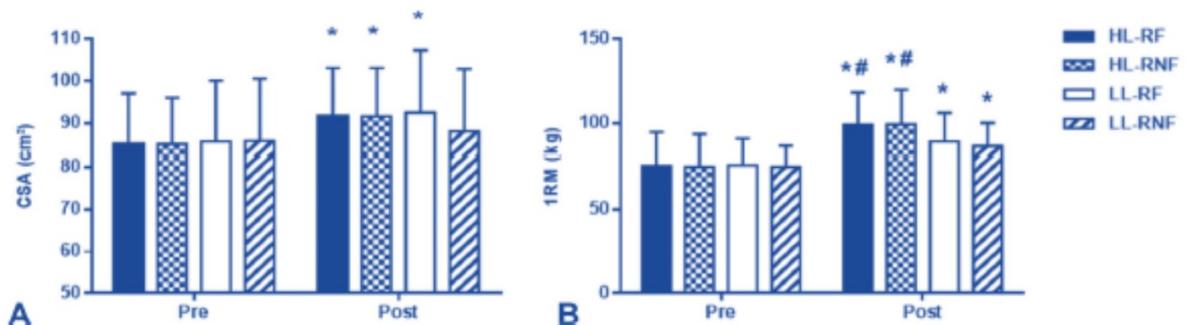


Figure 28 : A- Aire de coupe transversale (CSA) du muscle quadriceps et B- Force maximale dynamique (1 RM) (moyenne, écart type) évalué avant (pre) et après 8 semaines d'entraînement (post). HL-RF : groupe charge lourde à l'échec ; HL-RNF : groupe charge lourde sans échec ; LL-RF : groupe charge légère à l'échec, LL-RNF : groupe charge légère sans échec. * différence significative comparativement à la mesure pre, # différence significative intergroupe. Lascevicus et al., (2019).

1-4-L'Amplitude du mouvement et longueur musculaire

L'amplitude de mouvement est le degré de mouvement se produisant à une articulation définie lors d'un exercice (e.g. exercice d'entraînement contre résistance ; Kassiano et al., 2023). Une amplitude articulaire maximale serait recommandée lors des mouvements d'entraînement contre résistance afin de maximiser les adaptations en hypertrophie et force maximale (Schoenfeld et al., 2020). Il faut cependant considérer parallèlement à l'amplitude de mouvement la longueur musculaire à laquelle le muscle ciblé est entraîné. En effet, il est admis que pour une amplitude partielle de mouvement avec une grande longueur de sollicitation les résultats hypertrophiques pouvaient être plus importants que lors de mouvements en amplitude complète à longueur modérée (Wolf et al., 2023).

Plusieurs études ont comparé l'effet de différentes amplitudes de mouvements sur le *quadriceps* (Bloomquist et al., 2013 ; Kubo et al., 2022 ; McMahon et al., 2014). Une hypertrophie plus importante est constatée sur ce groupe à grande longueur musculaire indépendamment de l'amplitude du mouvement (i.e. amplitude partielle ou amplitude complète). Mc Mahon et al., 2014, décrivent une augmentation de la CSA du *vastus lateralis* (évalué par IRM) de 16% contre 59% (à 75% de la longueur du muscle ; [Tableau 5](#)) en moyenne dans les groupes courtes longueurs musculaires comparativement aux grandes longueurs musculaires.

Tableau 5: CSA du *vastus lateralis* mesuré avant et après 8 semaines d'entraînement. CSA : aire de section transversale ; SR : faible amplitude de mouvement ; LR : grande amplitude de mouvement. McMahon et al., 2014.

Site (% femur length)	Baseline	Week 8
25 CSA	SR 2,877 ± 338	SR 3,425 ± 303 [‡]
	LR 2,684 ± 427	LR 3,592 ± 303 [‡]
	Con 3,201 ± 253	Con 3,086 ± 259
50 CSA	SR 3,033 ± 289	SR 3,699 ± 342 [‡]
	LR 3,004 ± 385	LR 3,545 ± 339 [‡]
	Con 3,326 ± 354	Con 3,314 ± 364
75 CSA	SR 1,081 ± 175	SR 1,162 ± 127 [‡]
	LR 1,074 ± 224	LR 1,505 ± 217 [‡] \$
	Con 1,366 ± 165	Con 1,370 ± 185

Chapitre 3

En regard de ces résultats, il sera nécessaire en pratique clinique d'exploiter le maximum d'amplitude articulaire disponible chez le patient afin d'augmenter les gains qui pourront être obtenus à la suite d'un entraînement contre résistance.

O

bjectifs expérimentaux

Objectifs expérimentaux

La force musculaire est un paramètre important à considérer au quotidien en performance sportive (quel que soit le niveau du sportif considéré). Cette force maximale est essentielle à la performance sportive (Suchomel et al., 2016). Un haut niveau permet par exemple de sauter plus haut par rapport à un niveau de force plus faible, d'être capable d'atteindre des vitesses de sprint plus importantes, et d'être capable d'effectuer changement de direction rapide lors de la pratique d'un sport (Suchomel et al., 2018). De plus, un haut niveau de force permet de réduire le risque de blessure (Lauersen et al., 2014).

L'une des blessures les plus étudiées en sport collectif est la lésion du LCA. Elle intervient à la suite de combinaisons complexes de multiples de facteurs de risques intrinsèques et extrinsèques. La lésion du ligament croisé antérieur entraîne de manière immédiate des adaptations physiologiques, mécaniques, périphériques et centrales, parmi ces dernières, un déficit de force et de volume des groupes musculaires de la cuisse (en particulier le *quadriceps femoris* et les ischio-jambiers).

L'entraînement contre résistance, est une solution de choix afin de générer des adaptations neurales (e.g. augmentation du nombre d'unités motrices recrutées) et mécaniques (e.g. hypertrophie et architecture musculaire) à l'origine d'augmentation de qualités musculaires telles que la force maximale et le volume musculaire de l'individu.

Le développement, de la force maximale et du volume, du *quadriceps femoris* a été largement étudié selon plusieurs modalités (eg. charge lourde ; et charge légère associée au BFR). Il n'en est pas de même pour les ischio-jambiers. Seules trois études ont rapporté des gains hypertrophiques à la suite d'entraînement chronique des ischio-jambiers pour des personnes saines. Aucune d'entre elle ne compare l'entraînement à charge lourde et celle à charge légère associée au BFR, qui pourtant peut procurer des adaptations similaires, tout en permettant une contrainte articulaire minorée. Cela rend la méthode d'entraînement par occlusion du flux sanguin attractive pour une application clinique. Il serait donc nécessaire d'enrichir

les connaissances afin d'évaluer l'influence des méthodes d'entraînement sur la force et les volumes musculaires des ischio-jambiers.

D'autre part, le volume tendineux est aussi à considérer. En effet, le tendon (e.g patellaire, tendon du *semitendinosus*) est prélevé lors de la ligamentoplastie afin de créer un néo greffon visant à remplacer le LCA rompu. La taille de ce greffon semble être un facteur de réussite opératoire. Un diamètre de greffe supérieur à 8 mm permettrait en effet de limiter de manière importante le nombre de récurrences.

La rééducation est le pilier de la prise en charge du patient. Quand une indication chirurgicale est posée, elle débute le plus souvent très tôt dans un cadre pré opératoire. Pourtant, un faible nombre d'études s'intéressent à la phase pré opératoire ou post rupture immédiate. Aucun consensus n'est à ce jour établi permettant de préciser les contenus des programmes d'entraînement proposés dans cette phase et d'évaluer de manière précise les améliorations obtenues. La durée importante (4,5 mois en moyenne ; King et al., 2020) permettrait pourtant de développer significativement la force et le volume musculaire ainsi que le volume tendineux.

Une des méthodes d'évaluation tissulaire est l'échographie 3D. Moins coûteuse et plus accessible que le gold standard représenté par l'IRM, elle permettrait, dans le futur, une évaluation plus régulière du volume musculaire (e.g. des muscles de la cuisse) lors de la rééducation. Cette technique d'imagerie a été largement développée ces dernières années, mais peu d'études s'intéressent au volume des fléchisseurs de genou. D'autre part, dans une perspective liée au LCA, il apparaît nécessaire de mesurer la structure tendineuse des IJ, qui sera à la base du greffon. Il pourrait être pertinent de développer la technique d'échographie 3D également du tendon du *semitendinosus*.

Objectifs expérimentaux

Dans le cadre de cette thèse, différents travaux seront menés :

L'étude #1 s'attachera à évaluer la reproductibilité et la validité (de critère, versus IRM) de la technique d'imagerie par échographie 3D pour la mesure des volumes musculaires et tendineux des ischio-jambiers. Nous faisons l'hypothèse que l'échographie 3D est une méthode valide et reproductible pour mesurer les volumes musculaires des ischio-jambiers et du tendon distal du muscle *semitendinosus* et du muscle *gracilis*. À ce jour aucune étude n'a comparé ces deux techniques pour les fléchisseurs de genou.

L'étude #2 visera à mesurer les effets de deux méthodes d'entraînement à visée hypertrophique (charge lourde versus BFR associée à la charge légère) auprès de sujets sains. Ce travail permettra de préciser : i) quelle méthode produit le plus et en force maximale isométrique et d'hypertrophie au niveau musculaire et tendineux ; ii) si la répartition de l'hypertrophie au sein des chefs des ischio-jambiers est identique pour ces deux méthodes. Nous faisons comme hypothèses que i) l'entraînement à charge légère et BFR peut permettre de produire les mêmes adaptations en force maximale isométrique de flexion de genou et en volume musculaire pour les ischio-jambiers mais qu'elle produira moins d'adaptations au niveau tendineux que l'entraînement à charge lourde ; ii) la répartition de l'hypertrophie sera identique pour les deux groupes et que le *semitendinosus* sera le muscle le plus hypertrophié au sein de chaque groupe.

Un point important est que le contenu devrait pouvoir être appliqué (Charge relative, séries, répétition, fréquence etc.) aux patients atteints d'une rupture du LCA et être mis en place dans les structures de soin en phase pre opératoire.

Une perspective d'applicabilité en clinique sera enfin proposée.

L'étude #3 (étude de faisabilité, en cours) permettra de mettre en place le contenu d'entraînement développé dans **l'étude #2** auprès de patients atteints d'une rupture du LCA. Le protocole sera appliqué en phase pre opératoire à la ligamentoplastie. L'objectif sera d'évaluer la faisabilité d'une telle étude. Les effets à court terme

(immédiatement après l'entraînement pré opératoire) et à moyen terme (4 mois post intervention chirurgicale) sur la force maximale et sur les volumes musculaires seront rapportés. Nous faisons comme hypothèse que cette étude remplira les critères de faisabilité et nous permettra ensuite de mettre en place une étude clinique.

L'étude #4 sera présentée sous forme d'un protocole. Celui-ci envisage – après un travail pilote (*~proof-of-concept*) une mise en application dans le cadre d'un suivi de l'ensemble du parcours de soins du patient, en incluant d'autres variables cliniques. Nous faisons l'hypothèse que l'exercice contre résistance pre opératoire permettra d'améliorer la consommation de soins, en particulier en post-opératoire, et sera associé à une reprise des activités (retour au travail, retour au sport) plus favorable.

Méthodes expérimentales

Méthodes expérimentales

Cette partie précise les caractéristiques des personnes (études **#1** et **#2**) et des patients (étude **#3** et **#4**) ayant participé (ou qui participeront) aux expérimentations menées dans le cadre de ce travail de thèse. Les outils de mesures y seront également détaillés.

Les participants

Un nombre total de 65 participants (tableau 6) a été recruté pour la réalisation des travaux de recherche de ce projet. Ces derniers ont été recrutés à l'UFR STAPS (étude **#1**, étude **#2**) ainsi qu'à l'école de kinésithérapie IFM3R (Saint-Sébastien sur Loire) (étude **#2**). Le recrutement a été réalisé grâce à un affichage et par courrier électronique dans chacun de ces établissements. Pour la mise en application clinique (étude **#3**), un réseau pluriprofessionnel composé de chirurgiens orthopédistes, de médecins généralistes, et de kinésithérapeutes (10 structures libérales) a été créé, et sollicité afin de recruter des patients atteints d'une rupture complète du LCA. Le même réseau pluriprofessionnel sera élargi pour les besoins de l'étude **#4**.

Selon les besoins de l'étude, un (Etude **#1**) ou plusieurs groupes (Etude **#2**, **#3**) ont été ou seront (Etude **#4**) établis.

Selon les besoins de l'étude, deux (Etude **#1** et **#2**) ou trois (Etude **#3**) sessions expérimentales ont été menées au laboratoire. L'étude **#4** comptera quant à elle, 4 sessions de mesures expérimentales.

Tableau 6 - Caractéristiques des participants aux études

Etude	Nombre de sessions	N	Groupe(s)	Type de sujets	Genre	Âge (années)	Taille (cm)	Masse (kg)
#1	2	13	1	Sujets Sains	12H 1F	26.6 ± 8.3	180.3 ± 6.2	73.9 ± 8.3
#2	2	15	1 : HL 2 : BFR 3 : CON	Sujets Sains	HL : 5H/6F	21.6 ± 3.1	174.9 ± 8.8	69.4 ± 11.0
		BFR : 4H/9F			21.6 ± 2.9	175.0 ± 8.0	68.0 ± 8.9	
		4H/9F			23.4 ± 4.0	174.2 ± 10.9	68.4 ± 8.4	
		CON : 4H/8F						
#3 (En cours)	3	3	1 : RT 2 : CON	Atteints d'une rupture du LCA	RT	28,7 ± 3,5	170,0 ± 8,4	69,3 ± 11,4
		3				21,7 ± 2,9	167,0 ± 10,6	57,0 ± 10,4
#4 (protocole)	4	84	1 : FORCE 2 : USUEL	Atteints d'une rupture du LCA	NA	NA	NA	NA

Matériel :

Sous partie 1 – Imagerie des volumes musculaires

1-1-IRM

NB : Afin d'éviter les répétitions avec l'étude #1, seuls les éléments essentiels sont présentés dans ce paragraphe.

L'examen pour quantifier le volume musculaire est l'IRM (Mitsiopoulos et al., 1998). Cette méthode d'imagerie est utilisée depuis de nombreuses années, afin de comparer la morphologie des muscles des membres inférieurs chez des sujets sains en comparatif à des sujets pathologiques (Dystrophie de Duchenne, paralysie cérébrale, poliomyélite etc. ; Pons et al., 2018). Narici et al., (1989) utilisent cette dernière afin de décrire l'architecture musculaire (Volumes, angles de pennation, et longueurs musculaires) du groupe musculaire *quadriceps femoris*. Chaque image produite par l'IRM (aire de section transversale) est étudiée de façon individuelle afin de segmenter manuellement chacune des sections du muscle étudié (contourage). Une superposition de l'ensemble des images permet d'additionner les aires de coupes contourées, afin de produire un volume en trois dimensions, permettant d'obtenir le volume musculaire (Figure 28). Le volume des muscles des *ischio-jambiers* est ainsi estimé (en moyenne) à : 975 mL. De façon individuelle, le volume est de 262 mL pour le BF_{lh}, 127 mL pour le BF_{sh}, 289 mL pour le ST et 297 mL pour le SM, respectivement. Le volume du *quadriceps* est estimé à : 2334 mL. De façon individuelle, les volumes sont décrits sont de 562 mL pour le VM, 348 mL pour le VI, 1049 pour le VL et 375 mL pour le RF, respectivement. Ces données sont décrites pour des sprinteurs de haut niveau (Handsfield et al., 2016). Cette méthode sera utilisée pour l'étude #1

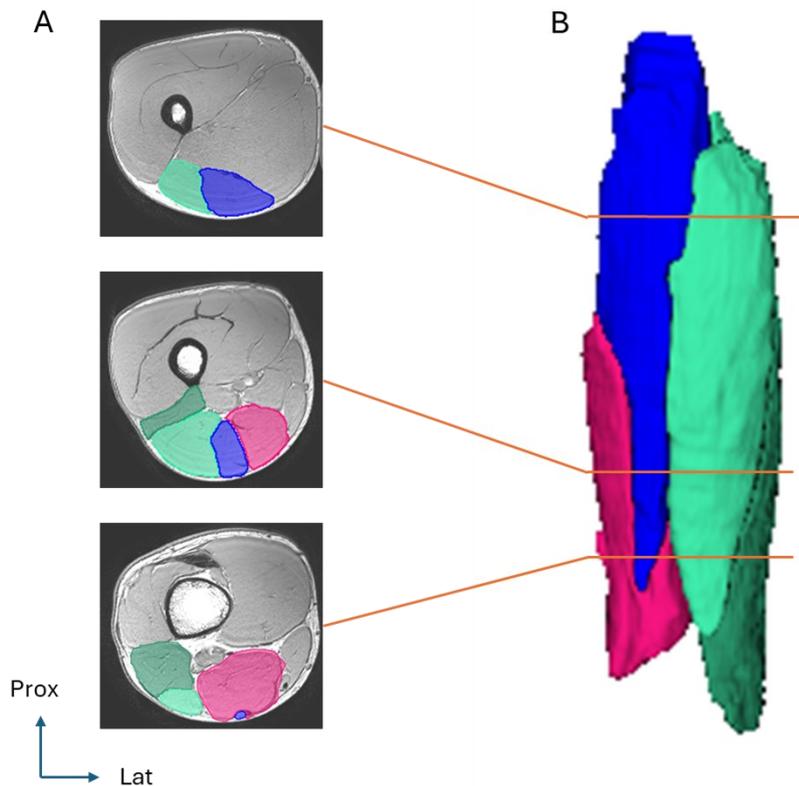


Figure 28 : Reconstitution du volume musculaire des ischio-jambiers à partir d'une image IRM. A- Aire de section transversales contournées manuellement, B- Volume 3D reconstitué. En rose le muscle semimembranosus, en bleu le muscle semitendinosus, en vert clair le muscle biceps femoris longue portion, en vert foncé le muscle biceps femoris courte portion. Image IRM provenant de l'étude #1.

1-2-Echographie 3D

La technique d'imagerie par IRM est cependant coûteuse et difficile d'accès (Franchi et al., 2018). Une alternative pourrait être l'échographie 3D qui est un système d'imagerie plus « facile d'accès », transportable et moins coûteux. Cette technique d'imagerie consiste à combiner un dispositif d'échographie 2D et une analyse de mouvement 3D pour fournir une mesure *in vivo* de la structure tissulaire (Figure 29). Un ensemble d'images échographiques 2D (B mode) est récolté lors de scans successifs transversaux le long du muscle. La sonde est équipée de capteurs de mouvements permettant le suivi et l'enregistrement de la position et du déplacement de la sonde dans l'espace simultanément par un système d'acquisition du

Méthodes expérimentales

mouvement. Un processus de reconstruction permet ensuite de fusionner en une seule image les multiples passages réalisés avec la sonde échographique permettant d'imager l'aire de coupe entière du muscle (> à la largeur de la sonde). Puis, de façon comparable à l'IRM, la segmentation de chacune de ces images se fait, manuellement, afin de donner une CSA du muscle sélectionné. Un volume du muscle en trois dimensions est ensuite constitué et quantifié à partir de l'ensemble des CSA contourées. Barber et al., (2009) valident ce système pour la mesure du *gastrocnemius medialis*. La problématique majeure inhérente à la mesure du volume musculaire par cette méthode est la compression tissulaire lié à la manœuvre manuelle de la sonde échographique. En ce qui concerne le tendon, l'échographie 3D a été utilisée pour la mesure de la partie distale du tendon du ST (Sahinis et al., 2021). Cette méthode sera utilisée pour les études **#1, #2, #3, #4**.

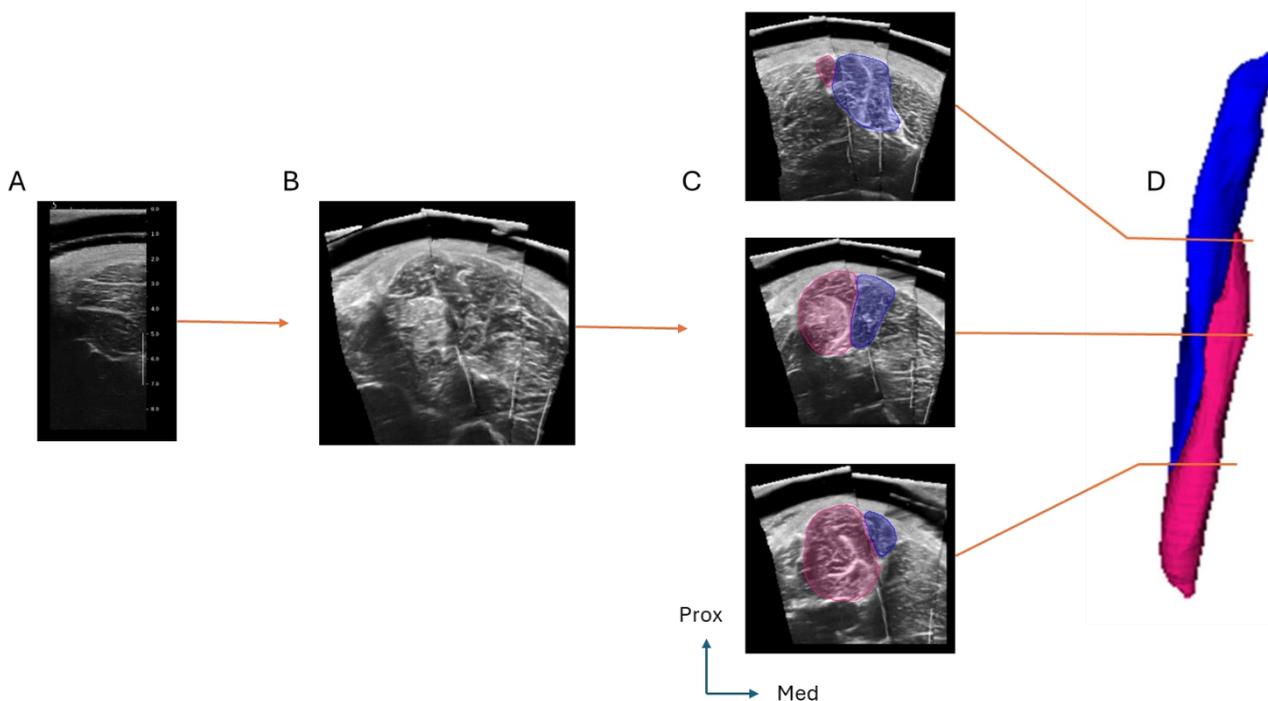


Figure 29 : Reconstitution du volume du muscle semitendinosus et semimembranosus grâce à une méthode d'échographie 3D. A- Image 2D ; B- Image 3D reconstituée ; C- Contourage manuel d'aires de section transversales ; D- Volume 3D reconstitué ; En bleu le semitendinosus et en rose le muscle semimembranosus.

Sous partie 2 - Élastographie ultrasonore par ondes de cisaillement

L'échographie est une technique d'imagerie très répandue dans le milieu médical car elle possède de nombreuses applications cliniques. Depuis plus de quarante ans, sa facilité d'utilisation, sa portabilité auprès du patient associées à son faible coût en font l'allié du clinicien. Basé sur la propagation d'ondes mécaniques à hautes fréquences, les ultrasons, elle permet d'imager le tissu musculaire et tendineux. Cependant, elle ne permet pas de rendre compte des propriétés élastiques des tissus. En effet, le module de masse qui régit la propagation des ultrasons est homogène au sein des tissus tendineux et musculaire et ne dépend pas de leur élasticité (Sarvazyan et al., 1995).

Pour pallier à ce manque d'information, l'élastographie est développée depuis plus d'une vingtaine d'années. Elle a pour objectif de rendre compte de la rigidité tissulaire des tissus imagés. La cartographie de la rigidité tissulaire est ainsi estimée à partir de la visualisation et de l'analyse des ondes de cisaillement. Le faisceau ultrasonore produit par les transducteurs contenus dans la sonde (4-15 MHz, Superlinear, Vermont, Tours, France) est focalisé sur le tissu. Defieux et al., (2008) décrivent des ondes sphériques générées par les focalisations qui interagissent à la manière d'un cône Mach. La source de l'onde se propage ainsi plus vite que l'onde de cisaillement générée et crée un front d'onde plane dans le plan de l'imagerie. C'est cette perturbation qui génère des ondes de cisaillement. La propagation est ensuite captée par l'image échographique à une fréquence pouvant aller jusqu'à 20000 images par secondes. La propagation de ces ondes acoustiques est dépendante de la rigidité du tissu. La vitesse de propagation de l'onde de cisaillement (V_s) est reliée au module de cisaillement (μ), en considérant la masse volumique du tissu mesuré par l'équation qui suit :

$$\mu = \rho V_s^2$$

Equation (9)

Méthodes expérimentales

Le module de cisaillement est ensuite relié au module d'Young (E) par la relation suivante :

$$E \approx 3\mu$$

Equation (10)

En ce qui concerne les applications musculaires, la méthode d'élastographie par onde de cisaillement a été mise en pratique afin de quantifier le niveau de résistance à l'étirement (tension passive) selon l'angle articulaire (Maisetti et al., 2013).

Un travail évoque cette méthode d'imagerie pour quantifier la raideur du tendon du *semitendinosus* et patellaire, tous deux prélevés lors de la constitution du néo greffon lors d'une ligamentoplastie (Fontenelle et al., 2018). Cette équipe rapporte une valeur moyenne de μ était de 197,62 kPa et de 77,76 kPa pour le tendon du ST respectivement à 0° et 80° de flexion. Celle du tendon patellaire a été quantifiée à hauteur de 23,45 kPa et 113,92 kPa pour les mêmes angulations. Cette méthode sera utilisée pour l'étude #4.

Sous partie 3 – Ergométrie isocinétique

L'ergométrie isocinétique (Figure 30), est couramment utilisée afin de quantifier l'évolution en force maximale isométrique à la suite d'un entraînement contre résistance par exemple (Centner et al., 2021). Ce dispositif permet d'obtenir une mesure fiable et reproductible du couple en flexion et extension de genou (Maffiuletti et al., 2007). Des valeurs de référence sont décrites dans la population générale (Barrué-belou et al., 2024). Le couple absolu mesuré pour les extenseurs était de 143,5 Nm et de 66 Nm pour les fléchisseurs, en moyenne pour 74 volontaires (35 hommes, 39 femmes). Le couple rapporté au poids de corps était de 2,20 Nm pour les extenseurs et de 1,04 Nm pour les fléchisseurs pour les femmes. Pour les hommes des valeurs de 2,74 Nm et de 1,24 Nm étaient retrouvées respectivement pour les extenseurs et les fléchisseurs. Des mesures dynamiques à des vitesses variables sont décrites (Edouard et al., 2016) afin de mesurer la valeur du couple de force en extension et en flexion à tous les angles d'une plage articulaire. Il est alors

conseillé d'associer une vitesse lente ($60^\circ/s$) à une vitesse rapide ($180^\circ/s$) en concentrique pour le *quadriceps* et les IJ. La relation couple angle sera également mesurée en excentrique à $30^\circ/s$ pour les IJ. Des valeurs de référence peuvent également être retrouvées pour ces test pour des patients ayant été opérés d'une ligamentoplastie du LCA (pour revue, Van Melick et al., 2021). Ces mesures sont utilisées de manière courante lors de la rééducation post opératoire à la suite d'une ligamentoplastie du LCA. Elles sont alors présentées sous forme de déficit entre la jambe atteinte (ou opérée si post opératoire) et la jambe saine le LSI.

Concernant l'étude **#2**, **#3** et **#4**, les mesures de couple de force isométriques seront réalisées à 80° de flexion de hanche et le genou est positionné à 60° de flexion pour la mesure du couple de force inhérente aux IJ. En ce qui concerne le muscle *quadriceps* le genou sera placé à 80° . Ces secteurs sont proches du secteur optimal de production de force de chacun des groupes musculaires (Barrué-Belou et al., 2024 ; Alonso et al., 2008). La consigne est ensuite donnée de pousser/tirer le plus fort possible et de maintenir durant 3 secondes.

Pour les besoins de l'étude **#4** une mesure dynamique du couple de force sera ajoutée. Une vitesse lente ($60^\circ/s$) et une vitesse rapide ($180^\circ/s$) seront ajoutées en concentrique pour le *quadriceps* et les IJ. La relation couple angle sera également mesurée en excentrique à $30^\circ/s$ pour les IJ. De vifs encouragements sont associés à la mesure par l'examineur (McNair et al., 2000). Dans le cas où la dernière MVIC dépasserait de 10% ou plus la précédente il serait demandé au participant d'effectuer une contraction supplémentaire. De plus pour cette étude (**#4**), une mesure de l'activation volontaire du muscle *quadriceps* par les patients sera réalisée grâce à la technique de surimposition électrique (Interpolated twitch technique). Elle consiste à stimuler électriquement le groupe musculaire ou nerf innervant ce groupe durant une contraction maximale volontaire, et permet ainsi de rendre compte de l'activation volontaire et des propriétés contractiles du muscle (Behm et al., 1996).



Figure 30 : Mesure de force maximale isométrique en extension de genou pour un sujet d'expérimentation.

Ces mesures feront suite à un échauffement spécifique composé de mouvements dynamiques (20 squats, 20 fentes avant de sur chaque membre inférieur) et de contractions sous-maximales (3 contractions isométriques maintenues 4 secondes ; à 50%, 70% et 90% de leur capacité maximale de production de force auto-estimée).

Ce test doit être standardisé ainsi, la limitation des compensations inhérentes au test est effectuée grâce à une stabilisation par ceinture du tronc et du bassin. Une sangle stabilisant le tiers distal de la cuisse vient parfaire le dispositif. L'axe de rotation de l'ergomètre est aligné avec l'axe articulaire du genou. La résistance tibiale est placée, 3 travers de doigts au-dessus de la malléole médiale de la cheville.

Cette méthode sera utilisée lors des études **#2**, **#3** et **#4** l'ergométrie isocinétique (Con-trex, CMV AG, Dübenorf, Suisse) sera utilisée afin de mesurer le couple de force produit en flexion et extension de genou.

Sous partie 4 Mesures auto-rapportées

Durant cette thèse, différentes mesures auto-rapportées seront utilisées afin de permettre une bonne observance des programmes d'entraînement (étude **#2**, **#3**,

#4), d'en mesurer les effets (PROMs, étude **#3** et **#4**) et le degré de satisfaction (étude **#4**).

Mesures d'observance

L'échelle de Borg permettra d'évaluer l'intensité de la séance d'entraînement contre résistance réalisée et d'ajuster le contenu si cette intensité devenait trop faible ou trop forte (Borg, 1982). Nous utiliserons une version modifiée (étude **#2**, **#3**, **#4**) allant de 0 (repos complet) à 10 (effort maximal). Le suivi de la douleur (EVA) pourra également permettre une adaptation des contenus (étude **#3** et **#4**).

Mesures auto-rapportées, liés aux résultats

Dans le cadre de pathologies, il est fondamental d'utiliser les mesures auto-rapportées afin de permettre aux patients de représenter leur perception de leurs symptômes (par exemple, la douleur physique et la détresse psychologique) et l'interprétation de leur propre état de santé (par exemple, la qualité de vie et l'invalidité). (Cook et al., 2021)

Au sein des études **#3** et **#4**, nous mesurerons ainsi ; à partir des outils utilisés en clinique – et recommandés pour la pathologie (LCA) :

- La capacité fonctionnelle et la qualité de vie, à travers le questionnaire KOOS. Ce questionnaire comporte 42 items comprenant 5 thématiques principales : les symptômes, la douleur, les activités de la vie quotidienne, les activités physiques et sportives et la qualité de vie (Ornetti et al., 2008). Un score de 100% indique une absence de problématiques liées au genou.
- La perception de la fonction du genou par l'échelle SANE. A partir d'une question unique, : "Sur une échelle de 0 à 100 ou 100 est le score le plus élevé, à combien évaluez-vous votre genou aujourd'hui" (Williams et al., 2000). L'échelle SANE prend en considération ce qui importe le plus au patient au moment où la question est posée et permet d'offrir une perspective plus large que le nombre limité de construits estimés par des questionnaires. Nous utiliserons la SANE comme un outil complémentaire au KOOS. En outre, la

Méthodes expérimentales

SANE offre des avantages pratiques pour le suivi de la mise en œuvre du programme de préadaptation, car elle exige peu de temps et de ressources.

- Les niveaux d'anxiété et de dépression de nos patients à l'aide de l'échelle HAD (Hospital Anxiety and Depression). Compte-tenu de l'état mental pré opératoire fluctuant au fil du temps (eg.F acceptation et résilience de la blessure, gestion du stress lié à l'opération, perception de son état & estime de soi) (Frouin et al., 2024) les dimensions psychologiques nécessitent d'être mesurées. Aucun outil n'est spécifique à notre connaissance au pré opératoire lié au LCA. L'échelle HAD comprend 14 items qui est utilisée dans de nombreux contextes cliniques (Roberge et al., 2013). Un score de 7 ou moins indique une absence de symptomatologie, un score de 8 à 10 indique une symptomatologie douteuse et enfin un score de 11 ou plus, indique une symptomatologie certaine en relation avec des troubles anxieux ou dépressifs.
- La douleur via l'EVA (échelle visuelle analogique) sera utilisée pour que les patients puissent faire état de la douleur ressentie avant pendant et après le programme d'entraînement contre résistance. Cette échelle est généralement matérialisée par une réglette de 100 mm de long, définissant un intervalle de douleur allant de 0 (aucune douleur) à 100 (douleur insupportable (Crichton, 2001).

Enfin un carnet de suivi présenté en annexe (Butcher et Eldridge, 1990) nous permettra de recenser un nombre important d'information du parcours de soin du patient. L'utilisation d'aides techniques à la marche (attelle, béquilles) y sera consignée au moyen d'une date (arrêt/reprise). La prise médicamenteuse (type, quantité et durée) et le retour aux activités de la vie quotidienne ainsi que sportive y seront renseignés.

La performance de l'intervention

La performance de l'intervention sera évaluée de deux façons. Tout d'abord la faisabilité, en considérant le nombre de séances réalisées sur le nombre total de séances prévues au programme (étude **#3** et **#4**).

La satisfaction sera aussi considérée (étude **#4**). Dans une perspective d'applicabilité clinique, il est fondamental de considérer le degré de satisfaction des patients. En effet, les patients satisfaits s'impliquent plus dans leur traitement, et présentent généralement des résultats meilleurs à l'issue du traitement sur les indicateurs fonctionnels ou liés aux activités (Kupfer et al., 2012). La satisfaction du programme envers le programme de rééducation sera évaluée grâce à l'échelle PSPT (Patient Satisfaction with Physical Therapy scale). L'échelle PSPT (Monnin et Perneger 2002) est composée de 14 items renseignant la satisfaction du patient envers l'intervention qui lui a été proposée.

Autres paramètres cliniques

D'autres paramètres cliniques seront mesurés afin de rendre compte du parcours de soin du patient de manière complète (Etudes **#3** et **#4**).

-L'amplitude articulaire

L'amplitude articulaire de genou en flexion et extension sera mesurée à l'aide d'un goniomètre. Le patient est, pour cette mesure, allongé. Les muscles du membre inférieur sont relâchés, la hanche en position neutre. Le praticien mesure ensuite l'amplitude articulaire disponible en flexion et extension de genou sur la jambe saine et atteinte dans un ordre randomisé (Rothstein et al., 1983).

-Epanchement du genou.

La périmétrie de genou sera mesurée à l'aide d'un mètre-ruban non élastique. Les patients seront placés sur le dos dans un état de relâchement des muscles du membre inférieur. Le mètre sera placé au milieu de la patella ainsi que 7 cm au-dessus de la base patellaire. Ces mesures ont été validées et font preuve d'une bonne reproductibilité dans l'estimation de l'épanchement articulaire (Nicholas et al., 1976)

C

ontributions expérimentales

Contributions expérimentales

Plusieurs financements ont permis ou permettent la réalisation de ces travaux de recherche :

-L'Agence Nationale de la Recherche et de la technologie (ANRT) ainsi que l'Institut du Sport Atlantique (ISA) à travers un contrat de convention industrielle pour la formation à la recherche (CIFRE n°2020/0457).

-Un financement de la Société Française de Physiothérapie dans le cadre de l'appel à projet 2021-2022 (Lauréat recherche « Sénior Clinique et Santé Publique » pour une bourse de 3000 euros).

-Un financement de la Société Française de Kinésithérapie du Sport (SFMKS) lors d'un appel à projet pour la réalisation de projet de recherche en lien avec la kinésithérapie du sport (Lauréat de l'appel à projet 2024 pour une bourse de 5000 euros).

-Une collaboration industrielle avec MAD-UP BFR (Angers, France) et Monsieur Delis Ahou, a également permis l'utilisation de dispositifs de restriction du flux sanguin à titre gratuit pour les besoins l'étude **#2**.

A aucun moment ces contributeurs n'ont pu intervenir sur les travaux présentés pour influencer le design, les collectes expérimentales, le traitement et l'analyse des données ainsi que les processus de communication.

L'ensemble des travaux a été conduit en respect de la réglementation européenne et française en accord avec les principes généraux de la déclaration de Helsinki. Les études effectuées ont été approuvées par l'accord du CERNI de Nantes (étude **#1**) et du comité de protection des personnes Paris IV pour l'étude **#2** et **#3**. Dans le cas où des financements seraient obtenus pour l'étude **#4** un nouveau CPP serait rédigé (les accords ne sont donc pas obtenus pour le moment).

E

tude #1 :

Validité et fiabilité d'une méthode d'échographie 3D pour la mesure des volumes musculaires et tendineux des ischio-jambiers



Publication associée :

Frouin A, Guenanten H, Le Sant G, Lacourpaille L, Liebard M, Sarcher A, McNair PJ, Ellis R, Nordez A. Validity and Reliability of 3-D Ultrasound Imaging to Measure Hamstring Muscle and Tendon Volumes.

Ultrasound Med Biol. 2023 Jun;49(6):1457-1464.

Résumé Etude #1

La validité et la fiabilité de l'échographie tridimensionnelle (3D US) dans l'estimation du volume musculaire ont été évaluées pour un nombre très limité de muscles qui peuvent être facilement immergés. L'objectif de la présente étude était d'évaluer la validité et la fiabilité des mesures du volume musculaire pour l'ensemble des chefs des ischio-jambiers et du gracilis (GR), ainsi que le volume du tendon pour le *semitendinosus* (ST) et le GR en utilisant l'échographie 3D.

Pour cela 13 participants volontaires ont été recrutés. Ils ont été soumis à 3 sessions de mesures. La première a été réalisée par IRM dans un centre partenaire du laboratoire. Les deux autres sessions d'échographie 3D avaient lieu sur des jours distincts. Les volumes des muscles ST, *semimembranosus* (SM), *biceps femoris* court (BFsh) et long (BFlh), et GR et du tendon du ST (STtd) et du GR (GRtd) ont été imagés.

Le biais et les intervalles de confiance à 95 % de l'US 3D par rapport à l'IRM variaient de -1,9 ml (-0,8 %) à 1,2 ml (1,0 %) pour le volume musculaire et de 0,01 ml (0,2 %) à -0,03 ml (-2,6 %) pour le volume tendineux. Pour le volume musculaire évalué à l'aide de l'US 3D, les coefficients de corrélation intraclasse (CCI) allaient de 0,98 (GR) à 1,00, et les coefficients de variation (CV) de 1,1 % (SM) à 3,4 % (BFsh). Pour le volume du tendon, les ICC étaient de 0,99 et les CV compris entre 3,2 % (STtd) et 3,4 % (GRtd).

L'échographie 3D peut fournir une mesure valide et fiable des ischio-jambiers et du GR pour les volumes musculaires et tendineux. Cette technique pourrait être utilisée pour quantifier les variations de volume à la suite d'interventions d'entraînement contre résistance et dans des environnements cliniques.



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Ultrasound in Medicine & Biology

journal homepage:



Original Contribution

Validity and Reliability of 3-D Ultrasound Imaging to Measure Hamstring Muscle and Tendon Volumes

Antoine Frouin^{a,b}, Hugo Guenanten^a, Guillaume Le Sant^{a,c}, Lilian Lacourpaille^a,
Martin Liebard^{a,c}, Aurélie Sarcher^a, Peter J. McNair^d, Richard Ellis^{d,e}, Antoine Nordez^{a,d,f,*}

^a Nantes Université, Movement – Interactions – Performance, MIP, UR 4334, F-44000 Nantes, France

^b Institut Sport Atlantique (ISA), Nantes, France

^c School of Physiotherapy, IFM3R, Nantes, France

^d Health and Rehabilitation Research Institute, Faculty of Health and Environmental Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

^e Active Living and Rehabilitation: Aotearoa, Health and Rehabilitation Research Institute, Faculty of Health and Environmental Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

^f Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France

ARTICLE INFO

Keywords:

3-D freehand ultrasound
Hamstring
Volume
Validity
Reliability
Muscle
Tendon
Gel pad
Magnetic resonance imaging

Objective: The validity and reliability of 3-D ultrasound (US) in estimation of muscle and tendon volume was assessed in a very limited number of muscles that can be easily immersed. The objective of the present study was to assess the validity and reliability of muscle volume measurements for all hamstring muscle heads and gracilis (GR), as well as tendon volume for the semitendinosus (ST) and GR using freehand 3-D US.

Methods: Three-dimensional US acquisitions were performed for 13 participants in two distinct sessions on separate days, in addition to one session dedicated to magnetic resonance imaging (MRI). Volumes of ST, semimembranosus (SM), biceps femoris short (BFsh) and long (BFlh) heads, and GR muscles and from the tendon from semitendinosus (STtd) and gracilis (GRtd) were collected.

Results: The bias and the 95% confidence intervals of 3-D US compared with MRI ranged from -1.9 mL (-0.8%) to 1.2 mL (1.0%) for muscle volume and from 0.01 mL (0.2%) to -0.03 mL (-2.6%) for tendon volume. For muscle volume assessed using 3-D US, intraclass correlation coefficients (ICCs) ranged from 0.98 (GR) to 1.00, and coefficients of variation (CV) from 1.1% (SM) to 3.4% (BFsh). For tendon volume, ICCs were 0.99, and CVs between 3.2% (STtd) and 3.4% (GRtd).

Conclusion: Three-dimensional US can provide a valid and reliable inter-day measurement of hamstrings and GR for both muscle and tendon volumes. In the future, this technique could be used as an outcome for strengthening interventions and potentially in clinical environments.

Introduction

Appreciation of measurements of muscle and tendon volume is important in understanding human motor function, particularly with respect to adaptations associated with aging [1], training [2,3] and immobilization [4], as well as rehabilitation in clinical settings [5–7]. Concerning the latter, the size of an autogenous hamstring tendon autograft used during the surgical reconstruction of a ruptured anterior cruciate ligament (ACL) is highly predictive of the success/failure of the surgery [8]. In addition, deficits in muscle volume of the semitendinosus (ST) and gracilis (GR) can be observed 2 to 4 y after ACL reconstruction, altering the recovery of force capacity in these muscles [9], potentially playing a role in reduced function. In addition, correlation between ST and GR tendon cross-sectional area (CSA) is highly predictive of their graft diameter [10]. Therefore, quantifying volume of these muscles

could represent a relevant outcome to help clinicians develop rehabilitation/training protocols.

The current gold standard in assessment of muscle and tendon volumes is magnetic resonance imaging (MRI) [10,11]. However, its cost (human/material) and accessibility (time/geography) make it prohibitive in many rehabilitation settings [12]. Freehand 3-D ultrasound (US) imaging combines B-mode US imaging and 3-D motion analysis of the US probe to allow the reconstruction of 3-D images from scans [13]. Three-dimensional US imaging has already been validated against MRI for gastrocnemius medialis muscle. The volume of the distal part of the ST muscle has also been validated and compared with those measured in dissected cadaveric muscles [14]. Changes in ST muscle volume after lengthening surgery in children with spastic paresis have also been reported [14,15]. However, the validity and reliability of 3-D US muscle volume in assessing other hamstring muscles have not been investigated.

* Address correspondence to: Antoine Nordez, Nantes Université, Movement - Interactions - Performance, MIP, UR 4334, F-44000 Nantes, France.

E-mail address: antoine.nordez@univ-nantes.fr (A. Nordez).

Antoine Frouin and Hugo Guenanten contributed equally to this work.

<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.012>

Received 4 March 2022; Revised 17 February 2023; Accepted 20 February 2023

0301-5629/© 2023 World Federation for Ultrasound in Medicine & Biology. All rights reserved.

For hamstring tendons, the validity and reliability of their CSA evaluated in 2-D US has been reported [16]. In addition, although the reliability of hamstring tendon volume has recently been reported [17], the validity of such measurements has not been previously reported.

Of note, a main limitation of 3-D US imaging is the physical compression of tissues by the probe leading to distortion in the shape of the underlying tissues [13]. The most commonly used solution to this problem is to scan muscles in the water [13] but this restricts the use of 3-D US imaging to a very limited number of muscles that can be easily immersed (i.e., mainly in the lower leg). A previous study [18] reported that an innovative gel pad could be used to remedy the effects of compression. However, this combination of freehand 3-D US imaging using a gel pad, to quantify muscle and tendon volume, has not been validated against the gold standard (MRI). The applicability of this technique to muscle–tendon groups other than the plantar flexors remains to be demonstrated, and is important to the development of freehand 3-D US imaging for a number of clinical conditions and anatomical areas.

Hence, the primary aim of the current study was to examine the validity of 3-D US imaging in measuring muscle volume of the hamstrings and GR, as well as the tendon volume of the ST and GR using gel pads in healthy participants. A second aim was to examine the test–retest reliability of these measurements. Considering both the hamstring injury rate in sprinting activities [19,20] and the common use of hamstring–gracilis autografts to replace a ruptured ACL [9,21], the present study was focused on the four hamstring heads (i.e., ST, semimembranosus [SM], biceps femoris short [BFsh] and long heads [BFlh]) and the GR. We hypothesized that 3-D US imaging coupled with a gel pad would be a valid and reliable method to quantify muscle and tendon volumes compared with MRI.

Methods

Participants and experimental design

Thirteen healthy participants (12 men and 1 woman, age 26.6 ± 8.3 y, height 180.3 ± 6.2 cm, mass 73.9 ± 8.3 kg) familiar with weight training volunteered. These participants were recruited from advertisements and word of mouth at a university setting. All participants provided informed consent prior to participation, in accordance with institutional guidelines set by the Declaration of Helsinki (World Declaration of Helsinki, 2013). All procedures were approved by the local ethics committee (CERNI No. 03022021). Potential participants were excluded from the study if they had metal implants, had recently practiced exercises inducing hypertrophy or had any lower limb injury and/or surgery. Participants were asked to avoid physical activities 48 h before and between the imaging sessions. Participants performed three imaging sessions in random order (one MRI and two 3-D US) on separate days within 7 d.

3-D US imaging setup

Two-dimensional B-mode US images were obtained using an US scanner (Aixplorer version 12.3 scanner, SuperSonic Imagine, Aix-en-Provence, France) with a 10–2 linear transducer (40-mm field of view; Vermon, Tours, France) and a 20–6 linear transducer (32-mm field of view, SuperLinear SLH20-6, SuperSonic Imagine, Aix-en-Provence, France) for muscle and for tendon acquisitions, respectively. Image depth was set at 8.5 cm for muscle and 3.5 cm for tendon acquisitions. US images were recorded using a video grabber (ElGato Cam Link, Corsair Components, Fremont, CA, USA). Three-dimensional positions of the transducers were recorded by tracking a 3-D-printed four-marker rigid body attached to the transducers, with an optoelectronic motion capture system collecting at 120 Hz (six cameras, Optitrack Flex 13, NaturalPoint, Corvallis, OR, USA). Data from the US images and from the motion capture system were synchronized and streamed using the open-source software PlusServer (Public Software Library for US Imaging Research, version 2.8.0, Kingston, ON, Canada) [22] and recorded using

the open-source software 3D Slicer (slicer.org, version 4.10.1, Perth, Australia) [22,23].

Temporal calibration, that is, calculation of the latency between the acquisitions of the US images and of their associated positions, was done using the open-source software fCal (Freehand Tracked US Calibration Application, version 2.9.0, Kingston, ON, Canada) [22]. Spatial calibration, that is, calculation of the spatial transformation matrix between the US image plane and the tracker attached to the transducer, was done within 3D Slicer, using a tracked stylus. Both calibrations were done in a water tank for each transducer.

Two gel pads were used to avoid tissue compression and to improve US imaging quality [18]. They were designed and produced to fit appropriately on the posterior thigh depending on the scanning location. The gel pad used for assessing hamstring muscles and GR ($40 \times 60 \times 1.3$ cm) was thicker and larger compared with that used for the tendons ($20 \times 30 \times 0.5$ cm). This was because the curvature was higher and the diameter was smaller in the tendon locations. Experimenters were considerably experienced in the use of the US technique (~ 100 h of familiarization).

3-D US imaging acquisition for muscle volumes

To examine test–retest reliability, participants completed two sessions performed on two different days within a week. Acquisitions involved different limb positions to scan the five aforementioned posterior-medial thigh muscles (Fig. 1). For each position, the limbs of the participants were stabilized comfortably to avoid any movement during the data collection. These positions correspond to the optimal positions for 3-D US scanning found in pilot work. Note that scanning positions slightly differed between acquisitions performed using MRI and US. However, considering that muscles are isovolumic [24], such differences in position are unlikely to bias our measurements. The gel pad was placed over the area to be scanned. Coupling gel was added between the gel pad and the skin and the gel pad surface interface with the US probe to ensure contact between layers.

With respect to positions, while hamstring muscle scans were undertaken in the prone position, participants were placed in a side-lying position for the GR muscle. GR merges proximally with other adductor muscles in a narrow tendon close to the body of the pubis [25]. In addition, scanning the GR proximally can lead to decency/privacy issues, which could have ethical implications. Therefore, we used an anatomical landmark to stop the scan proximally for this muscle. Pilot acquisitions revealed that this method enabled us to maximize the amount of GR volume scanned (70%) for all participants. US imaging was used to identify the anterosuperior iliac spine and the base of the patella. An aluminum-lined tape was placed at 50% of this length and transferred to the medial aspect of the thigh (Fig. 2). In addition, these anatomical landmarks were also easier to locate in MR images for technique comparisons (Fig. 2).

For BFlh and BFsh or ST and SM muscles, multiple sweeps (three to six) were achieved to cover the entire muscle volume, moving the transducer from proximal (the ischial tuberosity for hamstrings and the anatomical landmark for GR) to distal (the pes anserinus for the ST, SM and GR, and the head of the fibula for the BFlh and BFsh) insertions in the transverse plane at a constant speed (~ 1 cm/s). For the GR, two overlapping sweeps were performed to cover the partial muscle volume from the anatomic landmark to the distal insertion.

3-D US imaging acquisition for ST and GR tendon volumes

Participants were placed on their right side (Fig. 1D). The gel pad was placed on the area to be scanned using the same process used during muscle acquisitions. The participants were lying on their side because it avoided gel pad slippage. Furthermore, it also enhanced operator stability in acquiring high-quality images when using the 20/6 probe, which is much more sensitive to tremor.

A – BFlh & BFsh**B – ST & SM****C – GR****D – ST & GR tendons**

Figure 1. Participants' positions during freehand 3-D ultrasound scanning process using the gel pad. Positions were stabilized by foam supports so that the participants could remain motionless without having to produce muscle tension. (A) Setup used to scan the biceps femoris long (BFlh) and short (BFsh) head muscles. (B) Setup used to scan the semitendinosus (ST) and semimembranosus (SM) muscles. (C) Setup used to scan the gracilis muscle (GR). (D) The same setup was also used to scan the gracilis and semitendinosus tendons with a thinner gel pad. The orange area corresponds to the sweeping area during the measurement.

The distal tendons of the ST and GR are distally located into the pes anserinus (in association with the sartorius). The depth and echogenicity of both tendons change rapidly, and they are difficult to follow distally. Therefore, the 3-D US acquisition was stopped 6 cm under the musculotendinous junction to stop the acquisitions distally. This junction was

chosen because it represents a noteworthy and reliable anatomical landmark. On the proximal aspect, we wanted to include intramuscular tendon because this volume is physiologically important and could be used, for instance, for ACL grafts. However, the intramuscular tendon becomes thinner and more difficult to visualize and segment proximally (in both

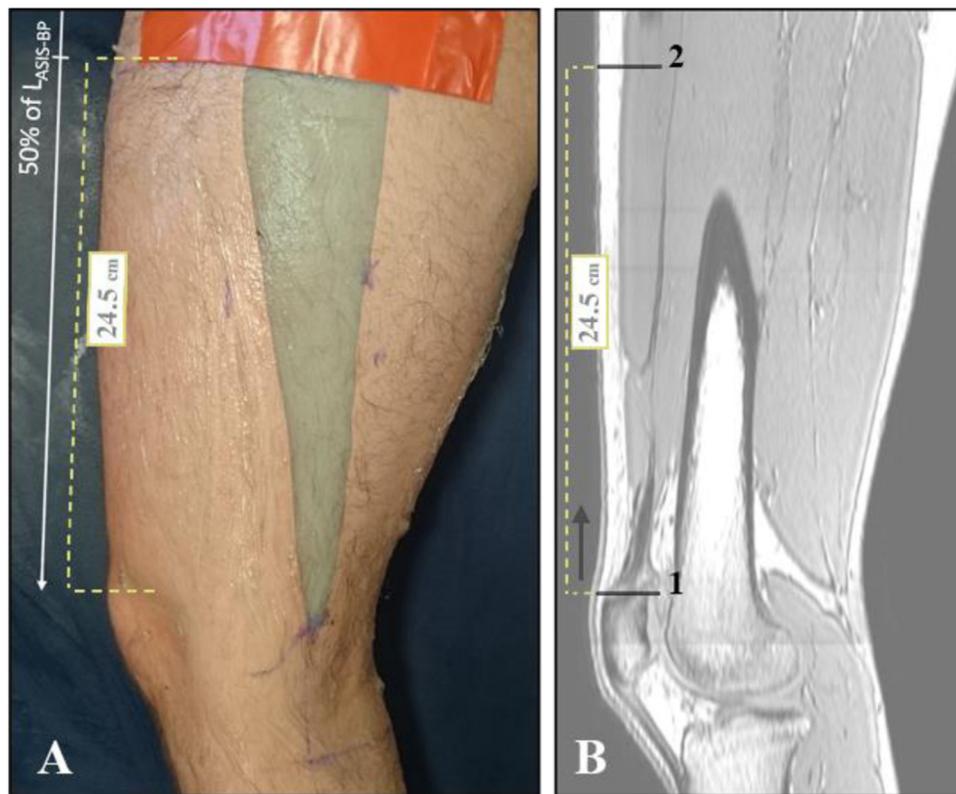


Figure 2. Anatomical landmark used to measure the muscle volume of the gracilis. The anatomical landmark was first determined during the 3-D ultrasound session (A) as 50% of the length between the anterior superior iliac spine and the base of the patella ($L_{ASIS-BP}$). It was transferred to the magnetic resonance imaging scans (B) by identifying (i) the base of the patella, and then by moving up the distance in a straight line to the location of the adhesive strip (ii) where the segmentation could then start proximally.

MRI and 3-D US). Therefore, we also used a landmark to stop tendon acquisitions proximally, and an aluminum-lined tape was placed 6 cm distal to the most distal location of the muscle identified using US. During pilot work, we found that 6 cm represents a good compromise to maintain a significant part of the intramuscular tendon in the analysis and that led to more feasible and accurate segmentation in all our participants' data.

Manual sweeps were performed between proximal and distal landmarks in the transverse plane at a constant speed. One sweep was performed during which the tendon was held in the center of the US screen and two acquisitions were made per tendon.

MRI acquisitions and setup

Participants lay prone on the MRI table with the hip and knee at 0°. Consecutive T1-weighted axial MRIs were recorded of the entire hamstring and GR muscles and tendons from their proximal insertion to their distal anatomical landmark on the lower leg. All participants were scanned using a 3-T magnetic resonance imaging system (Ingenia, Philips, Netherlands) combined with a 3-D e-THRIVE sequence with the following parameters: time to repetition, 6.0 ms; time to echo, 3.0 ms; field of view, 864 × 864 × 472 mm; voxel size, 0.46 × 0.46 × 1 mm; flip angle, 10°. All acquisitions were then imported in 3D Slicer.

3-D US imaging volume reconstruction

For each acquisition, the 3-D volume reconstruction from the 2-D US images was done directly in 3D Slicer, using the module "Volume Reconstruction" [22]. First, a region of interest (ROI) was adapted to the sweeping sequence and was set to be the smallest possible that included the volume of the muscle or tendon in order to minimize the files size while maintaining a high voxel quality. Then, the reconstruction process was automatic and lasted about 3 min for each volume. The algorithm used in 3D Slicer was the same as that used in PlusServer [22]: a 3-D voxel array was filled with the pixels from the US images. The interpolation mode was set to "Linear," meaning that each pixel value was inserted into the spatially nearest set of 8 voxels using trilinear interpolation weights. The compounding mode was set to "Mean", meaning that for each voxel, the resulting pixel value was an average of all inserted pixel values. These parameters allowed for a good resistance to data noise. The size of the voxel was set to 0.10 × 0.10 for the transverse direction and to 1.00 mm for the longitudinal direction, for both muscles and tendons.

Data analysis

Manual segmentation was performed for each muscle and tendon using 3D Slicer, version 4.10.1 [23], for both MRI and US scans. Thus, the same segmentation method was used for both imaging methods and both muscle and tendon acquisitions (Fig. 3).

Muscle boundaries were segmented every 7 mm from proximal to distal insertions, which corresponded to 50–55 slices for the hamstring heads depending on the individual. For the GR, the same proximal anatomic landmark (as that used for US) was identified on MRI scans, and segmentation was initiated at this point (Fig. 2).

Tendon boundaries of the ST and GR were segmented every 3 mm from proximal to distal landmarks, leading to a total of 40 slices. For the reliability examination, the full tendon imaged was segmented between the two landmarks. For the validity examination, a total length of ~12 cm of tendon was segmented (6 cm above and 6 cm below the end of the most distal part of the muscle). Two experienced operators performed the segmentation for muscle and tendon. They were blinded from participant and session.

Statistical analysis

Because data passed the Shapiro–Wilk normality test, parametric procedures were used.

Similarity across 3-D US and MRI was examined using Bland–Altman plots and the 95% limits of agreement analysis [26]. Seven *t*-tests (five muscles, two tendons) were also performed to determine whether the bias was significant or not. For each muscle and tendon volume, test–retest reliability of 3-D US imaging was assessed using the intraclass correlation coefficient ICC_(3,1), coefficient of variation (CV) and standard error of measurement (SEM) [27]. The ICC was considered low if ≤0.50, as moderate if in the range 0.50–0.75, as good if ≥0.75 and as excellent if ≥0.90 [28]. The minimum detectable change (MDC) was calculated as SEM × √2 × 1.96. The statistical significance was set at 0.05. Results are reported as the mean ± standard deviation.

Results

Validity of 3-D US imaging versus MRI

The muscle volumes measured by 3-D US imaging and MRI were 175.9 ± 37.9 and 176.4 ± 38.7 mL, respectively. The bias between the two methods was −1.9 mL (−0.8%) for SM, −1.3 mL (−0.6%) for BF_{lh}, −0.3 mL (−0.1%) for ST, 0.0 mL (0.0%) for GR and 1.2 mL (1.0%) for BF_{sh} (Fig. 4). The limits of agreements were 4.2 mL (1.8%) for SM, 4.4 mL (2.0%) for ST, 4.7 mL (2.1%) for BF_{lh}, 9.9 mL (7.9%) for BF_{sh} and 7.7 mL (11.9%) for GR. Further evidence of validity was the mean 95% confidence interval (CI), which was 2.4 mL for GR, 2.9 mL for BF_{lh}, 3.1 mL for ST and SM and 3.8 mL for BF_{sh}.

The tendon volumes measured by 3-D US imaging and MRI were 1.73 ± 0.40 and 1.73 ± 0.42 mL, respectively. The bias between the two methods was 0.01 mL (0.2%) for ST_{td} and −0.03 mL (−2.6%) for GR_{td}. The limits of agreement were 0.36 mL (18.3%) and 0.10 mL (9.7%) for ST_{td} and GR_{td}, respectively. Further evidence of validity was the mean 95% CI, which was 0.03 mL and 0.11 mL for ST_{td} and GR_{td}, respectively.

Reliability of 3-D US imaging

Test–retest reliability results are reported in Table 1 [1]. With respect to muscle volume, the ICCs ranged between 0.98 (GR) and 1.00, and the CVs ranged between 1.1% (SM) and 3.4% (BF_{sh}). The SEM and MDC ranged from 1.8 mL (GR) to 3.8 mL (BF_{sh}) and from 5.0 mL (GR) to 10.7 mL (BF_{sh}).

With respect to tendon volume, the ICCs were 0.96 and 0.99, and the CVs ranged between 5.71% and 4.90% for ST and GR, respectively. The SEM and MDC ranged between 0.09 and 0.24 mL for ST_{td} and between 0.04 mL and 0.11 mL for GR_{td}.

Discussion

The present study assessed the reliability and validity of 3-D US imaging coupled with a gel pad to measure the volume of muscles and tendons of the hamstring muscles and GR. The present study revealed that 3-D US, combined with the use of a gel pad, provided hamstring (ST, SM, BF_{lh} and BF_{sh}) and GR muscle–tendon volumes with acceptable bias and limits of agreement when compared with the current gold standard (*i.e.*, MRI). In addition, a good inter-day reliability coefficient was apparent for both muscle and tendon volumes obtained using 3-D US.

Three-dimensional US imaging provides an accurate estimation of hamstring muscles and GR muscle–tendon volumes (*i.e.*, all bias <1.0% except that for GR tendon, which was −2.6%) when compared with MRI. The 3-D US method was compared with the current gold standard (MRI), even if this method can also be affected by error of measurements [29]. We acknowledge significant differences in the Bland–Altman plots

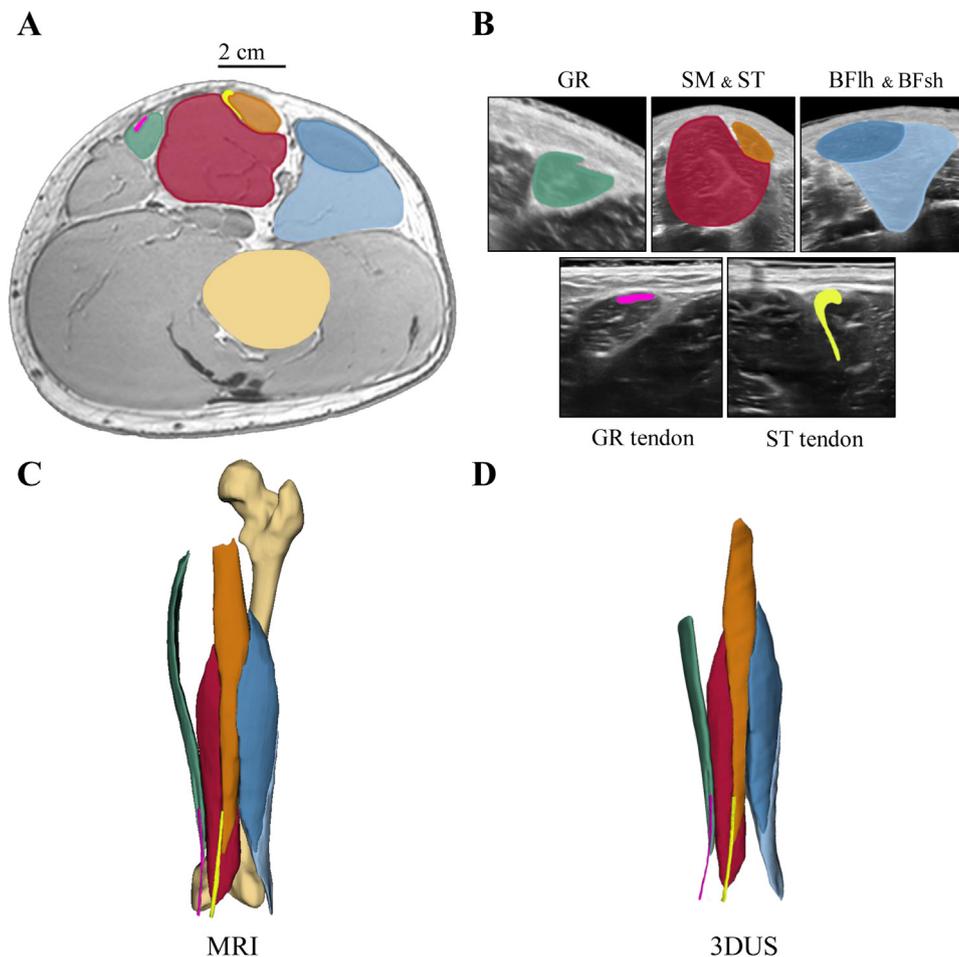


Figure 3. (A) Typical magnetic resonance imaging (MRI) scan with associated segmentation of the five muscles and two tendons. (B) Typical freehand 3-D ultrasound scan (US) of the five acquisitions with associated segmentation of the five muscles and two tendons. (C) Three-dimensional volume reconstruction of the segmented muscles and tendons for MRI (the segmentation of the femur was added for the figure). (D) Three-dimensional volume reconstruction of the segmented muscles and tendons for freehand 3-D US. The biceps femoris long head (BFlh) is represented in blue, the biceps femoris short head (BFsh) in light blue, the semitendinosus (ST) in orange, the semimembranosus (SM) in red and the gracilis (GR) in green. Tendons of the GRtd are represented in pink, and those of the STtd in yellow.

for the GR tendon and the BFlh muscle. However, the differences were very small, and the bias remained largely acceptable (<3%). Interestingly, limits of agreements were smaller for GR tendon (7.1% and –12.3%) and BFlh muscle (4.1% and –5.3%) compared with ST tendon (18.5% and –18.1%) and BFsh (10.9% and –8.9%). Therefore, the fact that the small bias is significant in those two cases does not mean that 3-D US is invalid. Previous studies have reported that freehand 3-D US imaging provides an accurate estimation of gastrocnemius medialis muscle volume [13]. For instance, Barber et al. [13] reported <1.5% differences compared with MRI. Additionally, Haberfehlner et al. [14] found no difference (0.0%) between the distal part of the ST volume assessed by 3-D US and that assessed by dissection. More recently, Devaprakash et al. [30] obtained a bias of 1.1% after comparing volumes obtained by MRI and 3-D US for the Achilles tendon. Accordingly, we found that freehand 3-D US was almost error free compared with MRI in the volume estimation of hamstring muscles. This represents an important step because this muscle group is involved in several clinical scenarios [9], and the work highlights the complex architecture with large intra- and inter-muscular variations [6]. In addition, hamstring muscles are of particular clinical interest in several contexts. For instance, hamstring strain injuries often occur in sports that involve sprinting activity [19]. Monitoring individual hamstring muscle volumes prior to injury could provide valuable information for rehabilitation after an injury. For that instance, it could enable more focused rehabilitation of a specific muscle within the hamstring group [31]. In this context, 3-D US could be very

useful. Our MRI and 3-D US muscle segmentation results are in line with those reported in previous studies for non-sprinters with similar anthropometry parameters (see Additional File S1, Supplementary Material, online only)—65.1 ± 10.9 mL for GR (partial volume), 238.4 ± 45.0 mL for SM, 227.0 ± 55.8 mL for ST, 225.2 ± 53.3 mL for BFlh and 125.2 ± 23.6 mL for BFsh—which confirms the consistency of our results.

Recently, Sahinis et al. [17] used a freehand 3-D US imaging technique to estimate hamstring distal tendon volume. For reliability, the authors reported ICCs from 0.96 to 0.98, SEM values from 0.01 to 0.02 mL and MDC values from 0.03 to 0.07 mL (1.5%–3.2%) for ST tendon measurement. Although ICCs were similar, our SEMs and MDCs were slightly higher (Table 1).

In our study, mean ST tendon volume was 1.73 ± 0.41 mL, which was notably higher than reported in previous studies (e.g., 1.44 mL [17] and 1 mL [9]). Two main explanations are proposed for these differences. First, the proximal part of the STtd (above the musculotendinous junction) was not taken into account in these previous studies in which smaller values were observed. Specifically, they segmented the tendon from the distal insertion to the muscle–tendon junction while we segmented up to 6 cm proximally. Our rationale was that this procedure allowed measurement of tendon used in grafts, for example, in ACL reconstruction [32]. Considering that the intramuscular tendon bundle is much more difficult to segment and could lead us to more interpretation, these methodological differences could partly explain the slightly higher SEM and CV obtained in the present study. In addition, we

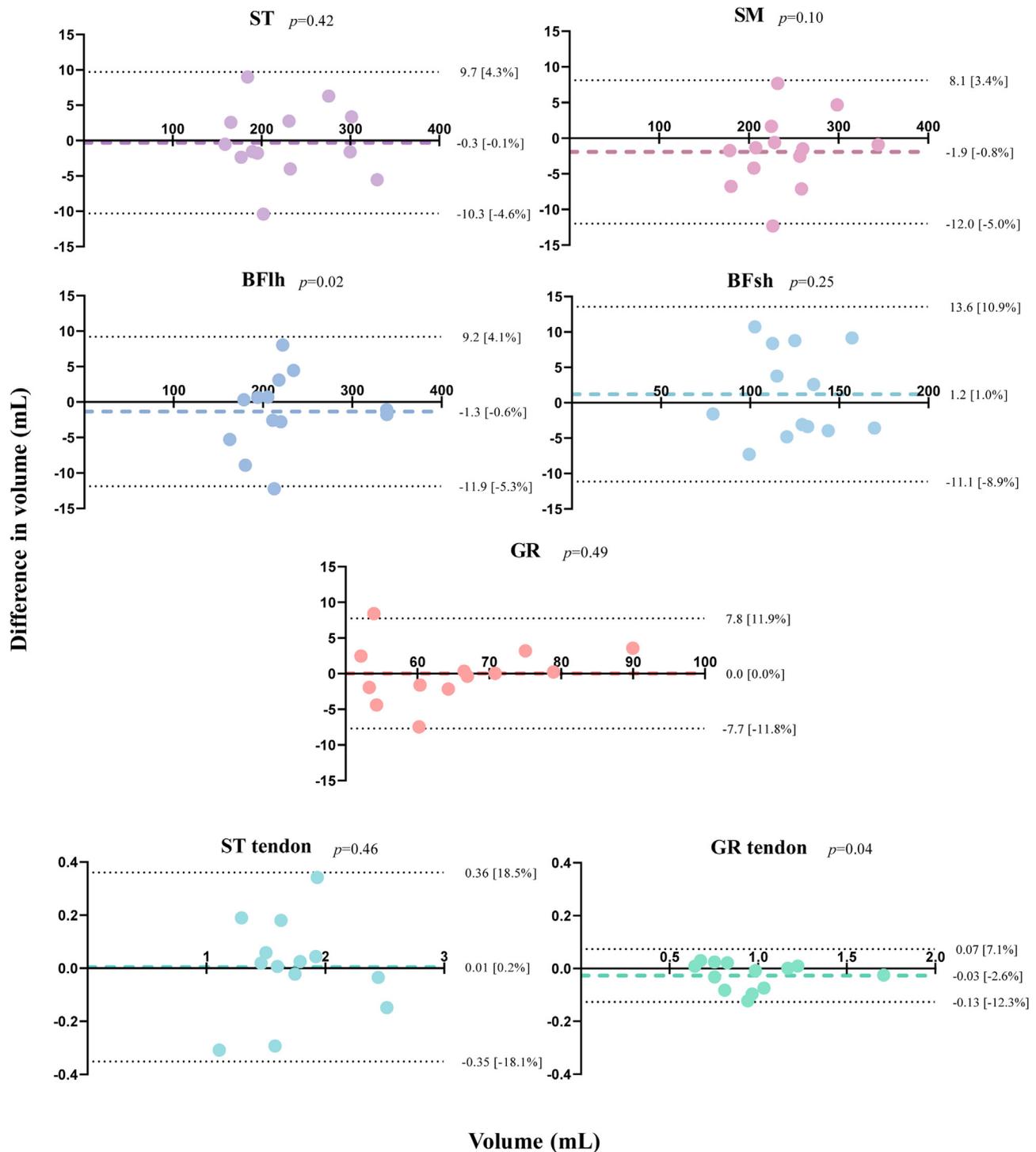


Figure 4. Bland–Altman plots revealing the difference between freehand 3-D ultrasound and magnetic resonance imaging for each muscle and tendon.

realized that this portion is much more likely to have individual variations in terms of morphology (see Additional File S2, Supplementary Material, online only). Further studies might examine the physiological relevance of these variations. In the present study, the tendon volume was not measured up to the insertion distally because we were not able to scan the tendon at its insertion to the pes anserinus. Distal to the medial condyle area the images were too dark to be analyzed with confidence. Second, we reported high inter-individual variability in tendon architecture, in particular in the intramuscular part. This variability could be, at least partially, explained by the training status of our participants. Some participants were involved in strength training programs

and that tendon volume could be positively influenced by weight training [33]. Relatedly, it can also partly explain the differences in volume reported by Sahinis et al. [17]. For instance, MacLeod et al. [34] obtained STtd volumes of 3.68, 2.49 and 2.81 mL for three participants, which are higher than our results, after rehabilitation and 3 y of training in their regular sports.

It should be noted that volumetric measurements require a manual segmentation of the images. The sharpness of the muscular septum was not clearly delineated on each acquisition (see Additional File S3, Supplementary Material, online only). This procedure has been widely acknowledged as time consuming [35]. For instance, the typical

Table 1
Inter-session reliability of muscle and tendon volumes assessed by freehand 3-D ultrasound

Muscle/ tendon	Session 1 (mL)	Session 2 (mL)	ICC	CV (%)	SEM (mL)	MDC (mL)
GR	65.1 ± 11.9	64.7 ± 10.7	0.98	2.77	1.79	4.95
SM	237.7 ± 46.8	237.8 ± 46.3	1.00	1.13	2.75	7.62
ST	226.2 ± 57.4	228.2 ± 57.1	1.00	1.22	2.63	7.28
BFlh	223.7 ± 55.0	225.0 ± 54.2	1.00	1.88	3.81	10.55
BFsh	125.4 ± 24.5	126.1 ± 23.6	0.98	3.37	3.85	10.67
STtd	1.73 ± 0.40	1.73 ± 0.42	0.96	5.71	0.09	0.24
GRtd	0.97 ± 0.29	0.95 ± 0.28	0.99	4.90	0.04	0.11

BFlh, biceps femoris long head; BFsh, biceps femoris short head; CV, coefficient of variation; GR, gracilis; GRtd, gracilis tendon; ICC, intraclass correlation coefficient; MDC, minimum detectable change; SEM, standard error of measurement; SM, semimembranosus; ST, semitendinosus; STtd, semitendinosus tendon.

duration of the segmentation (for both MRI and 3-D US images) for one participant in the present study was 15 h (10 h for the muscles and 5 h for the tendons).

Recent studies have indicated that neural network analyses provide a successful alternative to automatically estimate muscle volume from freehand 3-D US imaging [36] and MRI images [32]. A sufficient database is required to develop and validate this approach for hamstring muscles and tendons. Overall, the use of freehand 3-D US without the need for water and combined with automatic data processing would make this method more feasible in clinical scenarios. Furthermore, as always when using US, experience is very important as US is operator dependent, as already reported for 2-D US and CSA in hamstring muscles [12]. However, in our study, operators had ~5 mo of specific training related to scanning and analyzing the muscles of interest. Therefore, although it is necessary to perform appropriate training, years of experience are not mandatory.

Muscle and tendon volumes are often used to quantify hypertrophy or atrophy over time (e.g., strength training) [2]. For instance, seated leg curl practiced over 12 wk can lead to an improvement of hamstring muscle group volume of 37.8 mL for ST, 16.6 mL for SM, 24.5 mL for BFlh and 7.9 mL for BFsh, on average [37]. As already reported in the quadriceps [38,39], hypertrophy could be inhomogeneous and lead in shape changes of the muscle. Therefore, it remains important to measure several CSAs or to report the muscle volume. A number of studies have estimated the muscle volume based on several CSAs measured using 2-D US and tape measurements. Although this method is easier to implement, it remains less accurate because the motion of the probe is measured with a millimetric precision using motion capture [40,41].

In contrast, a rapid loss of hamstring muscle volume has been observed in bed rest situations [4,42]. Kilroe et al. [4] have also reported a decrease of 156 mL of the whole quadriceps volume after 7 d of disuse caused by immobilization. Furthermore, tendon volume can also be modified by training, with patellar tendon volume increasing after 12 wk of heavy knee extension strength training [43]. If one considers our MDCs concerning muscular volume (range from 3.85 to 10.67 mL), we are confident that the method implemented in the present study provides sufficient accuracy to consider it a good alternative to MRI, which is more expensive to purchase and to service thereafter.

Limitations

Some limitations to the present study that should be considered. First, methodological choices were made for the scanning protocol after the training of experimenters and the pilot experiments. As previously discussed, anatomical landmarks were sometimes used to guide stopping the acquisitions when the quality of scans was not good. An example is during assessment of tendons on the distal and proximal extremities. Additionally, ethical reasons were apparent at times; for example, decency-related modifications had to be implemented when undertaking scans of the GR muscles. In addition, the scanning

position was slightly changed between the various muscle–tendon groups and sometimes slightly differed from the gold standard scans performed using MRI. Considering the isovolumic property of muscles [24], such slight changes should not influence volume measurements. In our experience from pilot testing, the reliability and accuracy were better using these small modifications in positioning. Where possible, we recognize that is very important to prioritize image quality and to perform all the adjustments required for that purpose. Second, although the MRI sequence was optimal or close to optimal for muscles, it was probably not the case for tendons. The size of the voxel in MRI imaging was $0.46 \times 0.46 \times 1.00$ mm. In the current study, the size of the pixel was smaller than that reported in a previous older investigation of ST tendons (0.22×0.22 mm) [44]. Using the high-frequency probe (20–6 MHz) for tendons resulted in a voxel size of $0.10 \times 0.10 \times 1.00$ mm. This could have induced a random error in the comparison between 3-D US and MRI, and the 95% CI would have probably been lower with a better resolution on the MRI imaging. It could also explain partially why the CVs (3.19%–3.43%) were slightly higher in tendon than in muscle.

Conclusion

The present study has found that 3-D US can provide a valid and reliable inter-day measurement of ST, SM, BFlh, BFsh and GR (partial) muscle volume and STtd and GRtd volumes. It is the first study to provide a comprehensive assessment of all muscle within the hamstring muscle group. The error caused by measurement and processing is acceptable and in accordance with previous 3-D US imaging studies. Therefore, it provides evidence for this technique to be used in exercise training and clinical environments (e.g., ACL reconstruction with a hamstring tendon graft or hamstring sprain injury).

Data availability

We performed this study using 3D Slicer software, which is open source. Resources, data, and tutorials for our 3-D ultrasound system are available at <https://github.com/AurelieSar/3Dultrasound/> and <https://www.github.com/AntoineFrouin/3DUS-results> (github.com).

Conflict of interest

The authors declare no competing interests.

Supplementary materials

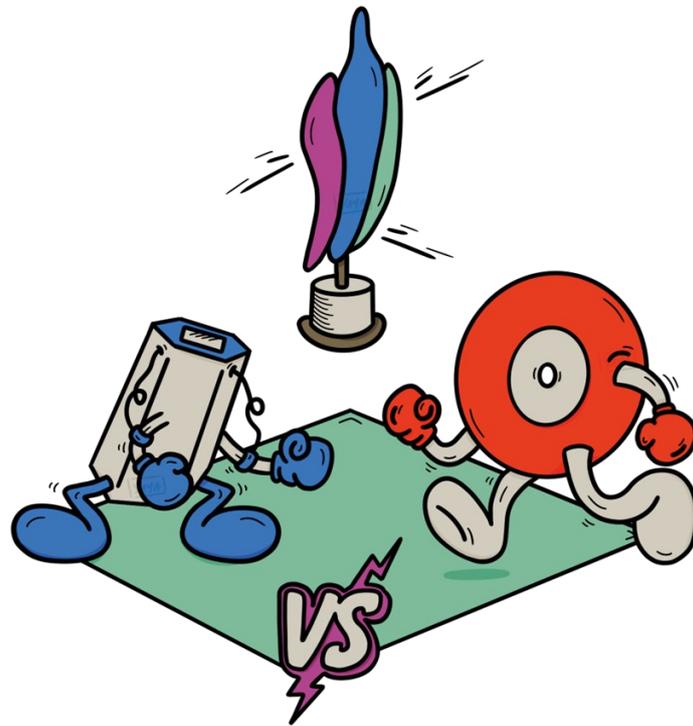
Supplementary material associated with this article can be found in the online version at [doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.012](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.012).

References

- [1] Cawthon PM, Travison TG, Manini TM, Patel S, Pencina KM, Fielding RA, et al. Establishing the link between lean mass and grip strength cut points with mobility disability and other health outcomes: proceedings of the Sarcopenia Definition and Outcomes Consortium Conference. *J Gerontol Ser A* 2020;75:1317–23.
- [2] Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Dose–response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: a systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci* 2017;35:1073–82.
- [3] Lasevicius T, Schoenfeld BJ, Silva-Batista C, Barros T de S, Aihara AY, Brendon H, et al. Muscle failure promotes greater muscle hypertrophy in low-load but not in high-load resistance training. *J Strength Conditioning Res* 2022;36:346–51.
- [4] Kilroe SP, Fulford J, Jackman SR, Van Loon LJC, Wall BT. Temporal muscle-specific disuse atrophy during one week of leg immobilization. *Med Sci Sports Exercise* 2020;52:944–54.
- [5] Dutaillis B, Maniar N, Opar DA, Hickey JT, Timmins RG. Lower limb muscle size after anterior cruciate ligament injury: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2021;51:1209–26.
- [6] Kellis E. Intra- and inter-muscular variations in hamstring architecture and mechanics and their implications for injury: a narrative review. *Sports Med* 2018;48:2271–83.
- [7] Kellis E, Sahinis C. Is muscle architecture different in athletes with a previous hamstring strain? A systematic review and meta-analysis. *J Funct Morphol Kinesiol* 2022;7:16.
- [8] van Eck CF, Schreiber VM, Mejia HA, Samuelsson K, van Dijk CN, Karlsson J, et al. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of surgical techniques and reporting of surgical data. *Arthroscopy* 2010;26:S2–12.
- [9] Konrath JM, Vertullo CJ, Kennedy BA, Bush HS, Barrett RS, Lloyd DG. Morphologic characteristics and strength of the hamstring muscles remain altered at 2 years after use of a hamstring tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2016;44:2589–98.
- [10] Kositsky A, Gonçalves BAM, Stenroth L, Barrett RS, Diamond LE, Saxby DJ. Reliability and validity of ultrasonography for measurement of hamstring muscle and tendon cross-sectional area. *Ultrasound Med Biol* 2020;46:55–63.
- [11] Stenroth L, Sefa S, Arokoski J, Töyräs J. Does magnetic resonance imaging provide superior reliability for Achilles and patellar tendon cross-sectional area measurements compared with ultrasound imaging? *Ultrasound Med Biol* 2019;45:3186–98.
- [12] Franchi MV, Raiteri BJ, Longo S, Sinha S, Narici MV, Csapo R. Muscle architecture assessment: strengths, shortcomings and new frontiers of in vivo imaging techniques. *Ultrasound Med Biol* 2018;44:2492–504.
- [13] Barber L, Barrett R, Lichtwark G. Validation of a freehand 3D ultrasound system for morphological measures of the medial gastrocnemius muscle. *J Biomech* 2009;42:1313–9.
- [14] Haberehner H, Maas H, Harlaar J, Becher JG, Buizer AI, Jaspers RT. Freehand three-dimensional ultrasound to assess semitendinosus muscle morphology. *J Anat* 2016;229:591–9.
- [15] Haberehner H, Jaspers RT, Rutz E, Harlaar J, van der Sluijs JA, Witbreuk MM, et al. Outcome of medial hamstring lengthening in children with spastic paresis: a biomechanical and morphological observational study. *PLoS One* 2018;13:e0192573.
- [16] Galanis N, Savvidis M, Tsifountoudis I, Gkouvas G, Alafropatis I, Kirkos J, et al. Correlation between semitendinosus and gracilis tendon cross-sectional area determined using ultrasound, magnetic resonance imaging and intraoperative tendon measurements. *J Electromyogr and Kinesiol* 2016;26:44–51.
- [17] Sahinis C, Kellis E, Dafkou K, Ellinoudis A. Reliability of distal hamstring tendon length and cross-sectional area using 3-D freehand ultrasound. *Ultrasound Med Biol* 2021;47:2579–88.
- [18] Thomare J, Lacourpaille L, McNair PJ, Crouzier M, Ellis R, Nordez A. A gel pad designed to measure muscle volume using freehand 3-dimensional ultrasonography. *J Ultrasound Med* 2021;40:1245–50.
- [19] Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med* 2016;50:731–7.
- [20] Hickey JT, Timmins RG, Maniar N, Williams MD, Opar DA. Criteria for progressing rehabilitation and determining return-to-play clearance following hamstring strain injury: a systematic review. *Sports Med* 2017;47:1375–87.
- [21] Messer DJ, Shield AJ, Williams MD, Timmins RG, Bourne MN. Hamstring muscle activation and morphology are significantly altered 1–6 years after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2020;28:733–41.
- [22] Ungi T, Lasso A, Fichtinger G. Open-source platforms for navigated image-guided interventions. *Med Image Anal* 2016;33:181–6.
- [23] Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging* 2012;30:1323–41.
- [24] Herbert RD, Bolsterlee B, Gandevia SC. Passive changes in muscle length. *J Appl Physiol* 2019;126:1445–53.
- [25] Khan IA, Bordoni B, Varacallo M. Anatomy, bony pelvis and lower limb, thigh gracilis muscle. Treasure Island, FL: StatPearls; 2022.
- [26] Martin Bland J, Altman Douglas G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;327:307–10.
- [27] Hopkins W. A new view of statistics. *Internet Soc Sport Sci* 2000 <http://www.sportsci.org/resource/stats/>.
- [28] Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med* 2016;15:155–63.
- [29] Pons C, Borotikar B, Garetier M, Burdin V, Ben Salem D, Lempereur M, et al. Quantifying skeletal muscle volume and shape in humans using MRI: a systematic review of validity and reliability. *PLoS One* 2018;13:e0207847.
- [30] Devaprakash D, Lloyd DG, Barrett RS, Obst SJ, Kennedy B, Adams KL, et al. Magnetic resonance imaging and freehand 3-D ultrasound provide similar estimates of free Achilles tendon shape and 3-D geometry. *Ultrasound Med Biol* 2019;45:2898–905.
- [31] Konishi Y, Kinugasa R, Oda T, Tsukazaki S, Fukubayashi T. Relationship between muscle volume and muscle torque of the hamstrings after anterior cruciate ligament lesion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012;20:2270–4.
- [32] Chen X, Lu R, Zhao F. Convolutional neural network-processed MRI images in the diagnosis of plastic bronchitis in children. *Contrast Media Mol Imaging* 2021;2021:1–8.
- [33] Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Med Open* 2015;1:7.
- [34] Macleod TD, Snyder-Mackler L, Axe MJ, Buchanan TS. Early regeneration determines long-term graft site morphology and function after reconstruction of the anterior cruciate ligament with semitendinosus–gracilis autograft: a case series. *Int J Sports Phys Ther* 2013;8:256–68.
- [35] Le Troter A, Fouré A, Guye M, Confort-Gouny S, Mattei JP, Gondin J, et al. Volume measurements of individual muscles in human quadriceps femoris using atlas-based segmentation approaches. *Magn Reson Mater Phys* 2016;29:245–57.
- [36] Chanti DA, Duque VG, Crouzier M, Nordez A, Lacourpaille L, Mateus D. IFSS-Net: interactive few-shot Siamese network for faster muscle segmentation and propagation in volumetric ultrasound. *IEEE Trans Med Imaging* 2021;40:2615–28.
- [37] Maeo S, Huang M, Wu Y, Sakurai H, Kusagawa Y, Sugiyama T, et al. Greater hamstrings muscle hypertrophy but similar damage protection after training at long versus short muscle lengths. *Med Sci Sports Exercise* 2021;53:825–37.
- [38] Wakahara T, Ema R, Miyamoto N, Kawakami Y. Inter- and intramuscular differences in training-induced hypertrophy of the quadriceps femoris: association with muscle activation during the first training session. *Clin Physiol Funct Imaging* 2017;37:405–12.
- [39] Earp JE, Newton RU, Cormie P, Blazevich AJ. Inhomogeneous quadriceps femoris hypertrophy in response to strength and power training. *Med Sci Sports Exercise* 2015;47:2389–97.
- [40] Mersmann F, Bohm S, Schroll A, Boeth H, Duda G, Arampatzis A. Muscle shape consistency and muscle volume prediction of thigh muscles: thigh muscle volume prediction. *Scand J Med Sci Sports* 2015;25 e208–13.
- [41] Vanmechelen IM, Shortland AP, Noble JJ. Lower limb muscle volume estimation from maximum cross-sectional area and muscle length in cerebral palsy and typically developing individuals. *Clin Biomech* 2018;51:40–4.
- [42] Franchi MV, Sarto F, Simunic B, Pišot R, Narici MV. Early changes of hamstrings morphology and contractile properties during 10 d of complete inactivity. *Med Sci Sports Exercise* 2022;54:1346–54.
- [43] Kongsgaard M, Reitelsheder S, Pedersen TG, Holm L, Aagaard P, Kjaer M, et al. Region specific patellar tendon hypertrophy in humans following resistance training. *Acta Physiol* 2007;191:111–21.
- [44] Hamada M, Shino K, Mitsuoka T, Abe N, Horibe S. Cross-sectional area measurement of the semitendinosus tendon for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1998;14:696–701.

E_tude #2 :

Comparaison d'une méthode d'entraînement contre résistance à charge lourde vs charge légère et BFR pour l'hypertrophie des ischio-jambiers.



Publication associée :

A. Frouin, Guillaume Le Sant, L. Barbier, E. Jacquemin, P. McNair, et al.. Individual distribution of muscle hypertrophy among hamstring muscle heads: Adding muscle volume where you need is not so simple.

Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 2024, 34 (3)

Résumé Etude #2

L'objectif de cette étude était de déterminer si un programme d'entraînement en résistance de 9 semaines basé sur une charge élevée (HL) par rapport à une charge faible combinée à une restriction du flux sanguin (LL-BFR) induisait une distribution similaire (i) de l'hypertrophie musculaire parmi les têtes des ischio-jambiers (*semimembranosus*, SM ; *semitendinosus*, ST ; et *biceps femoris* longue portion, BF) et (ii) l'ampleur de l'hypertrophie du tendon du ST, en utilisant un essai contrôlé randomisé en parallèle.

Pour cette étude, 45 participants ont été répartis au hasard dans l'un des trois groupes suivants : HL, LL-BFR et contrôle (CON). Les groupes HL et LL-BFR ont suivi un programme d'entraînement en résistance de 9 semaines composé d'exercices de « leg curl » et de « deadlift ». L'échographie 3D a été utilisée pour évaluer les modifications de volume des muscles (ST,SM,BFlh) et du tendon du ST.

L'augmentation du volume du ST était significativement plus importante pour le groupe HL ($26,5 \pm 25,5$ %) en comparatif au groupe CON ($p = 0,004$). Aucune différence n'a été retrouvée entre le groupe CON et le groupe LL-BFR pour le volume musculaire du ST ($p = 0,627$). La modification du volume du SM était plus importante pour le groupe LL-BFR ($21,6 \pm 27,8$ %) que pour le groupe CON ($p = 0,025$). Aucun changement de volume du muscle BF dans le groupe LL-BFR ($14,0 \pm 16,5\%$; $p = 0,436$) n'a été rapporté en comparatif au groupe CON. Aucune différence n'a été retrouvée entre le groupe HL et le groupe CON pour le volume du muscle BF ($p = 1,0$). En ce qui concerne le volume du tendon ST, nous n'avons pas rapporté d'effet des régimes d'entraînement ($p = 0,411$).

Ces résultats prouvent que le programme HL a induit une hypertrophie sélective du ST tandis que le LL-BFR a induit une hypertrophie du SM. L'ampleur de l'hypertrophie sélective observée dans chaque groupe varie considérablement d'un individu à l'autre. Ces résultats suggèrent qu'il est très difficile de déterminer la localisation de l'hypertrophie induite par un entraînement contre résistance au sein d'un groupe musculaire. Le programme d'entraînement avait été conçu afin d'être ensuite adaptable à des patients atteints d'une rupture du LCA en phase pré opératoire afin de développer la force maximale et le volume musculaires des muscles de la cuisse.

Individual distribution of muscle hypertrophy among hamstring muscle heads: Adding muscle volume where you need is not so simple

A. Frouin^{1,2}  | G. Le Sant^{1,3} | L. Barbier^{1,3} | E. Jacquemin^{1,3} | P. J. McNair⁴ | R. Ellis^{4,5} | A. Nordez^{1,4,6} | L. Lacourpaille¹ 

¹Nantes Université, Movement – Interactions – Performance, MIP, Nantes, France

²Institut Sport Atlantique, ISA, Nantes, France

³School of Physiotherapy, IFM3R, Nantes, France

⁴Health and Rehabilitation Research Institute, Faculty of Health and Environmental Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

⁵Active Living and Rehabilitation: Aotearoa, School of Clinical Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

⁶Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France

Correspondence

L. Lacourpaille, Nantes University, Laboratory Movement, Interactions, Performance (UR 4334), 25 bis boulevard Guy Mollet, BP 72206, 44322 Nantes cedex 3, France.
Email: lilian.lacourpaille@univ-nantes.fr

Abstract

Purpose: The aim of this study was to determine whether a 9-week resistance training program based on high load (HL) versus low load combined with blood flow restriction (LL-BFR) induced a similar (i) distribution of muscle hypertrophy among hamstring heads (*semimembranosus*, SM; *semitendinosus*, ST; and *biceps femoris* long head, BF) and (ii) magnitude of tendon hypertrophy of ST, using a parallel randomized controlled trial.

Methods: A total of 45 participants were randomly allocated to one of three groups: HL, LL-BFR, and control (CON). Both HL and LL-BFR performed a 9-week resistance training program composed of seated leg curl and stiff-leg dead-lift exercises. Freehand 3D ultrasound was used to assess the changes in muscle and tendon volume.

Results: The increase in ST volume was greater in HL ($26.5 \pm 25.5\%$) compared to CON ($p=0.004$). No difference was found between CON and LL-BFR for the ST muscle volume ($p=0.627$). The change in SM muscle volume was greater for LL-BFR ($21.6 \pm 27.8\%$) compared to CON ($p=0.025$). No difference was found between HL and CON for the SM muscle volume ($p=0.178$). There was no change in BF muscle volume in LL-BFR ($14.0 \pm 16.5\%$; $p=0.436$) compared to CON group. No difference was found between HL and CON for the BF muscle volume ($p=1.0$). Regarding ST tendon volume, we did not report an effect of training regimens ($p=0.411$).

Conclusion: These results provide evidence that the HL program induced a selective hypertrophy of the ST while LL-BFR induced hypertrophy of SM. The magnitude of the selective hypertrophy observed within each group varied greatly between individuals. This finding suggests that it is very difficult to early determine the location of the hypertrophy among a muscle group.

KEYWORDS

hamstring, individual hypertrophy, muscle volume, resistance training

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

© 2024 The Authors. *Scandinavian Journal of Medicine & Science In Sports* published by John Wiley & Sons Ltd.

1 | INTRODUCTION

The hamstring muscles play an important role in many sports. It is thought that hamstring muscle strengthening is necessary to improve sports performance¹ and reduce the risk of muscle and anterior cruciate ligament (ACL) injuries,² among other benefits. Therefore, it is important to optimize strengthening programs that aims to induce hypertrophy, and blood flow restriction (BFR) has been suggested as a relevant method for achieving this aim.³ This method allows individuals to reach, at low load, muscle failure approximately 30% faster.³ Muscle failure is crucial to maximize muscle hypertrophy at low load (for review, see Grgic et al.⁴). Thus, low load with BFR is effective at inducing hypertrophy which is particularly useful in clinical settings, where the ability of an individual to lift high load is reduced (e.g., rehabilitation after an ACL reconstruction).⁵ Thus, a better understanding of BFR training effects is currently a topic of high interest.

Following 10 weeks of training, Bourne et al.⁶ found that Nordic hamstring exercise favored the hypertrophy of *semitendinosus* [ST (21%)] compared to *semimembranosus* [SM (5%)] and *biceps femoris* long head [BF_{lh} (6%)], while the 45° hip extension exercise induced a more balanced hypertrophy between muscles. In this study, participants from the Nordic hamstring group performed eccentric contractions at a supramaximal resistance exclusively (i.e., the participants were not able to resist until the full range of motion) while participants from the 45° hip extension group performed the exercise at 60%–80% of the maximal repetition (1-RM). It is currently unknown whether the differences in hamstring hypertrophy distribution originates from either the movement orientations (knee vs. hip) or relative loads (supramaximal vs. submaximal). If the magnitude of the load is involved, can training at high load versus low load BFR also induce selective hypertrophies among hamstring muscles? This question is crucial to better understand the effects of strengthening programs using BFR.

In an orthopedic surgery context, the patella tendon and the semitendinosus tendon are the most utilized grafts after ACL rupture. Studies involving uninjured participants have demonstrated that resistance training is effective in increasing cross-sectional area in the patellar tendon.^{7,8} For instance, Malliaras et al.⁸ reported an increase of $5 \pm 7\%$ in cross-sectional area of the patellar tendon after 9 weeks of concentric resistance training performed at 80% of the 1-RM. More recently, Centner et al.⁹ reported that tendon hypertrophy (approximately 10% in patellar tendon) was observed at low load (20%–35% of the 1-RM) combined with BFR. Concerning ST tendons, if the cross-section of these grafts is smaller than 8 mm, the

relative risk for graft failure is nearly seven times greater.¹⁰ Hence, it could be beneficial to perform resistance training before surgery in order to induce tendon hypertrophy. It has been shown that ST exhibited the largest hypertrophic response among hamstring muscles in elite sprinters¹¹ and after strength training programs.^{6,12} Thus, ST represents a good candidate to study tendon hypertrophy in the perspective of preoperative resistance training for ACL graft.¹⁰ To the best of our knowledge, no studies have investigated ST tendon hypertrophy, regardless of the load applied during training.

Using a randomized controlled trial design, the current study aims were to determine whether a 9-week resistance training program based on high load (12-RM) versus low load (30-RM) combined with BFR induced a similar (i) distribution of muscle hypertrophy among hamstring heads and (ii) magnitude of tendon hypertrophy of ST. Due to differences in the magnitude of load,⁶ we hypothesized that the high load (HL), and low load with BFR (LL-BFR) programs would lead to a different distribution of muscle hypertrophy among hamstring heads. In accordance with a recent study conducted in the Achilles tendon using BFR,¹³ we also hypothesized a significant tendon hypertrophy of ST, regardless of the load.⁹

2 | METHODS

2.1 | Participants

Forty-five recreationally active participants, that is, performing physical activity (team sports, running, etc.), of which 14 were women, volunteered to participate (age = 22.0 ± 3.3 years; height = 175 ± 8.7 cm; mass = 69.2 ± 8.6 kg). Note that the participants were accustomed to strengthening practice but were not currently engaged in hamstring strengthening exercises. All participants were recruited at the Faculty of Sports Sciences that require at least 8 h of sport activities weekly. Potential participants that undergo any form of resistance training (e.g., gym, Crossfit, and strength training) at the moment of inclusion were deemed not eligible for the trial. Participants had no recent lower limb injury within last 6 months, no limitation of the function of their knee, and did not require any intervention from a health care professional. Participants with a contraindication to having BFR training were also excluded.¹⁴ Before inclusion, participants were informed about the study risks and hypothetical advantages and then gave their written consent. The study was approved by the ethics committee (n°2021-A02993-38), and all the experiments were conducted in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki.

2.2 | Experimental design

A parallel randomized controlled trial design was implemented to compare the effect of 9 weeks of HL or LL-BFR resistance training on the distribution of hamstring muscle hypertrophy and the magnitude of ST tendon hypertrophy. Participants were randomly allocated to one of three groups: HL, LL-BFR, and control (CON) using Research Randomizer (Urbaniak and Plous, 2007). All participants underwent two identical assessment sessions the week before and after the training program (pre- and post-, respectively). Assessments were composed of (i) freehand 3D ultrasound (3DUS) measurements of hamstring muscle volume and ST tendon volume and (ii) maximal isometric voluntary contractions of knee flexors (e.g., maximal force). Assessors were blinded to group allocation during the testing sessions. All measurements and training sessions were supervised and completed at the Faculty of Sports Sciences at Nantes University (France).

2.3 | Resistance training program procedures

The protocol consisted of a total of 27 training sessions performed over 9 weeks. For the experimental groups (HL and LL-BFR), training consisted of three sessions weekly, while the CON group continued their regular sport activities, and were asked not to start any new activities.

Two training sessions (a & b) that used different exercises were alternated over the duration of the training program: the session (a) was composed of stiff-leg deadlift and front squat, and the session (b) was composed of a bi-set of bilateral seated leg curl and seated leg extension. Each session was started by a 10-min standardized warm up.

2.3.1 | High-load training program (HL)

In Weeks 1–3, each HL training session consisted of three sets of each exercise and thereafter this was increased up to five sets over the remaining weeks. The number of sets were adjusted every 3 weeks to match the training load between groups (see details in section: “Quantification of training load”). During the first training session and every 3 weeks, the maximal load that enabled the participants to perform 12 repetitions (i.e., 12-RM) was determined for each exercise.¹⁵ For a progressive increase in training load over the 9 weeks, participants performed a maximum of repetitions with two to three repetitions in reserve (i.e., rating of perceived exertion 8 (RPE)), during the first 3 weeks, and performed maximum of repetitions to failure

each set from Weeks 4–9. A resting period of 1.5 min was used between the sets.

2.3.2 | Low load combined with blood flow restriction (LL-BFR)

Each LL-BFR training session consisted three sets of each exercise (stiff-leg deadlift and front squat (session a) or seated leg curl and seated leg extension (session b)). During the first training session and every 3 weeks thereafter, the maximal load for performing 30 repetitions was determined for each exercise involving BFR (i.e., 30-RM¹⁵). Each set of LL-BFR training session was performed utilizing the MAD-UP Pro BFR device (Angers, France, 2020). Two 10.5 cm cuffs were positioned on each leg at the most proximal aspect of the thigh. Then, 80% of arterial occlusion pressure was applied in a supine lying position at the beginning of each set.¹⁶ A resting period of 1.5 min was used between sets. During rest, the occlusion was set at 30% arterial occlusion. For a progressive increase in training load over the 9 weeks, participants performed a maximum of repetitions with two to three repetitions in reserve (i.e., RPE 8) during the first 3 weeks, and thereafter from Weeks 4–9 performed a maximum of repetitions to failure for each set.

2.4 | Muscle and tendon volume

Briefly, ultrasound imaging was used to obtain two-dimensional B-mode images (Aixplorer version 12.3 scanner, SuperSonic Imagine, Aix-en-Provence, France), using a 10–2 linear transducer (40 mm field of view; Vermon, Tours, France) and a 20–6 linear transducer (32 mm field of view; SuperLinearTM SLH20-6; SuperSonic Imagine; Aix-en-Provence, France) for muscle and for tendon acquisitions, respectively. Image depth was set at 8.5 cm for muscle and 3.5 cm for tendons acquisitions. B-mode images were recorded using a video grabber (ElGato Cam Link; Corsair Components; Fremont, CA). An optoelectronic motion capture system collecting at 120 Hz (six cameras Optitrack Flex 13, NaturalPoint, USA) recorded 3D positions of the transducers by tracking a 3D printed four-marker rigid body attached to the transducers. Data from the B-mode images were recorded and synchronized with the motion capture system using the open-source software 3D Slicer ([slicer.org](https://www.slicer.org); v. 4.10.1; Perth, Australia) (Fedorov et al.¹⁷ Ungi et al.¹⁸). Two gel pads were used to avoid tissue compression and to improve ultrasound imaging quality.¹⁹ The validity of freehand 3DUS to measure hamstring muscle and tendon volume has been established (see Bohm et al.²⁰).

Participants were positioned in prone for scanning. Multiple sweeps (three–six) were undertaken to cover the entire muscle bulk moving the transducer from proximal (the ischial tuberosity) to distal insertions (the *pes anserinus* for the ST and SM, and the head of the fibula for the BF) in the transverse plane at a constant speed (~1 cm/s).²⁰ The distal tendon of ST was located distally with the *pes anserinus* (in association with *gracilis* and *sartorius*). Freehand 3DUS acquisition was stopped 6 cm distal to this musculotendinous junction. The same experimenter trained in ultrasound imaging performed all testing blinded to group allocation.

2.5 | Maximum voluntary torque

Unilateral maximal isometric knee flexion torque was measured at 80° of hip flexion and at 60° of knee flexion with an isokinetic dynamometer (ConTrex MJ, CMV AG, Dubendorf, Switzerland). Three maximal voluntary contraction (MVC) trials were performed. If more than 10% of variation was found between the MVCs, a fourth trial was performed. For MVC trials, participants were asked to generate maximal strength as fast and as strong as possible, and to maintain the contraction for 3–4 s. They were strongly encouraged by the experimenter. The MVCs were performed with 2 min of rest in between.

2.6 | Data processing

2.6.1 | Quantification of training load

As training volume is the main resistance training feature that influences muscle hypertrophy,^{21,22} total training volume (TTV) was quantified as follows [Equation 1]²³ and matched between HL and LL-BFR groups:

$$\text{TTV (a. u.)} = \text{nb. of sets} \times \text{nb. of reps.} \times \% \text{RM for RR (1)}$$

Note that the % RM for relative range (RR) corresponded to the number of repetitions performed at a given load expressed as a percentage of the maximal number of repetitions. This method allowed us to consider the metabolic load of each set.²²

2.6.2 | 3DUS imaging volume reconstruction

For each acquisition, the 3D volume reconstruction of the 2D ultrasound images was performed in the 3D Slicer application, using the module “volume reconstruction”.¹⁸ Accordingly, the reconstruction process was automatic for each volume (Figure 1). The algorithm used in 3D Slicer was the same as that used in PlusServer, that is, a 3D voxel

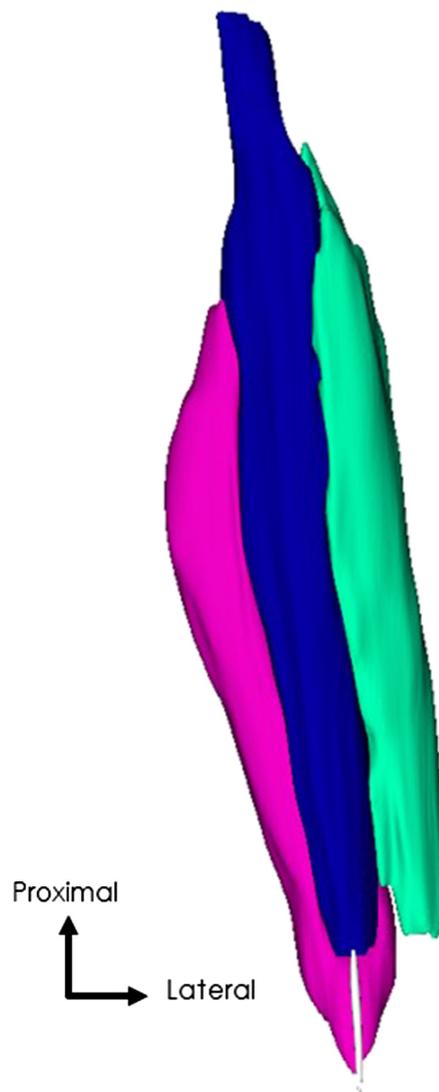


FIGURE 1 Typical 3D reconstruction of hamstring volume from 3D freehand ultras. *Biceps femoris* long head is represented in green, *semitendinosus* in blue, and *semimembranosus* in pink.

array is filled with the pixels from the ultrasound images. The interpolation mode was set to “Linear,” meaning that each pixel value was inserted into the spatially nearest set of 8 voxels using trilinear interpolation weights to insure the consistency of the 3D reconstructed image. The size of the voxel was set to 0.10*0.10 for the transverse direction and set to 1.00 mm for the longitudinal direction, for both muscles and tendons.

2.6.3 | 3DUS imaging volume segmentation

Using 3D Slicer v. 4.10.1, manual segmentation was performed on each muscle and tendon by an experienced operator (Fedorov et al.¹⁷). Muscle boundaries were segmented every 7 mm from proximal to distal insertions, which corresponded to 50–55 slices for the different hamstring

heads depending on the individual. From proximal to distal landmarks, tendon boundaries of ST were segmented every 3 mm, leading to a total of 40 slices. The operator was blinded from participant and session information.²¹

2.7 | Statistics

All statistical analyses were performed with Rstudio (Statistica v7.0, StatSoft, Tulsa, OK, USA). Paired t-test were performed to report differences between groups in anthropometric variables. A simple linear model was used to report the effect of group (between subject factor: LL-BFR, HL, and CON) on MVC or ST tendon volume. To consider the subject-specific differences, we used a linear mixed effect model to determine the influence of the group (LL-BFR, HL, and CON) on the relative changes in hamstring volume and muscle (SM, ST, and BF). When appropriate, a Bonferroni corrected *post hoc* analysis was performed. Effect sizes were calculated using Hedge's G for intra and between-group comparisons considering <0.1, 0.1–0.29, 0.30–0.49, >0.5 as *negligible*, *small*, *medium*, and *large* effect, respectively.²⁴ Level of significance was set at $p < 0.05$.

3 | RESULTS

Participant characteristics are presented in Table 1. No significant differences in anthropometric features were detected between groups (all p -values >0.50). A total of 36 participants completed the 9 weeks training program (80% completion rate). All of the dropouts ($n=9$; HL (4), LL-BFR (2), and CON (3)) were for personal convenience and/or injuries from usual sport activities. The total training load did not significantly differ between LL-BFR (9923 ± 1131 a.u.) and HL (10245 ± 1253 a.u.) ($p=0.389$) (Table 2).

3.1 | Maximum voluntary torque

There was a significant effect of group on MVC ($p=0.043$). The increase in MVC was greater in HL ($9.5 \pm 13.3\%$) compared to control group ($-0.34 \pm 8.75\%$) ($p=0.004$). No significant differences were found between LL-BFR

($6.16 \pm 9.28\%$) and CON ($p=0.314$), neither between LL-BFR and HL ($p=0.961$).

3.2 | Relative changes in muscle volume

A significant group*time interaction was detected ($p=0.015$).

3.2.1 | Biceps femoris long head

The change in BF was not different in LL-BFR ($14.0 \pm 16.5\%$), compared to CON ($p=0.436$). No difference was found neither between HL ($4.0 \pm 9.1\%$) and CON ($1.1 \pm 6.9\%$) ($p=1$), nor between HL and BFR ($p=1$) (Figure 2). Interindividual variability of the changes in muscle volume, attributable to training, is noteworthy. The largest hypertrophy within the hamstring group was found in the BF muscle for 38% of the LL-BFR participants (5/13), while this result was not observed in any participant of HL group (0/11) (Figure 3).

3.2.2 | Semitendinosus

The relative increase in ST volume compared to baseline was greater in HL ($26.5 \pm 25.5\%$) compared to CON ($p=0.004$, Figure 2B). No difference was found with LL-BFR ($10.8 \pm 11.4\%$) ($p=0.376$) (Figure 2B) neither between CON ($-0.14 \pm 7.29\%$) and LL-BFR ($p=0.627$). The hypertrophy of the ST muscle was largest within the hamstring group for 23% (3/13) and 73% (8/11) participants of LL-BFR and HL groups, respectively (Figure 3).

3.2.3 | Semimembranosus

The percentage change in SM volume was greater for LL-BFR ($21.6 \pm 27.8\%$) compared to CON ($0.29 \pm 5.19\%$) ($p=0.025$) but no difference was found with HL ($17.1 \pm 20.5\%$) ($p=1.0$) (Figure 2C). No difference was found between HL and CON ($p=0.178$). Moreover, 38% (5/13) and 27% (3/11) participants exhibited a largest hypertrophy of the SM in the LL-BFR and HL groups, respectively (Figure 3).

TABLE 1 Participants features for each group.

Group	HL	BFR-LL	CON
Women/Men	5/6	4/9	4/8
Age (years)	21.6 ± 3.1	21.6 ± 2.9	23.4 ± 4.0
Height (cm)	174.9 ± 8.8	175.0 ± 8.0	174.2 ± 10.9
Weight (kg)	69.4 ± 11.0	68.0 ± 8.9	68.4 ± 8.4

Abbreviations: BFR-LL, low load with blood flow restriction; CON, control; HL, high load.

Total training load (a.u.)

Group	Seated leg curl	Stiff-leg deadlift	Total training load
BFR-LL	38 866	31 967	140 319
HL	41 003	28 318	139 792

Abbreviations: HL, high load; BFR-LL, low load with blood flow restriction.

TABLE 2 Total training load (a.u.) per exercise for each group.

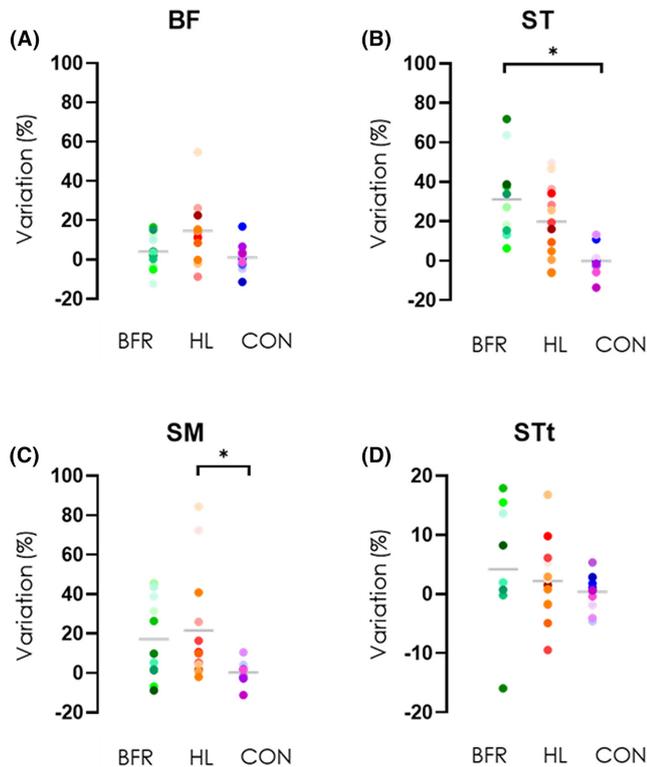


FIGURE 2 Muscle and tendon volume before (pre) and after (post) a 9-week resistance training program with high load (HL), and low load with blood flow restriction LL-BFR (BFR). The control group (CON) did not receive any intervention. (A) *Biceps femoris long head*; (B) *semitendinosus*; (C) *semimembranosus*; (D) *semitendinosus* tendon. Each participant is depicted by a colored circle that indicates individual variation. The gray line indicates the mean variation of each group. * indicates significant differences between pre and post measurements for each group ($p < 0.05$).

3.3 | Relative changes in tendon volume

Simple linear model revealed no significant effect of group for ST tendon ($p = 0.41$).

4 | DISCUSSION

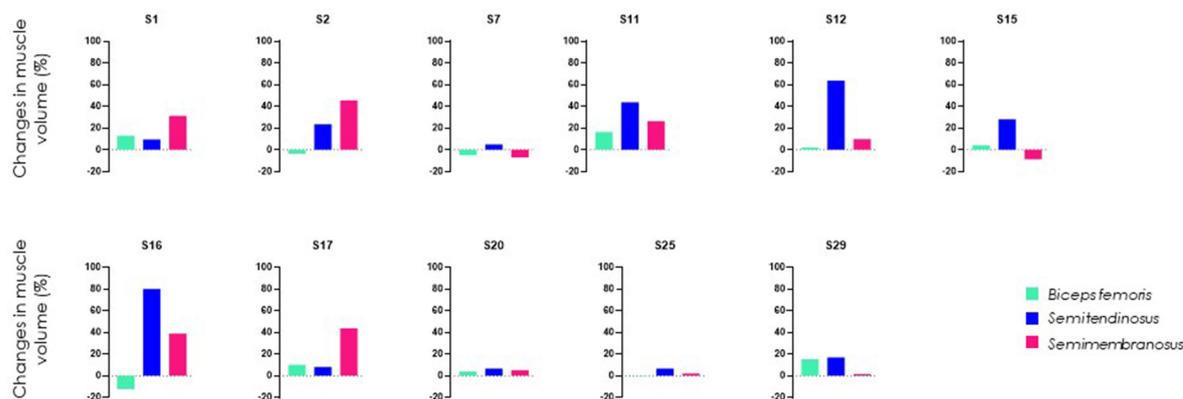
The present study showed that the distribution of hypertrophy among the hamstring muscles differed between HL and LL-BFR groups. Although both groups trained with the

same amount of hip-extension and knee-flexion movement, the HL program induced a selective hypertrophy of the ST muscle (26.5%), while no significant changes were found in SM (17.1%) and BF (4.0%) muscles compared to CON. In contrast, LL-BFR exhibited hypertrophy in SM (21.6%) but not for BF (14.6%) and ST (10.8%) muscles compared to CON. In addition, the magnitude of the selective hypertrophy observed within each group varied greatly between individuals. Regarding tendon, none of the training regimens induced significant hypertrophy of ST.

We found an increase of approximately +15.9% in whole hamstring muscle volume after a 9-week resistance training program (three times a week) with high loads (12-RM). This result is similar than reported in Bourne's study (12%, 10 weeks of training).⁶ Similarly, Maeo et al.¹² reported hypertrophy of +12.5% with a moderate training load (from 50% to 70% of 1-RM) after a 12-week training program. To the best of our knowledge, the present study is the first to report that LL-BFR and HL training regimes increased hamstring muscle volume to a similar extent, and is in accordance with previous studies that used LL-BFR on knee extensors²⁵ and elbow flexors.²⁶ Although LL-BFR produced less mechanical tension due to lower load, various mechanisms may trigger muscle hypertrophy and increase in strength. It has been suggested that increased levels of metabolic stress, due to the alteration of the venous return, is the primary driving stimulus in the hypertrophy induced by low load.²⁷ Briefly, LL-BFR training stimulates Groups III and IV afferent fibers through the accumulation of metabolites (e.g., lactate and hydrogen ions) that decreases intramuscular pH within a hypoxic environment. It triggers a cascade of anabolic reactions promoting hypertrophy (i.e., angiogenesis, satellite cells activation, and increase in growth hormone).^{27–29} This hypertrophy was associated with an increase in maximal knee flexion strength for HL (+9.5%) compared to CON group, while no differences were observed between HL and LL-BFR groups. Relatedly, a recent systematic review indicated that both strengthening methods could induce a similar hypertrophic response with larger maximal strength gains observed for HL groups.⁹

For the first time, differences in the distribution of hamstring hypertrophy between HL and LL-BFR are reported. Some studies have used HL resistance training

HL



BFR

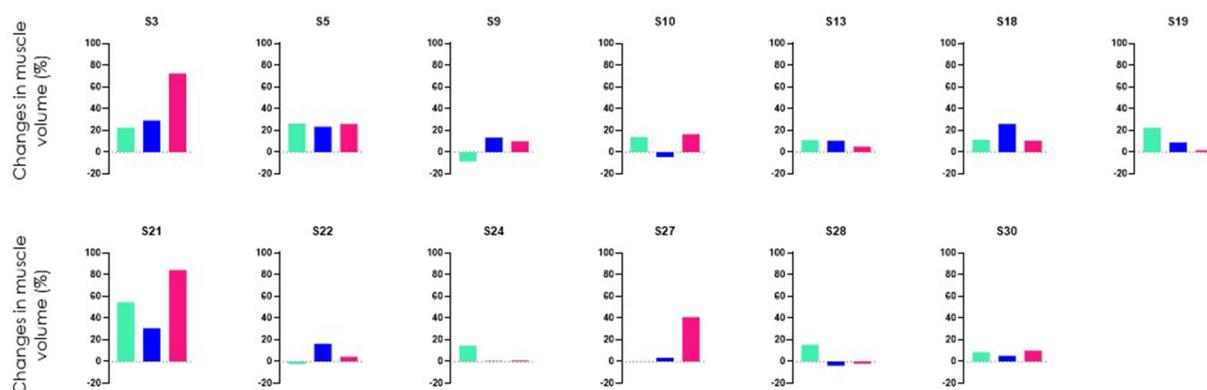


FIGURE 3 Hamstring volume variation as a percentage change for each participant after a 9-week resistance training for both groups (a = high load and b = low load with blood flow restriction). Each muscle is represented by a color: green = *biceps femoris* long head; blue = *semitendinosus*; pink = *semimembranosus*.

programs for inducing hamstring hypertrophy by either hip- or knee-dominant exercise.^{6,12,30} We have collated the results from the different groups of these studies to estimate the distribution of hypertrophy induced by HL type programs composed of seated and lying leg curl,¹² Nordic hamstring,¹² 45° hip extension,⁶ and hip extension (eccentric and isometric conditions³⁰) exercises. This additional analysis on data of the literature showed a hypertrophy of approximately $18.5 \pm 2.5\%$ for ST, $7.1 \pm 1.6\%$ for SM, and $9.9 \pm 0.8\%$ for BF. This is in accordance with the current study showing a selective hypertrophy of the ST ($+26.5 \pm 25.5\%$). This largest hypertrophy of the ST was observed for 8 out of 11 participants of the HL group which is notably more than the 3 out of 13 participants in the LL-BFR group (Figure 3). This confirms that ST muscle exhibited a large hypertrophic potential when the individuals are involved in physical activities that require high force level, as previously shown on elite sprinters.¹¹ To the best of our knowledge, this is the first study reporting the distribution of hamstring hypertrophy after LL-BFR training program. Interestingly, LL-BFR induced a selective

hypertrophy of the SM (21.6%). Although speculative, it is likely that the LL-BFR allows participants to choose a muscle coordination that limits the metabolic cost of the task³¹ while it is not possible for the HL group, when a high level of force is required.^{32,33} For a given muscle force, there will be less metabolic cost if the muscle with the greatest physiological cross sectional area (PCSA) is used.³¹ As SM muscle exhibited the greatest PCSA (207 cm^3) compared to ST (173 cm^3) and BF (185 cm^3),³¹ it is likely that the nervous system favored its contribution during the 9 weeks of training of the LL-BFR group. This bias of coordination to SM has been already reported at low level of force (20% of MVC),³⁴ close to those used in LL-BFR group (30% 1RM) of the present study. This bias of coordination was not observed at moderate level of force ($\sim 50\%$ MVC).³⁴ Further research is needed to describe hamstring muscle coordination during such combination of exercises at HL and LL-BFR and its relationship with the distribution of muscle hypertrophy.

No previous studies have reported the interindividual variability in the distribution of the hypertrophy

(Figure 3). Regardless of the group, we found that the hypertrophy could be selective to ST (e.g., participant #12, Figure 3), BF (e.g., participant #19, Figure 3), SM (e.g., participant #27, Figure 3), or balanced (e.g., participant #5, Figure 3). Relatedly though, individual distribution of muscle activation (heterogenous activation between participants) has been observed during walking,³⁵ pedaling,³⁵ and resistance training exercises.³⁶ Such findings may explain, at least partly, the individual distribution of hypertrophy reported above. Although the distribution of muscle activation does not predict the distribution of hypertrophy,^{32,37} a recent study from Goreau et al.³⁸ has shown that the distribution of activation has mechanical consequences. These authors considered the distribution of muscle damage, after an unaccustomed bout of maximal eccentric contractions, as a model to study distribution of mechanical stress among a muscle group. Interestingly, the authors reported that when considering an individual muscle, the larger the bias of activation to a muscle, the larger the amount of damage to this particular muscle. It is reasonable to assume that the repetition of this exercise over time, with this distribution of mechanical stress (related to the distribution of activation), may influence the distribution of hypertrophy among a muscle group. The estimation of individual muscle force using a forward dynamic approach³⁵ would be a relevant approach to test this hypothesis.

Numerous studies have shown that tendon (e.g., Achilles and patellar tendon) morphological adaptations can be influenced by the type of resistance training (for review see Ref. [20]). ST tendon is often chosen for ACL reconstruction surgery. In respect of this premise, we focused upon ST tendon hypertrophy. No significant tendon hypertrophy was observed (i.e., HL ($4.2 \pm 9.4\%$)), LL-BFR ($1.9 \pm 7.1\%$), and CON ($0.4 \pm 2.5\%$) ($p = 0.411$). This finding was not in accordance with previous studies showing significant hypertrophy in patellar and Achilles tendons.^{9,13} However, it is important to note that although nonsignificant, the magnitude of the changes in tendon volume in LL-BFR ($g = 0.05$ (2.0%)) and the HL groups ($g = 0.18$ (4.2%)) observed in the current study were similar to those reported in the aforementioned studies. Malliaras et al.⁸ reported an increase about approximately 5% in the patellar tendon after a 9-week HL (80% 1RM) resistance training program. Also, Centner et al.⁹ reported an average increase in patellar tendon CSA about approximately 4% for both groups (HL and LL-BFR training) after 14 weeks of training. Two main hypotheses may explain the absence of significant effect in our study. First, the 9-week training period could be too shorter term to have induced a significant change in ST tendon volume. Second, some studies reported

that the changes in patellar and Achilles tendon volume were heterogenous along their length.^{9,13,39,40} Our approach at the level of tendon volume may have lacked of sensitivity to detect differences. Finally, the differences in baseline in tendon volume between subjects could have influenced the results of our study.

5 | PERSPECTIVES

Although LL-BFR and HL improved hamstring muscle volume to a similar extent, its distribution differed between SM, ST, and BF. The hypertrophy was mainly located in ST for the HL group while it was located in SM for the LL-BFR group, the magnitude of these distributions varied greatly between participants. These results provide the first impetus for trying to personalize rehabilitation exercise aiming to induce a selective hypertrophy. Regarding the selective atrophy reported after ACL reconstruction (Konrath et al.⁴¹) it could be interesting to determine whether tailored pre- and/or post-surgical rehabilitation programs enhance maximal strength restoration after an ACL repair. It is also relevant for any intervention that aimed at tailoring hypertrophy among hamstring muscles.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors want to thank Delis AHO and cofounders of MAD-UP Pro (Angers, France, 2020) for the free loan of the BFR device during the study.

FUNDING INFORMATION

The authors declare no external funding or sponsorship related to this study.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

The authors declare no conflicts of interest.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ORCID

A. Frouin  <https://orcid.org/0009-0001-8546-4386>

L. Lacourpaille  <https://orcid.org/0000-0002-9664-8121>

REFERENCES

- Maniar N, Carmichael DS, Hickey JT, et al. Incidence and prevalence of hamstring injuries in field-based team sports: a systematic review and meta-analysis of 5952 injuries from over 7 million exposure hours. *Br J Sports Med.* 2023;57(2):109-116. doi:10.1136/bjsports-2021-104936

2. Hu C, Du Z, Tao M, Song Y. Effects of different hamstring eccentric exercise programs on preventing lower extremity injuries: a systematic review and meta-analysis. *IJERPH*. 2023;20(3):2057. doi:10.3390/ijerph20032057
3. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, et al. Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2018;48(2):361-378. doi:10.1007/s40279-017-0795-y
4. Grgic J, Schoenfeld BJ, Orazem J, Sabol F. Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*. 2022;11(2):202-211. doi:10.1016/j.jshs.2021.01.007
5. Colapietro M, Portnoff B, Miller SJ, Sebastianelli W, Vairo GL. Effects of blood flow restriction training on clinical outcomes for patients with ACL reconstruction: a systematic review. *Sports Health*. 2023;15(2):260-273. doi:10.1177/19417381211070834
6. Bourne MN, Timmins RG, Opar DA, et al. An evidence-based framework for strengthening exercises to prevent hamstring injury. *Sports Med*. 2018;48(2):251-267. doi:10.1007/s40279-017-0796-x
7. Seynnes OR, Erskine RM, Maganaris CN, et al. Training-induced changes in structural and mechanical properties of the patellar tendon are related to muscle hypertrophy but not to strength gains. *J Appl Physiol*. 2009;107(2):523-530. doi:10.1152/japplphysiol.00213.2009
8. Malliaras P, Barton CJ, Reeves ND, Langberg H. Achilles and patellar tendinopathy loading programmes: a systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. *Sports Med*. 2013;43(4):267-286. doi:10.1007/s40279-013-0019-z
9. Centner C, Jerger S, Lauber B, et al. Low-load blood flow restriction and high-load resistance training induce comparable changes in patellar tendon properties. *Med Sci Sports Exerc*. 2022;54(4):582-589. doi:10.1249/MSS.0000000000002824
10. Conte EJ, Hyatt AE, Gatt CJ, Dhawan A. Hamstring autograft size can be predicted and is a potential risk factor for anterior cruciate ligament reconstruction failure. *Arthroscopy*. 2014;30(7):882-890. doi:10.1016/j.arthro.2014.03.028
11. Handsfield GG, Knaus KR, Fiorentino NM, Meyer CH, Hart JM, Blemker SS. Adding muscle where you need it: non-uniform hypertrophy patterns in elite sprinters. *Scandinavian Med Sci Sports*. 2017;27(10):1050-1060. doi:10.1111/sms.12723
12. Maeo S, Huang M, Wu Y, et al. Greater hamstrings muscle hypertrophy but similar damage protection after training at long versus short muscle lengths. *Med Sci Sports Exerc*. 2021;53(4):825-837. doi:10.1249/MSS.0000000000002523
13. Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, König D. Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2019;49(1):95-108. doi:10.1007/s40279-018-0994-1
14. Minniti MC, Statkevich AP, Kelly RL, et al. The safety of blood flow restriction training as a therapeutic intervention for patients with musculoskeletal disorders: a systematic review. *Am J Sports Med*. 2020;48(7):1773-1785. doi:10.1177/0363546519882652
15. Baechle TR, Earle RW, National Strength & Conditioning Association (U.S.), eds. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. 3rd ed. Human Kinetics; 2008.
16. Das A, Paton B. Is there a minimum effective dose for vascular occlusion during blood flow restriction training? *Front Physiol*. 2022;13:838115. doi:10.3389/fphys.2022.838115
17. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network. *Magn Reson Imaging*. 2012;30(9):1323-1341. doi:10.1016/j.mri.2012.05.001
18. Ungi T, Lasso A, Fichtinger G. Open-source platforms for navigated image-guided interventions. *Med Image Anal*. 2016;33:181-186. doi:10.1016/j.media.2016.06.011
19. Thomare J, Lacourpaille L, McNair PJ, Crouzier M, Ellis R, Nordez A. A gel pad designed to measure muscle volume using freehand 3-dimensional ultrasonography. *J Ultrasound Med*. 2021;40(6):1245-1250. doi:10.1002/jum.15490
20. Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Med – Open*. 2015;1(1):7. doi:10.1186/s40798-015-0009-9
21. Frouin A, Guenanten H, Le Sant G, et al. Validity and reliability of 3-D ultrasound imaging to measure hamstring muscle and tendon volumes. *Ultrasound Med Biol*. 2023;49(6):1457-1464. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.012
22. Schoenfeld BJ, Contreras B, Krieger J, et al. Resistance training volume enhances muscle hypertrophy but not strength in trained men. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51(1):94-103. doi:10.1249/MSS.0000000000001764
23. Scott BR, Duthie GM, Thornton HR, Dascombe BJ. Training monitoring for resistance exercise: theory and applications. *Sports Med*. 2016;46(5):687-698. doi:10.1007/s40279-015-0454-0
24. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front Psychol*. 2013;4:863. doi:10.3389/fpsyg.2013.00863
25. Ellefsen S, Hammarström D, Strand TA, et al. Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. *Am J Phys Regul Integr Comp Phys*. 2015;309(7):R767-R779. doi:10.1152/ajpregu.00497.2014
26. Farup J, de Paoli F, Bjerg K, Riis S, Ringgard S, Vissing K. Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy: fatigue and muscle hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25(6):754-763. doi:10.1111/sms.12396
27. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med*. 2015;45(2):187-200. doi:10.1007/s40279-014-0264-9
28. Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, et al. Muscle adaptations to high-load training and very low-load training with and without blood flow restriction. *Front Physiol*. 2018;9:1448. doi:10.3389/fphys.2018.01448
29. Rossi FE, De Freitas MC, Zanchi NE, Lira FS, Cholewa JM. The role of inflammation and immune cells in blood flow restriction training adaptation: a review. *Front Physiol*. 2018;9:1376. doi:10.3389/fphys.2018.01376
30. Carmichael DS, Hickey JT, Tofari PJ, Bourne MN, Ward MR, Timmins RG. Effect of an isometric or eccentric hip extension exercise intervention on hamstring strength, architecture, and morphology. *Med Sci Sports Exerc*. 2022;54(12):2196-2207. doi:10.1249/MSS.0000000000003012

31. Biewener AA. Locomotion as an emergent property of muscle contractile dynamics. *J Exp Biol*. 2016;219(2):285-294. doi:[10.1242/jeb.123935](https://doi.org/10.1242/jeb.123935)
32. Vigotsky AD, Halperin I, Trajano GS, Vieira TM. Longing for a longitudinal proxy: acutely measured surface EMG amplitude is not a validated predictor of muscle hypertrophy. *Sports Med*. 2022;52(2):193-199. doi:[10.1007/s40279-021-01619-2](https://doi.org/10.1007/s40279-021-01619-2)
33. Pincheira PA, Martinez-Valdes E, Guzman-Venegas R, et al. Regional changes in muscle activity do not underlie the repeated bout effect in the human gastrocnemius muscle. *Scandinavian Med Sci Sports*. 2021;31(4):799-812. doi:[10.1111/sms.13912](https://doi.org/10.1111/sms.13912)
34. Avrillon S, Hug F, Guilhem G. Bilateral differences in hamstring coordination in previously injured elite athletes. *J Appl Physiol*. 2020;128(3):688-697. doi:[10.1152/jappphysiol.00411.2019](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00411.2019)
35. Hug F, Vogel C, Tucker K, et al. Individuals have unique muscle activation signatures as revealed during gait and pedaling. *J Appl Physiol*. 2019;127(4):1165-1174. doi:[10.1152/jappphysiol.01101.2018](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01101.2018)
36. Boyer A, Hug F, Avrillon S, Lacourpaille L. Individual differences in the distribution of activation among the hamstring muscle heads during stiff-leg Deadlift and Nordic hamstring exercises. *J Sports Sci*. 2021;39(16):1830-1837. doi:[10.1080/02640414.2021.1899405](https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1899405)
37. Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Than C, Brown JM. Methods matter: the relationship between strength and hypertrophy depends on methods of measurement and analysis. *PeerJ*. 2018;6:e5071. doi:[10.7717/peerj.5071](https://doi.org/10.7717/peerj.5071)
38. Goreau V, Pigne R, Bernier N, Nordez A, Hug F, Lacourpaille L. Hamstring muscle activation strategies during eccentric contractions are related to the distribution of muscle damage. *Scandinavian Med Sci Sports*. 2022;32(9):1335-1345. doi:[10.1111/sms.14191](https://doi.org/10.1111/sms.14191)
39. Stafilidis S, Arampatzis A. Muscle – tendon unit mechanical and morphological properties and sprint performance. *J Sports Sci*. 2007;25(9):1035-1046. doi:[10.1080/02640410600951589](https://doi.org/10.1080/02640410600951589)
40. Jerger S, Centner C, Lauber B, et al. Effects of specific collagen peptide supplementation combined with resistance training on Achilles tendon properties. *Scandinavian Med Sci Sports*. 2022;32(7):1131-1141. doi:[10.1111/sms.14164](https://doi.org/10.1111/sms.14164)
41. Konrath JM, Vertullo CJ, Kennedy BA, Bush HS, Barrett RS, Lloyd DG. Morphologic characteristics and strength of the hamstring muscles remain altered at 2 years after use of a hamstring tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2016;44(10):2589-2598. doi:[10.1177/0363546516651441](https://doi.org/10.1177/0363546516651441)

How to cite this article: Frouin A, Le Sant G, Barbier L, et al. Individual distribution of muscle hypertrophy among hamstring muscle heads: Adding muscle volume where you need is not so simple. *Scand J Med Sci Sports*. 2024;34:e14608. doi:[10.1111/sms.14608](https://doi.org/10.1111/sms.14608)

E

tude #3 :

Comparaison de deux programmes de rééducation pre opératoire à une ligamentoplastie du LCA : une étude de faisabilité « ACLstrong »



Etude en cours :

A. Frouin, L. Lacourpaille, N.Jarno , A.Nordez, P. MacNair et al., Comparison of two prehabilitation program before an anterior cruciate ligament reconstruction: a feasibility study (ACLstrong)

Résumé Etude #3

La rééducation pre opératoire vise, à préparer les patients de par l'augmentation de leurs capacités fonctionnelles, à l'opération. Cette phase permettrait d'optimiser la récupération post opératoire. Cependant, les modalités les plus efficaces avant la reconstruction du ligament croisé antérieur restent inconnues.

L'objectif principal de cette étude est de démontrer la faisabilité de la mise en place d'un essai clinique visant à comparer l'influence de deux programmes pre opératoires sur la force maximale des extenseurs et fléchisseurs de genou.

Les participants en attente d'une ligamentoplastie ont été (et seront ; étude en cours) recrutés dans des cabinets de kinésithérapie libérale et seront répartis au hasard dans l'un des deux groupes pour suivre un programme de rééducation de 9 semaines avant la chirurgie. Les participants du groupe « entraînement à la résistance » suivront un programme d'entraînement conçu pour augmenter la force et le volume des muscles du genou avec une augmentation progressive de la charge d'entraînement qui a été détaillé dans l'étude précédente (**#2**). Les participants du « groupe conventionnel » effectueront des exercices d'équilibre et de proprioception, des exercices d'entraînement et des exercices d'entraînement au poids du corps. À ce jour 6 patients ont été recrutés. Ces derniers ont tous terminé le programme de rééducation pre opératoire. 4 d'entre eux ont également achevé les 4 premiers mois de rééducation post opératoire.

Aucun évènement indésirable n'a été signalé par les kinésithérapeutes en charge du suivi des patients en rééducation. La totalité des mesures a pu être effectué en laboratoire et l'ensemble des données a pu être traitée. Les patients témoignent d'une augmentation en force des extenseurs et fléchisseurs de genou mais également d'une augmentation de la qualité de vie. La rééducation pre opératoire semble donc avoir un effet positif sur l'évolution des paramètres mesurés.

Comparaison de deux programmes d'entraînement pre opératoires : une étude de faisabilité (ACLstrong)

Frouin A^{1,2}, Jarno N^{1,3}, McNair PJ⁴, Ellis R^{4,5}, Nordez A^{1,4,6}, Lacourpaille L¹, Le Sant G^{1,3,7}

¹ Nantes Université, Movement - Interactions - Performance, MIP, UR 4334, F-44000 Nantes, France

² Institut Sport Atlantique, ISA, Nantes, France

³ School of Physiotherapy, IFM3R, Nantes, France

⁴ Health and Rehabilitation Research Institute, Faculty of Health and Environmental Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

⁵ Active Living and Rehabilitation: Aotearoa, School of Clinical Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

⁶ Institut Universitaire de France (IUF)

⁷ Nantes Université – UFR Médecine et techniques médicales – Pôle Fédératif en Soins Primaires

Correspondence:

Le Sant Guillaume

Nantes University - Laboratory « Movement, Interactions, Performance » (UR 4334)

25 bis boulevard Guy Mollet BP 72206 - 44322 Nantes cedex 3- FR

E-mail: guillaume.le-sant@univ-nantes.fr

Introduction

Après rupture du ligament croisé antérieur (LCA), malgré une reconstruction chirurgicale et une rééducation postopératoire intensive (Filbay, 2022 ; Grevnerts et al., 2021), les patients ne récupèrent le plus souvent que partiellement leurs capacités neuromusculaires (Tayfur et al., 2021). En outre, ils craignent de se blesser à nouveau et adoptent des comportements d'évitement (Truong et al., 2020).

Les capacités de génération de force maximale sont des paramètres cruciaux à améliorer tout au long du parcours de soin. Aussi, les déficits pre et post opératoires de la force maximale sont des facteurs prédictifs d'un engagement moindre dans les activités physiques et sportives (Carter et al., 2020 ; Herrington et al., 2021), d'un risque augmenté de lésion secondaire du LCA, de résultats auto-rapportés plus faibles (Pietrosimone et al., 2016) et de taux élevés d'arthrose du genou (Keays et al., 2010 ; Øiestad et al., 2015). C'est pourquoi, la restauration de la force maximale est une priorité dans la rééducation du LCA (Andrade et al., 2020 ; Diermeier et al., 2020 ; van Melick et al., 2016).

La littérature scientifique suggère que la rééducation pre opératoire puisse améliorer la fonction du genou (notamment en force maximale) et les résultats autodéclarés avant et après la chirurgie du LCA (pour revue Alshewaier et al., 2017 ; Carter et al., 2020 ; Cordoba et al., 2023 ; Giesche et al., 2020). Cependant, le programme d'entraînement le plus efficace reste à déterminer. Toutes ces revues ont conclu que l'amplitude des résultats, observés en préopératoire, concernant la force maximale restent discutables. Cela peut, par exemple, s'expliquer par le fait que le contenu de l'entraînement contre résistance en rééducation (niveau de résistance, proximité de l'échec etc.). Sur les bases, des principes de l'entraînement en force maximale de l'*American College of Sport Medicine* (Ratamess et al., 2009), la durée, la charge totale ou les principes de progressivité peuvent diverger des pratiques recommandées pour induire des changements en force maximale et structurels (eg. Hypertrophie). L'ampleur de l'hypertrophie musculaire n'a été rapportée que dans une étude (Sharaani et al., 2013) alors qu'elle semble cruciale pour la récupération de force maximale après une intervention chirurgicale. Par conséquent, il semble nécessaire de mener de nouveaux essais cliniques en utilisant les principes de l'entraînement contre résistance afin d'induire des changements plus importants au niveau de la force maximale par la rééducation pre opératoire et d'observer les effets de l'intervention durant tout le parcours de soin du patient, de la période pré opératoire à la période postopératoire.

Objectifs

La bassin nantais est pourvu de nombreux kinésithérapeutes du sport ayant de l'expérience dans le traitement de patients atteints d'une rupture du LCA, de chirurgiens orthopédiques pratiquant les interventions de ligamentoplastie après rupture du LCA, et de médecins généralistes, assurant le suivi patient en collaboration pluriprofessionnelle. Nous souhaitons mobiliser ces collaborations afin de mettre en place un essai clinique sur la rééducation pre opératoire, tout en assurant un suivi patient allant de la rupture du LCA en passant par l'opération à la rééducation postopératoire. Les objectifs principaux de cette étude seront donc de mesurer la capacité de ce réseau à recruter des patients, l'adhésion de ces derniers au programme de rééducation, la capacité à récolter les données nécessaires en laboratoire et sur le terrain pour rendre compte du suivi effectué. Le but est de valider ou d'amender un protocole qui pourra être par la suite mobilisé dans un essai contrôlé randomisé. Nous évaluerons également les effets que peuvent avoir ces deux programmes d'entraînement sur des résultats auto rapportés par questionnaires. Notre hypothèse est ici que le réseau médical et paramédical du bassin nantais peut permettre la mise en place d'une telle étude, avec une bonne adhésion des patients aux programmes d'entraînement dispensés.

Méthode

Design expérimental de l'étude

Cette étude de faisabilité suivra le design d'un essai contrôlé randomisé à deux bras parallèles. L'étude sera conduite au sein de 12 cabinets de kinésithérapie du bassin nantais et au sein du laboratoire MIP (UR4334, Nantes université).

Recrutement

Les participants seront recrutés grâce à la collaboration des chirurgiens orthopédiques, médecins généralistes et kinésithérapeutes du réseau. A la suite du diagnostic de rupture du LCA et de la recommandation d'opération par un chirurgien, le patient sera interrogé afin de vérifier sa compatibilité avec les critères d'inclusion par l'investigateur principal de cette étude. La vérification sera effectuée lors d'un échange téléphonique préalable à la première évaluation.

Les patients correspondant aux critères d'inclusion suivants seront inclus pour l'étude :

- Être âgé de plus de 18 ans
- Avoir un premier épisode de rupture isolé du LCA

- Avoir une ligamentoplastie prévue au moins 10 semaines plus tard
- Avoir une amplitude articulaire comprise entre -10° d'extension et 80° de flexion
- Être en possession d'une prescription médicale mentionnant « rééducation pre opératoire du genou »
- Être en capacité d'être disponible durant tout le programme d'entraînement ainsi que pour les séances de tests au laboratoire.

Les patients qui ne seront pas inclus pour l'étude seront des patients atteints d'une rupture secondaire du LCA, les patients avec des atteintes secondaires (lésion méniscale, fracture etc.), les patients n'étant pas à au moins 10 semaines de leur intervention chirurgicale. Enfin, les patients ne pouvant pas ou ne souhaitant pas se rendre dans l'un des cabinets mentionnés dans le réseau pour leur rééducation pre opératoire ne seront pas inclus pour cette étude.

Parcours de soin

Après leur inclusion, les patients seront adressés au cabinet de kinésithérapie de leur choix et partenaire du projet de recherche. Lorsque la rupture du LCA aura été confirmée par IRM, le contrôle des critères d'exclusion sera effectué puis le patient se verra attribuer aléatoirement un groupe. Le patient suivra ensuite un programme de rééducation pre opératoire de 9 semaines (3 séances par semaine) entièrement supervisées par un kinésithérapeute. Les patients seront répartis au sein des groupes « rééducation conventionnelle » (CON) ou entraînement contre résistance (RT) qui seront plus amplement décrits dans la partie « intervention » de ce même article. Le même kinésithérapeute sera ensuite sollicité, afin de superviser la rééducation postopératoire, en accord avec le patient.

Critères de mesure principaux

Faisabilité du recrutement

La faisabilité de l'étude vis-à-vis du recrutement des patients sera effectuée en mesurant le nombre de patients inclus sur la période écoulée de l'étude.

Sortie d'essai

Les sorties d'essai seront calculées en pourcentage de patients ayant quitté l'essai sur le nombre total de patients inclus.

Adhésion des patients à l'étude

L'adhésion des patients à l'étude sera donnée par le pourcentage de séances effectuées sur le nombre total de séances attendues au sein des programmes de rééducation.

Faisabilité de la collecte des données

La faisabilité de collecte des données sera calculée par le pourcentage de données récoltées par rapport aux données attendues aux différents temps de mesure.

Fréquence des évènements indésirables

La fréquence d'évènements indésirables sera donnée par un nombre qui témoignera du nombre d'évènements indésirables signalés sur l'ensemble du parcours de soins du patient.

Critères de mesure secondaires

Force maximale musculaire

La force des extenseurs et fléchisseurs du genou sera évaluée à l'aide d'un dynamomètre isocinétique (ConTrex MJ, CMV AG, Dubendorf, Suisse), qui constitue le « gold standard » pour l'évaluation de la force musculaire en particulier chez les populations atteintes du LCA (Urhausen et al., 2022). Avant le test, les participants effectueront un échauffement général standardisé (deux séries de 10 squats et 10 fentes sur chaque jambe au poids du corps). Ensuite, il leur sera demandé de s'asseoir sur la chaise de l'ergomètre isocinétique (80° de flexion de hanche), le condyle fémoral latéral du genou sera centré sur l'axe de rotation du dynamomètre. Des sangles placées au niveau de la poitrine, du bassin, du milieu de la cuisse et de la jambe empêcheront les mouvements compensatoires (Edouard & Degache, 2016). Les participants effectueront un échauffement spécifique en utilisant des contractions isométriques sous-maximales incrémentales, à 50%, 70%, 90% (c'est-à-dire 1 contraction à chaque niveau) de leurs capacités de contraction volontaire maximale (MVC) présumées, avec une minute de repos entre chaque répétition. Pendant le test, les participants seront incités à pousser/tirer le plus fort et le plus vite possible. Trois MVC isométriques en extension et en flexion seront effectuées (durée = 5 secondes, 1,5 minute de repos entre chaque essai), avec le genou positionné à 60° de flexion pour l'évaluation de la flexion de genou, et à 80° de flexion pour l'extension de genou. Pour chacune des mesures effectuées, un 4^{ème} essai sera demandé en cas d'écart supérieur à 10% entre l'avant dernier et le dernier essai.

Mesure du volume musculaire

Le volume des ischio-jambiers (*biceps femoris*, *semitendinosus*, *semimembranosus*), quadriceps (*vastus lateralis*), sera évalué en utilisant l'imagerie échographique 3D. Brièvement, la technique combine l'imagerie en mode B (scanner Aixplorer version 12.3, SuperSonic Imagine, Aix-en-Provence, France) et l'analyse des mouvements en 3D (6 caméras, 120 Hz, Optitrack Flex 13, NaturalPoint, USA) de la sonde pour permettre la reconstruction d'images et de volumes en 3D. En bref, les patients sont placés en position couchée pour le scanner. Plusieurs balayages (trois à six) seront effectués pour couvrir l'ensemble de la masse musculaire en déplaçant la sonde des insertions proximales (la tubérosité ischiatique) aux insertions distales (le *pes anserinus* pour le ST et le SM, et la tête de la fibula pour le BF) dans le plan transversal à une vitesse constante (~1 cm/s ; Frouin et al., 2023). Le changement de volume sera donné en mL à chaque temps de mesure.

Les mesures auto-rapportées

Le questionnaire KOOS (Knee Osteoarthritis Outcome Score) sera utilisé afin de recenser les aspects relatifs au genou perçus par les patients. Le KOOS est un questionnaire composé de 42 questions, se partageant en 5 catégories spécifiques : Symptômes, Douleur, Activité de la vie quotidienne (AVQ), Sport et qualité de vie (QV ; Ornetti et al., 2008).

L'échelle visuelle analogique étalonnée de 0 à 10 sera utilisée pour quantifier la douleur, relative au genou, ressentie par le patient (Crichton et al., 2001).

Fin des mesures

Les paramètres seront mesurés en pré opératoire, avant (S0) et après (S9) la réalisation du programme de rééducation. Ils seront ensuite mesurés à 4 mois postopératoires (M4).

Randomisation

La randomisation a été effectuée par bloc 1 : 1 en aveugle. C'est-à-dire qu'un tirage au sort est effectué toutes les deux inclusions (i.e. le premier patient intègre le groupe RT le second intégrera automatiquement le groupe CON). Lorsque le consentement du patient a été recueilli et à la suite des mesures initiales (S0 ; en laboratoire), le patient se voit attribuer un groupe par l'investigateur principal. Ce groupe correspond au programme renseigné dans le carnet de suivi et qui sera ensuite dispensé par le kinésithérapeute en charge du suivi du patient.

Intervention

La rééducation pre opératoire sera constituée d'un total de 27 séances réparties sur 9 semaines (3 séances par semaine). Toutes ces séances seront supervisées par le kinésithérapeute en charge du suivi du patient. La rééducation débutera au plus tard 9 semaines avant l'intervention chirurgicale programmée au préalable.

Le carnet de suivi de rééducation sera utilisé par le kinésithérapeute afin d'administrer le programme de rééducation au patient en fonction du groupe qui lui aura été attribué. Chaque carnet détaille les exercices et les mesures permettant la réalisation du programme et l'ajustement de ce dernier en fonction des objectifs fixés. Chaque séance est détaillée à l'aide d'images et de tableaux, les exercices et les méthodes de mesures cliniques sont détaillées dans une banque de données vidéo accessible par QR code.

Pour chaque groupe (RT et CON), le programme de 9 semaines est divisé en trois phases de 3 semaines permettant une progression dans le volume d'entraînement (Ratamess et al., 2009). Chaque séance, durera environ 1 heure, incluant 15 minutes de traitement manuel et d'échauffement, 30 minutes d'exercices, et 15 minutes de cryothérapie (si nécessaire ; appréciation laissée au thérapeute). Avant chaque séance la douleur relative au genou sera mesurée grâce à l'EVA. Si, une augmentation de 30% est constatée entre 2 séances, le volume d'entraînement sera réduit de 10% pour la séance à venir. A la fin de chaque séance, l'effort perçu par le patient sera mesuré.

Intervention : Programme d'entraînement contre résistance (RT)

La partie exercice pour les participants du "groupe RT" sera composée d'une augmentation progressive de la charge d'entraînement au cours des 9 semaines. À cette fin, l'intensité de la charge sera augmentée toutes les 3 semaines (c'est-à-dire aux sessions 10 et 19) : Tout d'abord, une charge faible de 25 répétitions maximum (RM ; S1 à S3), une charge intermédiaire de 15 RM (S4 à S6), et une charge élevée de 10 RM (S7 à S9) à la fin du programme. Au cours de chaque séance, l'exercice sera effectué à une intensité de RPE 9-10 (c'est-à-dire proche de l'échec). D'après la littérature, cette progressivité et cette intensité dans les charges viseront des gains de force et de volume parmi les groupes musculaires renforcés. (Schoenfeld et al., 2021). Au cours de la première phase du programme (S1-S3), un dispositif de restriction du flux sanguin (BFR) sera utilisé pour réduire la contrainte sur le genou blessé (Lixandrao et al., 2019). Ce dispositif est connu pour être cliniquement pertinent chez les patients souffrant d'une affection du LCA. (Wengle et al., 2022)

Le kinésithérapeute choisira un exercice pour renforcer les groupes musculaires KE et KF sur une liste d'exercices détaillée dans le guide de rééducation. Après le début de la séance, les participants effectueront quatre séries de chaque exercice. Un temps de repos de 1 min 30 est prévu entre les séries.

Intervention : Programme d'entraînement conventionnel (CON)

La partie exercice pour les participants du "groupe d'entraînement conventionnel" comprendra des exercices traditionnels utilisés dans la rééducation (Eitzen et al., 2010), notamment : des exercices d'équilibre/proprioceptifs, des exercices d'équilibre, des exercices de mobilisation passive et active, et des exercices d'entraînement de résistance au poids de corps (3 dernières semaines). Une fois encore, les 9 semaines seront subdivisées en 3 blocs de 3 semaines pour induire une augmentation progressive de la charge d'entraînement. De S1 à S3, la priorité sera donnée à la marche, à l'équilibre et aux exercices de mobilisation du genou (actifs et passifs) afin d'augmenter l'amplitude des mouvements. De S4 à S7, des exercices de proprioception et de sauts seront introduits. Durant les 3 dernières semaines, les participants effectueront 2 séries de 10 répétitions d'exercices au poids du corps. Le ressenti de l'effort sera ici aussi mesuré par l'échelle RPE afin de pouvoir en fin de parcours comparer la perception de l'effort ressenti pour les deux programmes par les patients.

Rééducation postopératoire

Les deux groupes suivront le même programme de rééducation post chirurgical, en utilisant des approches fondées sur les consensus établis dans la littérature pour optimiser la récupération et un retour complet au sport/aux activités (Filbay & Grindem, 2019 ; Kotsifaki et al., 2023; van Melick et al., 2016). En bref, la période post chirurgie se compose d'une phase aiguë (du 1er au 14e jour), d'une phase intermédiaire (du 15e au 6e mois) et d'une phase longue (>6 mois). La phase aiguë vise à récupérer de la chirurgie, la phase intermédiaire à restaurer les capacités neuromusculaires, fonctionnelles et mentales pour reprendre la course et les activités sportives, et la phase à long terme à optimiser le retour au sport et à prévenir les problèmes à long terme (symétrie de la force, confiance en ses propres capacités, gestion de la charge pour la récupération sportive). La rééducation post chirurgie s'arrêtera, en ce qui concerne les mesures nécessaires à cette étude préliminaire, au 4^{ème} mois (date moyenne du retour à la course à pied ; Rambaud et al., 2017).

Éthique et gestion des données

L'étude a été approuvée par le comité d'éthique (numéro de demande CPP : ID RCB 2021-A02993-38). Les données seront enregistrées dans des feuilles anonymes, accessibles et stockées par l'investigateur principal sur un disque dur protégé par un mot de passe. Seuls les chercheurs seront autorisés à accéder aux données. Les données seront conservées à Nantes Université pendant 5 ans après la fin de l'étude.

Partenariats

L'étude a été conçue par des cliniciens et des chercheurs issus de domaines complémentaires tels que la réadaptation, les sciences du sport, la médecine générale, la chirurgie orthopédique et la biostatistique. Les personnes souffrant d'une lésion du LCA (avant ou après l'opération) n'ont pas été impliquées en tant que patients-partenaires. Les objectifs de cette recherche et le choix des résultats ont été guidés par les données de la littérature et l'expertise clinique.

Analyse des résultats préliminaires

Résultats principaux

Les résultats concernant la faisabilité de l'étude (faisabilité du recrutement, sortie d'essai, adhésion des patients, collectes des données, évènements indésirables) sont analysés de façon descriptive (nombre, fréquence)

Résultats secondaires

-Force maximale

Seul, le meilleur des essais sera utilisé pour les analyses des résultats. La différence de production de force maximale entre la jambe saine et la jambe lésée est appelée « leg symétrie index » et est donné en pourcentage. Plus ce pourcentage s'approche de 0% plus la symétrie de force entre les deux membres inférieurs est grande. Les progrès seront quantifiés par le LSI pour les KE et KF, afin d'évaluer l'influence des méthodes de rééducation sur la force maximale isométrique de la jambe lésée.

-Volumes musculaires

Les volumes musculaires mesurés seront donnés en mL pour les 3 temps de mesure.

-Questionnaire KOOS

Les résultats seront donnés en pourcentage suivant chacune des catégories mentionnées.

-EVA

La douleur sera présentée par un score allant de 0 à 10 pour chaque temps de mesure.

Présentation des résultats préliminaires

Critères de mesure principaux

Faisabilité du recrutement

Les résultats seront donnés sur 6 patients au total. 3 patients appartiennent au groupe CON et 3 patients appartiennent au groupe RT. 4 patients (2 patients groupe CON ; 2 patients groupe RT) ont totalement terminé le parcours de soin (i.e. pre opératoire et postopératoire à 4 mois). 2 patients (1 groupe CON ; 1 groupe RT) ont terminé le parcours pre opératoire et sont en cours de phase postopératoire. Les caractéristiques des patients sont données dans le tableau 1 .

Tableau 1 : Caractéristiques des participants de l'étude. RT : groupe force, CON : groupe conventionnel. n : nombre de sujets inclus par groupe.

Groupe	n	Age (années)	Taille (cm)	Masse (kg)
RT	3	28,7 ± 3,5	170,0 ± 8,4	69,3 ± 11,4
CON	3	21,7 ± 2,9	167,0 ± 10,6	57,0 ± 10,4

Adhésion du patient

Les 6 patients ont effectué 98,9 ± 1,8% des séances préconisées en phase pre opératoire. Au sein de chaque groupe, 1 séance au total a été supprimée par manque de temps en fin de parcours pre opératoire en considérant la date de la chirurgie.

Faisabilité de la collecte des données

À ce jour, 100% des données ont été collectées (Tableau 2) aux différents temps de mesure S1,S9 (pour les 6 patients) et M4 (pour les 4 patients ayant terminé cette phase).

Tableau 2 : Pourcentage des données acquises au différents temps de mesure S1, S9 et M4.

Temps de mesure	MVC Iso	Volume musculaire	KOOS	EVA	Amplitude articulaire
S1	100%	100%	100%	100%	100%
S9	100%	100%	100%	100%	100%
M4	100%	100%	100%	100%	100%

Fréquence des évènements indésirables

Actuellement, aucun évènement indésirable (fatigue, douleur, aggravation de l'état du genou ou de l'état clinique de l'individu) n'a été recensé en test par l'investigateur principal ou en séance de rééducation par les kinésithérapeutes en charge du suivi patient.

Critères de mesure secondaires

Force maximale musculaire isométrique

Le LSI en extension de genou dans le groupe CON évolue de $75,2 \pm 7,3$ % (S1) à $87,9 \pm 7,7$ % (S9) en pré opératoire. En phase post opératoire il atteint $89,3 \pm 9,3$ %. Le LSI en flexion de genou est modifié en passant de $81,6 \pm 22,6$ % (S1) à $93,0 \pm 18,8$ % (S9) en pré opératoire, puis à $80,8 \pm 13,76$ % en postopératoire (M4).

Au sein du groupe RT, le LSI en extension de genou évolue de $75,6 \pm 18,4$ % (S1) à $90 \pm 13,34$ % (S9). En phase postopératoire il atteint $64,9 \pm 3,6$ %. En flexion de genou, le LSI est modifié évoluant de $75,1 \pm 9,1$ % (S1) à $87,6 \pm 21,3$ % (S9) pour atteindre $80,9 \pm 8,2$ % (M4). Les trajectoires individuelles pour ces deux groupes sont présentées en figure 1.

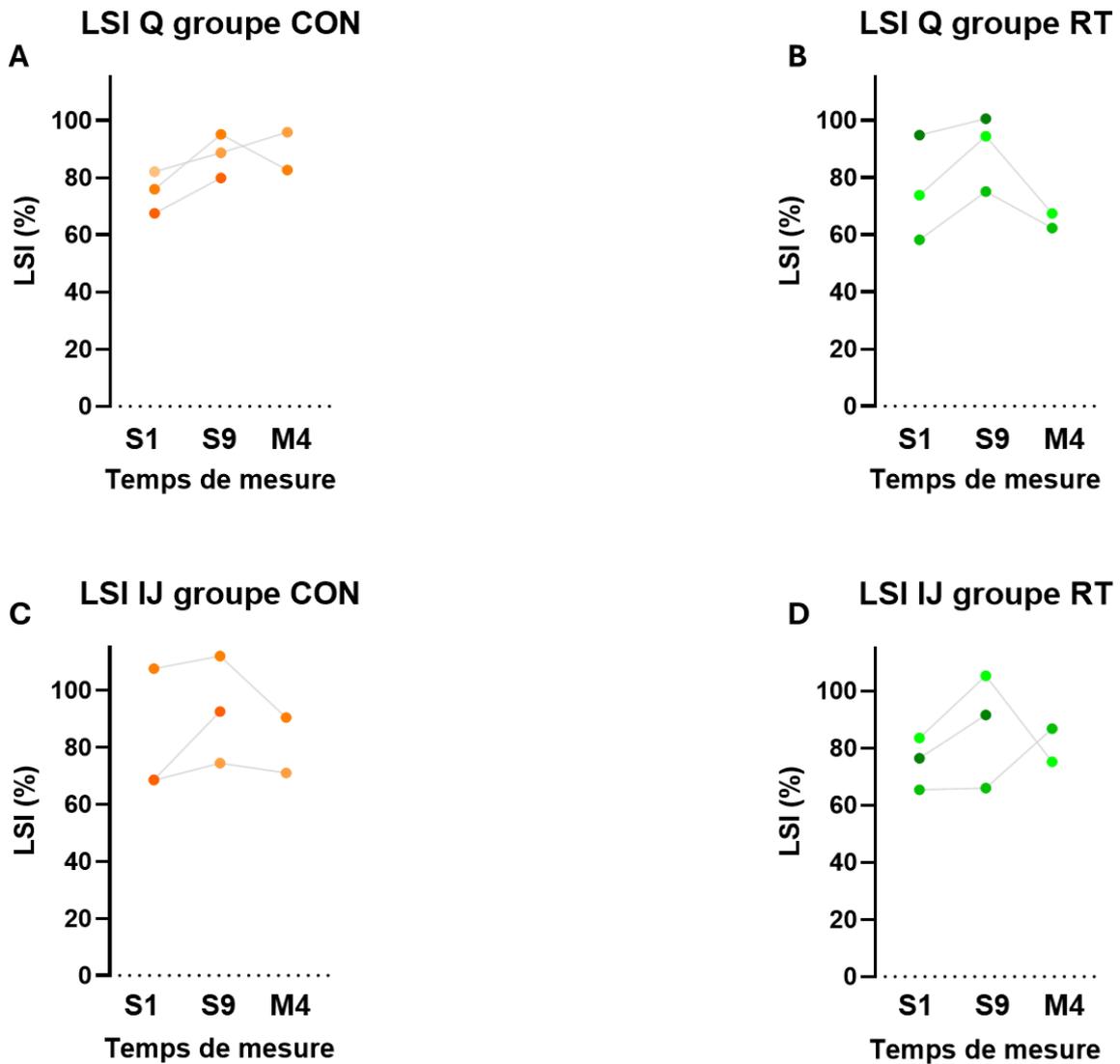


Figure 1 : Leg symmetry index (LSI) donné en pourcentage en fonction des temps de mesures pour chacun des sujets de l'étude. Chaque sujet est représenté par une couleur qui lui est propre sur les deux graphiques quadriceps (Q) et ischio-jambiers (IJ). En orange (A,C), sont représentés les patients du groupe conventionnel (CON) et en vert (B, D), sont représentés les sujets du groupe force (RT).

Volumes musculaires

Au sein du groupe CON, le volume du BF varie de $136,14 \pm 52,45$ mL (S1) à $138,55 \pm 66,21$ mL (S9) en pré opératoire puis à $108,67 \pm 13,35$ mL à M4 en postopératoire. Le volume du ST varie de $127,02 \pm 39,84$ mL (S1) à $132,57 \pm 50,29$ mL (S9) puis à $70,66 \pm 0,75$ mL (M4) en postopératoire. Pour le SM, une variation de $129,64 \pm 38,20$ (S1) à $132,71 \pm 30,75$ mL (S9)

puis à $121,02 \pm 9,80$ mL (M4) est mesurée. Enfin, le VL voit son volume évoluer de $312,68 \pm 93,54$ mL (S1) à $330,49 \pm 137,34$ mL (S9) et à $268,06 \pm 133,47$ mL (M4).

Au sein du groupe RT, le volume du BF varie de $155,72 \pm 43,26$ mL (S1) à $155,54 \pm 64,08$ mL (S9) en pre opératoire, puis à $168,63 \pm 14,26$ mL à M4 en post opératoire. Le volume du ST varie de $187,73 \pm 23,96$ mL (S1) à $172,24 \pm 35,88$ mL (S9), puis à $138,74 \pm 46,08$ mL (M4) en post opératoire. Pour le SM, une variation de $141,42 \pm 34,26$ (S1) à $171,09 \pm 91,26$ mL (S9), puis à $177,75 \pm 62,46$ mL (M4), est mesurée. Enfin, le VL voit son volume évoluer de $372,28 \pm 149,93$ mL (S1) à $406,66 \pm 217,23$ mL (S9) et à $374,11 \pm 171,91$ mL (M4). L'ensemble de ces variations est représenté graphiquement sur la figure 2.

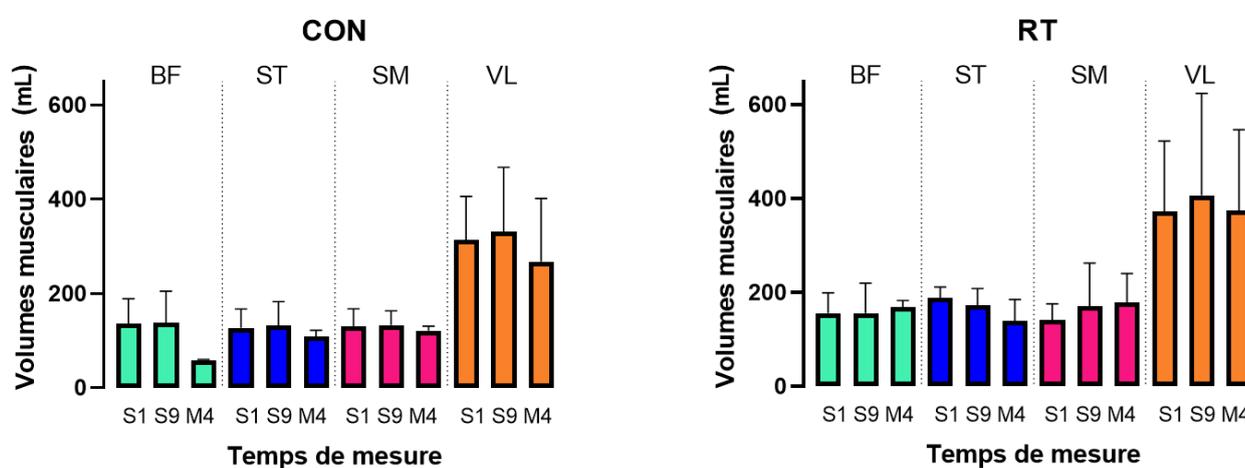


Figure 2 : Volumes musculaires. Les volumes sont donnés ici en mL. Chaque muscle est représenté par une couleur. En vert le BF, en bleu le ST, en rose le SM et en orange le VL. Les muscles sont représentés à chaque temps de mesure S1,S9,M4 et pour chaque groupe.

KOOS

La fonction du genou auto rapportée par le patient via questionnaire KOOS pour le groupe CON varie de $66,14 \pm 24,34$ % (S1) à $89,25 \pm 13,99$ % (S9) en pre opératoire puis à $75,72 \pm 27,58$ % (M4) en post opératoire.

Concernant le groupe RT, la fonction du genou auto rapportée par le patient via questionnaire KOOS varie de $63,85 \pm 26,22$ % (S1) à $70,73 \pm 27,56$ % (S9) en pre opératoire puis à $69,34 \pm 24,37$ % (M4) en post opératoire.

Les résultats détaillés pour chacune des catégories (i.e. Douleur, symptômes, activités de la vie quotidienne, Sport et Qualité de vie) sont donnés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats au questionnaire KOOS par groupe et par temps de mesure. CON : Groupe conventionnel ; RT : Groupe entraînement contre résistance ; S1, S4 : évaluations avant et après le programme postopératoire (n=6) ; M4 : évaluation au 4^{ème} mois postopératoire (n=4)

Catégorie KOOS	CON	RT
KOOS Douleur		
S1	74,07 ± 11,23 %	78,70 ± 13,13 %
S9	93,42 ± 6,41 %	85,19 ± 6,99 %
M4	88,89 ± 7,86 %	84,73 ± 9,82 %
KOOS Symptômes		
S1	65,48 ± 29,96 %	75,00 ± 17,86 %
S9	86,90 ± 11,48 %	82,14 ± 9,45 %
M4	92,86 ± 5,05 %	76,79 ± 2,52 %
KOOS ADL		
S1	91,17 ± 7,64 %	89,71 ± 7,78 %
S9	100 ± 0,00 %	97,55 ± 3,06 %
M4	100 ± 0,00 %	97,06 ± 4,16 %
KOOS Sport		
S1	50,00 ± 31,22 %	30,00 ± 18,03 %
S9	95,00 ± 5,00 %	45,00 ± 35,00 %
M4	34,38 ± 13,26 %	35,00 ± 14,14 %
KOOS QOL		
S1	50,00 ± 16,54 %	45,83 ± 14,43 %
S9	70,83 ± 20,10 %	43,75 ± 16,54 %
M4	62,50 ± 26,52 %	53,13 ± 4,42 %
KOOS (total)		
S1	66,14 ± 24,34 %	63,85 ± 26,22 %
S9	89,25 ± 13,99 %	70,73 ± 27,56 %
M4	75,72 ± 27,58 %	69,34 ± 24,37 %

Douleur

La douleur du genou évaluée par échelle visuelle analogique est évaluée à $0,90 \pm 1,56$ et $0,20 \pm 0,35$ à S1, respectivement pour le groupe CON et RT. Cette évaluation de la douleur diminue ensuite à 0 aux temps de mesure S3 et S4 pour les deux groupes.

Discussion

Résultats principaux

Le but de cette étude était de déterminer la faisabilité d'un essai clinique comparant un entraînement pre opératoire au sein de deux groupes distincts, le groupe prise en charge conventionnelle (CON) et le groupe entraînement contre résistance (RT). Les résultats indiquent que le réseau établi dans le bassin nantais peut permettre de mettre en place un essai clinique investiguant les effets de la rééducation pre opératoire auprès de patients atteints d'une rupture du LCA. Des améliorations seront cependant nécessaires afin de maximiser le recrutement de patients inclus. L'investissement des kinésithérapeutes pour la récolte des données cliniques et des patients pour se rendre disponible afin de suivre les séances de rééducation et les évaluations en laboratoire sont très satisfaisants.

Recrutement

Actuellement, l'étude de faisabilité ne comporte qu'un nombre faible de patients inclus. Un total de 4 patients ont, en effet donné leur accord et suivi totalement la rééducation pre et postopératoire demandé par l'étude, et 2 patients sont actuellement en cours de rééducation postopératoire. Le recrutement de patients est l'une des raisons principales pour lesquelles les essais cliniques n'arrivent pas à leur terme (Briel et al., 2016). Un élargissement des critères d'inclusions associé à une mobilisation plus importante du réseau grâce à des entretiens réguliers avec les acteurs médicaux et paramédicaux, ainsi qu'un nombre de centres recruteurs plus importants devrait permettre de majorer amplement les inclusions. Les limites de cette étude sont des critères d'inclusion trop strictes qui ne permettent pas de maximiser les inclusions. En effet, les ruptures isolées du LCA ne concernent que 24% des lésions totales recensées sur 402 selon une étude récente (Gracia et al., 2022). En considérant les lésions associées (eg. rupture du LCA + atteinte méniscale) le seuil de recrutement sera augmenté de manière très significative en passant à 44% des cas. Le protocole qui sera proposé ensuite permettra donc l'inclusion de l'ensemble des patients ayant une rupture du LCA. Actuellement,

les patients ont suivi 98,85% des séances et aucun évènement indésirable n'a été signalé, ce qui témoigne d'une adhésion forte aux programmes proposés et d'un suivi efficace.

Évaluations

Il est important de noter que 100% des données qui devaient être collectées ont pu l'être, ce qui démontre que les kinésithérapeutes du réseau ont parfaitement réalisé les bilans intermédiaires qui étaient préconisés et que les patients ont pu se rendre aux séances d'évaluation menées au laboratoire. Les évaluations aux différents temps de mesures (S1,S9,M4) ont pu être réalisées sans signalement d'évènements indésirables. Ceci permet d'établir le fait que la mesure de force maximale isométrique (en flexion et extension de genou) ainsi que la mesure des volumes musculaires sont bien réalisables en pre et postopératoire dans les conditions établies par les investigateurs. Si les effectifs recrutés demeurent faibles, une amélioration peut être décrite sur la force maximale en flexion et extension de genou, les volumes musculaires des muscles de la cuisse et le ressenti de la fonction du genou dans les deux groupes. Enfin la douleur n'augmentant pas tout au long du parcours, il est possible de conclure au fait qu'aucun des 2 entraînements n'a d'influence négative sur cette dernière. Ce qui permet de conclure par rapport à ce paramètre à une faisabilité de l'étude.

Forces et limites de l'étude de faisabilité

Les forces de cette étude sont les acteurs pluriprofessionnels du réseau pouvant être un levier important au recrutement. Une mobilisation et une veille plus importante devrait permettre de majorer les recrutements. De plus, l'ensemble des paramètres qui doivent être mesurés peuvent l'être avec des patients atteints d'une rupture du LCA ce qui permet d'assurer des résultats complets lorsque l'étude sera terminée. Nous avons mené une étude antérieure sur les pratiques de rééducation pre opératoire (Frouin et al., 2024) dans laquelle les personnes ayant suivi une rééducation pre opératoire avant une ligamentoplastie ont souligné : i) la possibilité d'utiliser un programme d'entraînement en résistance avant l'ACLR, ii) que les améliorations de la force dues à la rééducation pre opératoire étaient associées à des améliorations de leurs capacités dans les activités de la vie quotidienne. Ces conclusions soulignent le fait que l'entraînement contre résistance pendant la rééducation est bien accepté par les patients en attente d'une chirurgie.

Les limites de cette étude sont qu'elle ne considère pas entièrement le parcours de soin du patient puisqu'à 4 mois ces derniers n'ont pas encore terminé leur rééducation postopératoire. Il serait intéressant d'allonger la durée de suivi à un an, en effectuant une mesure intermédiaire

à 6 mois (moitié du parcours postopératoire complet) afin d'observer l'évolution des patients ayant eu recours à la rééducation pre opératoire sur du long terme.

Conclusion

Les résultats obtenus en cours d'étude de faisabilité permettent de mettre en évidence un potentiel de réalisation d'un essai clinique à grande échelle afin d'évaluer les effets de deux programmes d'entraînement pre opératoire. Le réseau pluriprofessionnel désormais constitué permettra de poursuivre la collaboration afin de mener à bien le futur essai clinique.

Bibliographie

Alshewaier, S., Yeowell, G., & Fatoye, F. (2017). The effectiveness of pre-operative exercise physiotherapy rehabilitation on the outcomes of treatment following anterior cruciate ligament injury : A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 31(1), 34-44. <https://doi.org/10.1177/0269215516628617>

Andrade, R., Pereira, R., Van Cingel, R., Staal, J. B., & Espregueira-Mendes, J. (2020). How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II). *British Journal of Sports Medicine*, 54(9), 512-519. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100310>

Carter, H. M., Littlewood, C., Webster, K. E., & Smith, B. E. (2020). The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction : A systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 647. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03676-6>

Córdoba, L. L., Rodrigues, M. C., Corrêa De Freitas, R., Neto, H. P., Serafim Bonvino, M. A., Rossi, M. F., & Mazzei, L. G. (2023). Physiotherapeutic approach to the preoperative period for the anterior cruciate ligament reconstruction : A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 33, 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2022.09.001>

Crichton, N. (2001). Information point : Visual Analogue Scale (VAS). 10, 706.

Diermeier, T., Rothrauff, B. B., Engebretsen, L., Lynch, A. D., Ayeni, O. R., Paterno, M. V., Xerogeanes, J. W., Fu, F. H., Karlsson, J., Musahl, V., the Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group, Brown, C. H., Chmielewski, T. L., Clatworthy, M., Villa, S. D., Ernlund, L., Fink, C., Getgood, A., Hewett, T. E., ... Wilk, K. E. (2020). Treatment After Anterior Cruciate Ligament Injury : Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(6), 232596712093109. <https://doi.org/10.1177/2325967120931097>

Edouard, P., & Degache, F. (2016). Guide d'isocinétisme. L'évaluation isocinétique des concepts aux conditions sportives et pathologiques (E. M. Ed.), Éd.).

Filbay, S. R., & Grindem, H. (2019). Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 33(1), 33-47. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2019.01.018>

Filbay, S. R., Skou, S. T., Bullock, G. S., Le, C. Y., Räisänen, A. M., Toomey, C., Ezzat, A. M., Hayden, A., Culvenor, A. G., Whittaker, J. L., Roos, E. M., Crossley, K. M., Juhl, C. B., & Emery, C. (2022). Long-term quality of life, work limitation, physical activity, economic cost and disease burden following ACL and meniscal injury : A systematic review and meta-analysis for the OPTIKNEE consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 56(24), 1465-1474. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105626>

Frouin, A., Desfontaines, N., Lacourpaille, L., Nordez, A., & Le Sant, G. (under review). Attending preoperative rehabilitation leads to improvements in mental and physical functioning according to people with anterior cruciate ligament injury : A mixed methods study. *Physical Therapy in Sport*.

Frouin, A., Guenanten, H., Le Sant, G., Lacourpaille, L., Liebard, M., Sarcher, A., McNair, P. J., Ellis, R., & Nordez, A. (2023). Validity and Reliability of 3-D Ultrasound Imaging to Measure Hamstring Muscle and Tendon Volumes. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 49(6), 1457-1464. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.012>

- Giesche, F., Niederer, D., Banzer, W., & Vogt, L. (2020). Evidence for the effects of prehabilitation before ACL-reconstruction on return to sport-related and self-reported knee function : A systematic review. *PLOS ONE*, 15(10), e0240192. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240192>
- Gracia, G., Cavaignac, M., Marot, V., Mouarbes, D., Laumonerie, P., & Cavaignac, E. (2022). Epidemiology of Combined Injuries of the Secondary Stabilizers in ACL-Deficient Knees : Medial Meniscal Ramp Lesion, Lateral Meniscus Root Tear, and ALL Tear: A Prospective Case Series of 602 Patients With ACL Tears From the SANTI Study Group. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(7), 1843-1849. <https://doi.org/10.1177/03635465221092767>
- Grevnerts, H. T., Sonesson, S., Gauffin, H., Ardern, C. L., Stålmán, A., & Kvist, J. (2021). Decision Making for Treatment After ACL Injury From an Orthopaedic Surgeon and Patient Perspective : Results From the NACOX Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(4), 232596712110050. <https://doi.org/10.1177/23259671211005090>
- Herrington, L., Ghulam, H., & Comfort, P. (2021). Quadriceps Strength and Functional Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Professional Soccer players at Time of Return to Sport. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 769-775. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002749>
- Keays, S. L., Newcombe, P. A., Bullock-Saxton, J. E., Bullock, M. I., & Keays, A. C. (2010). Factors Involved in the Development of Osteoarthritis after Anterior Cruciate Ligament Surgery. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(3), 455-463. <https://doi.org/10.1177/0363546509350914>
- Kotsifaki, R., Korakakis, V., King, E., Barbosa, O., Maree, D., Pantouveris, M., Bjerregaard, A., Luomajoki, J., Wilhelmsen, J., & Whiteley, R. (2023). Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 57(9), 500-514. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106158>
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., Libardi, C. A., & Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(2), 361-378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
- Øiestad, B. E., Juhl, C. B., Eitzen, I., & Thorlund, J. B. (2015). Knee extensor muscle weakness is a risk factor for development of knee osteoarthritis. A systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 23(2), 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.10.008>
- Ornetti, P., Parratte, S., Gossec, L., Tavernier, C., Argenson, J.-N., Roos, E. M., Guillemin, F., & Maillefert, J. F. (2008). Cross-cultural adaptation and validation of the French version of the Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) in knee osteoarthritis patients. *Osteoarthritis and Cartilage*, 16(4), 423-428. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2007.08.007>
- Pietrosimone, B., Lepley, A. S., Harkey, M. S., Luc-Harkey, B. A., Blackburn, J. T., Gribble, P. A., Spang, J. T., & Sohn, D. H. (2016). Quadriceps Strength Predicts Self-reported Function Post-ACL Reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(9), 1671-1677. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000946>
- Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. (2009). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687-708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>

Shaarani, S. R., O'Hare, C., Quinn, A., Moyna, N., Moran, R., & O'Byrne, J. M. (2013). Effect of Prehabilitation on the Outcome of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(9), 2117-2127. <https://doi.org/10.1177/0363546513493594>

Tayfur, B., Charuphongsa, C., Morrissey, D., & Miller, S. C. (2021). Neuromuscular Function of the Knee Joint Following Knee Injuries : Does It Ever Get Back to Normal? A Systematic Review with Meta-Analyses. *Sports Medicine*, 51(2), 321-338. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01386-6>

Truong, L. K., Mosewich, A. D., Holt, C. J., Le, C. Y., Miciak, M., & Whittaker, J. L. (2020). Psychological, social and contextual factors across recovery stages following a sport-related knee injury : A scoping review. *British Journal of Sports Medicine*, 54(19), 1149-1156. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101206>

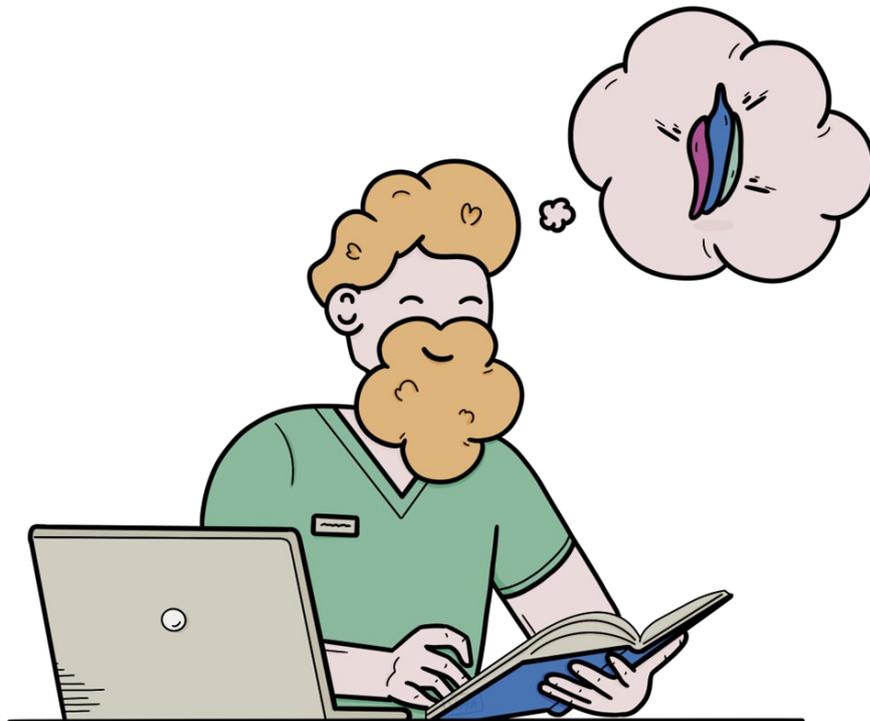
Van Melick, N., Van Cingel, R. E. H., Brooijmans, F., Neeter, C., Van Tienen, T., Hullegie, W., & Nijhuis-van Der Sanden, M. W. G. (2016). Evidence-based clinical practice update : Practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1506-1515. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095898>

Wengle, L., Migliorini, F., Leroux, T., Chahal, J., Theodoropoulos, J., & Betsch, M. (2022). The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery : A Systematic Review and Meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(10), 2824-2833. <https://doi.org/10.1177/03635465211027296>

E

tude #4 :

Comparaison de deux programmes de rééducation pre opératoire à une ligamentoplastie du LCA K-POP : Protocole d'étude.



Publication associée (en préparation) :

A. Frouin, N.Jarno, L. Lacourpaille, A.Nordez, J-P. Fournier et al., Comparison of two prehabilitation program before an anterior cruciate ligament reconstruction: study protocol for a randomized controlled trial (K-POP)

Résumé Etude #4

Avant la reconstruction du ligament croisé antérieur (LCA), la rééducation pré opératoire vise à entraîner les patients afin d'optimiser la récupération post opératoire. Cependant, les modalités les plus efficaces avant la reconstruction du ligament croisé antérieur restent inconnues. Alors que la force et le volume musculaires sont essentiels à la récupération après une blessure au ligament croisé antérieur (LCA). L'étude précédente (**#3**) nous indique la possibilité d'effectuer cet essai clinique dans le bassin Nantais. Les résultats bien qu'incomplet montrent une différence faible entre les deux groupes constitués. Ainsi, ce protocole modifie les paramètres des groupes d'entraînement afin d'obtenir des gains plus importants notamment en force maximale des extenseurs et fléchisseurs de genou.

Ce protocole détaille un essai clinique dont l'objectif principal est d'augmenter la force maximale des extenseurs et des fléchisseurs du genou et d'induire une hypertrophie avant une ligamentoplastie. Les participants en attente d'une chirurgie seront recrutés dans des cabinets de kinésithérapie libérale et seront répartis au hasard dans l'un des deux groupes pour suivre un programme de rééducation de 9 semaines avant l'opération. Les participants du groupe « entraînement à la résistance » suivront un programme d'entraînement conçu pour augmenter la force et le volume des muscles du genou avec une augmentation progressive de la charge d'entraînement. Les participants du « groupe conventionnel » effectueront des exercices d'équilibre et de proprioception, des exercices d'entraînement et des exercices d'entraînement au poids du corps. Les groupes seront comparés sur la force maximale (résultat principal), les résultats cliniques (activation volontaire, volume musculaire, raideur, mobilité du genou, épanchement) et les résultats auto-évalués (qualité de vie, perception de la fonction du genou, douleur, anxiété et dépression, effort, consommation de produits de santé, participation à des activités) avant et après la rupture du ligament croisé antérieur.

Comparison of two prehabilitation programs before an anterior cruciate ligament reconstruction: study protocol for a randomized controlled trial (K-POP)

Frouin A^{1,2}, Jarno N^{1,3}, McNair PJ⁴, Ellis R^{4,5}, Nordez A^{1,4,6}, Fournier J-P^{7,8},
Gaultier, A^{7,8,9}, Lacourpaille L¹, Le Sant G^{1,3,7}

¹ Nantes Université, Movement - Interactions - Performance, MIP, UR 4334, F-44000 Nantes, France

² Institut Sport Atlantique, ISA, Nantes, France

³ School of Physiotherapy, IFM3R, Nantes, France

⁴ Health and Rehabilitation Research Institute, Faculty of Health and Environmental Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

⁵ Active Living and Rehabilitation: Aotearoa, School of Clinical Sciences, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand

⁶ Institut Universitaire de France (IUF)

⁷ Nantes Université – UFR Médecine et techniques médicales – Pôle Fédératif en Soins Primaires

⁸ Département de Médecine Générale, Nantes Université, France

⁹ Nantes Université, CHU Nantes, Direction de la Recherche et de l'innovation, Plateforme de méthodologie et biostatistique, F-44000 Nantes, France

Correspondence:

Le Sant Guillaume

Nantes University - Laboratory « Movement, Interactions, Performance » (UR 4334)

25 bis boulevard Guy Mollet BP 72206 - 44322 Nantes cedex 3- FR

E-mail: guillaume.le-sant@univ-nantes.fr

ABSTRACT

Before ACL reconstruction (ALCR), prehabilitation aims to train patients in order to optimize post-surgery recovery. However, the most efficient modalities before ACLR remain unknown. While muscle strength and volume are critical for the recovery after an anterior cruciate ligament (ACL) injury.

This protocol details a pragmatic clinical trial that primary aims to increase the maximal strength of knee extensors and flexors and to induce hypertrophy before ACLR. Participants awaiting ACLR will be recruited from outpatient rehabilitation clinics and will be randomly allocated to one out of the two groups to attend a 9-weeks rehabilitation program before ACLR. Participants of ‘resistance training’ group will perform a training program designed to increase knee muscles strength and volume with a progressive increase in the training load. Participants of ‘usual group’ will perform traditional exercises including: balance/proprioceptive exercises, weight-balances exercises, and body-weight training exercises. Groups will be compared on maximal strength (primary outcome), clinical outcomes (muscle volume, stiffness, knee mobility, effusion) and self-reported outcomes (quality of life, perception of knee function, pain, anxiety and depression, exertion, health consumption, participation in activities) before and after ACLR. Outcomes will be collected by a blinded assessor before and after the resistance training program (before ACLR); 6 and 12 months after the ACLR.

KEYWORDS

Prehabilitation – strength – resistance training – ACL – physiotherapy

Introduction

The current treatment pathway following an Anterior Cruciate Ligament (ACL) commonly results in suboptimal recovery after surgery. Despite undergoing surgical reconstruction (ACLR) and intensive post-operative rehabilitation (Filbay, 2022; Grevnerts et al., 2021), individuals often experience only partial recovery of neuromuscular capacities (Tayfur et al., 2021). Moreover they encounter fears of re-injury and exhibit avoidance behaviours (Truong et al., 2020).

Force generating capacities are critical outcomes throughout the treatment pathway. Thus, both pre- and post-operative deficits in maximal strength are predictors for lower engagement in sports/activities (Carter et al., 2020; Herrington et al., 2021), increased risks of re-injury, poorer self-reported outcomes (Pietrosimone et al., 2016), and elevated rates of knee OA (Keays et al., 2010; Øiestad et al., 2015). Therefore, restoring maximal strength is as a priority in ACL rehabilitation (Andrade et al., 2020; Diermeier et al., 2020; van Melick et al., 2016).

While there is a large body of evidence and consensus statements about the most efficient protocols to recover strength during post-operative rehabilitation (Van melick et al., 2016 ; Ardern et al., 2017 ; Buckthorpe et al., 2023), the literature is much more scarce about rehabilitation before ACLR (prehabilitation). It seems that prehabilitation improves function, maximal strength, and self-reported outcomes before and after ACL surgery (for review Alshewaier et al., 2017; Carter et al., 2020; Córdoba et al., 2023; Giesche et al., 2020). However, the most efficient protocol remains to be determined, and these reviews concluded that the effect size for preoperative increases of maximal strength remains questionable. This is likely because the content of rehabilitation training (e.g., resistance level, proximity to failure, etc.) varied greatly between studies. In addition, very few studies proposed strength training protocols (n= 6 ; for review Giesche et al., 2020) that aimed to induce strength and structural changes (e.g. hypertrophy). Therefore, it remains to be determined whether strength training is actually beneficial in prehabilitation.

In addition, the effect of prehabilitation on maximal strength has only been investigated at short-term before ACLR (Eitzen et al., 2010), or shortly after ACLR (12 weeks, (Shaarani et al., 2013)) before return to activity/sport (Culvenor & Barton, 2018). Consequently it appears necessary to conduct new

trials using strength training principles (Ratamess et al., 2009) to induce larger changes in strength through prehabilitation and to observe the effect of the prehabilitation throughout the entire time course of the treatment, from pre to 12 month postoperatively on average.

The ability of strength training in prehabilitation to induce hypertrophy of muscle has never been reported. Considering that the muscle volume is a key determinant of muscle force, it appears important to follow changes in volume. In addition, decreased size and strength of the harvested quadriceps/hamstring structures, composing the autograft during ACLR, are associated with worsened postoperative rehabilitation failure (Conte et al., 2014; Konrath et al., 2016; Lepley et al., 2020; Zaccherotti & Olmastroni, 2015), and persisting deficits in muscle strength (Eitzen et al., 2009; Kim et al., 2022; Logerstedt et al., 2013; Tayfur et al., 2021; Tengman et al., 2014). Therefore, it seems also relevant to report changes in tendon volume, in relation with the graft used for ACLR.

Objectives

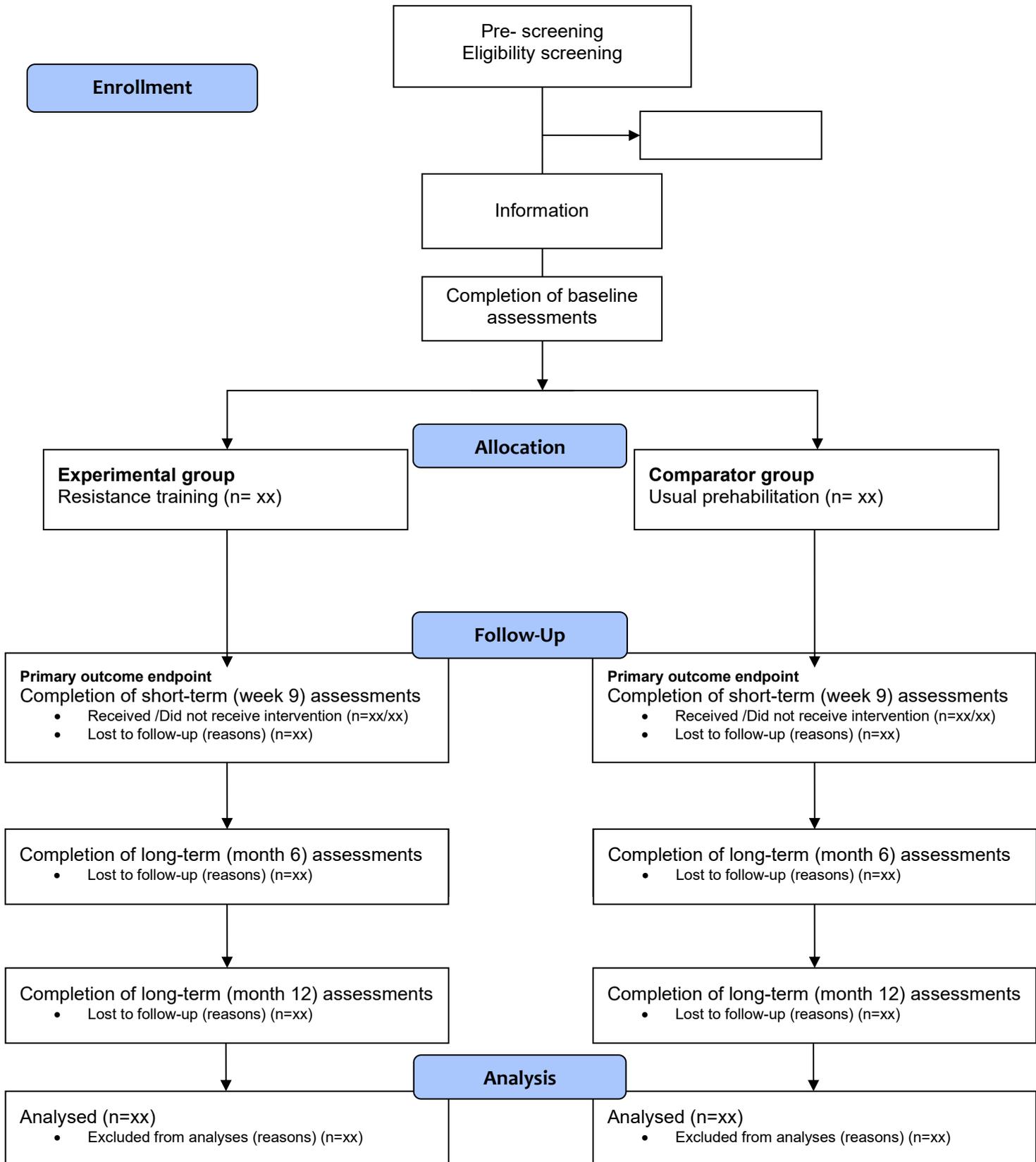
The primary objective of this study will be to compare a tailored resistance training program aiming to increase muscle strength and muscle volume, and compare with a conventional prehabilitation program before and after the ACLR. We hypothesized that patients involved in tailored resistance training program will exhibit greater changes on maximal strength and muscle volume compared to those involved in conventional prehabilitation program. Secondly, we aim to assess the long-term effects of these programs on maximal strength and muscle mass after the ACLR, and clinical (stiffness, knee mobility, effusion) and self-reported outcomes.

Methods

Study design and setting

This study will be a two-arm parallel group open-label, blinded endpoint study. The study protocol has been reported using the Standard Protocol Items: Recommendations for Interventions (SPIRIT) statement guidelines (supplementary file 3). The study will be conducted 12 clinics of physiotherapy of metropolitan area of Nantes (6th largest city of France), and in the laboratory ‘Movement, Interactions, Performance’ MIP (UR4334, Nantes University). The flow diagram of the study is provided in Figure 1.

Figure 1 – Flow diagram of the study according to CONSORT (2010)



Recruitment process

Participants will be recruited through local networks in primary care, within the university and metropolitan area. After initial steps of medical diagnosis of the ACL injury and a recommendation for ACLR made by the surgeon, the screening process will be carried out by an investigator of the study. For that purpose, each eligible participant will receive a phone call to verify the inclusion criteria. Patients meeting the following criteria will be included:

- Being over 18 years
- A first episode of an ACL injury
- An ACLR scheduled at least 10 weeks later, with a surgical technique using *hamstring*, *gracilis*, or *quadriceps/patellar* tendon autograft
- A minimum passive range of motion of the knee between 10° of extension deficit, and 80° of flexion
- A medical prescription for prehabilitation
- Possibility to attend prehabilitation program and post-ACLR rehabilitation in one of the 12 clinics

Patient will be excluded if they have had a previous ACL injury or scheduled a surgery using another type of autograft and/or before 10 weeks. For practical reasons, participants that would prefer to perform their rehabilitation outside from the listed clinics will also be excluded.

Patient care

After inclusion in the clinical trial, patients will be addressed to the nearest physiotherapy clinic involved in the clinical trial. After the ACL injury confirmed by MRI the control of the exclusion criteria will lead to the group allocation. Then, each patient will undergo a 9-week prehabilitation program (3 sessions per week) completely supervised by a physiotherapist. Patients would be allocated to one of the two program types defined as a conventional rehabilitation program (CON) and a resistance training program (RT) further described in the “Intervention” part of the following article (Figure 1).

Table 1 – Schedule of recruitment, intervention and assessment according to SPIRIT statement ACLR: anterior cruciate ligament reconstruction; GP: general practitioner; HAD: Hospital Anxiety and Depression; KE/KF: knee extensors/flexors; KOOS: Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score; PSPT: Patient Satisfaction with Physical Therapy; RPE: Rate of Perceived Exertion;; SANE: Single Assessment Numeric Evaluation; SWE: shear wave elastography; VAS: Visual Analogic Scale; 3D-US: 3-D ultrasound, ITT: Interpolated twitch technique

	Before ACLR						
	Before inclusion	Enrollment	Baseline	Intervention	Post short-term	Post mid-term	Post long-term
Time points	-t ₀	wk 0, t ₀	wk 0, t ₀	wk 1 to wk 9	wk 9 (+/- 7 days), t ₁	M6(+/- 7 days), t ₂	M12(+/- 7 days), t ₃
RECRUITMENT							
Pre-Eligibility screening (GP / surgeon)	X						
Eligibility screening (investigator)	X						
Information (GP / surgeon / investigator)	X						
Informed consent (investigator)		X					
Group allocation (investigator)			X				
INTERVENTION							
[Resistance Training « RT » group] (sport physiotherapist)				◆-----◆-----◆-----◆-----◆			
[Usual prehabilitation « usual » group] (sport physiotherapist)				◆-----◆-----◆-----◆-----◆			
ASSESSMENT							
General information (Investigator) <i>Age, height, weight</i> <i>Previous injuries</i>			X		X	X	X
Primary outcome (Laboratory) (investigator) <i>KE isometric MVC (isokinetic dynamometer)</i>			X		X	X	X
Secondary outcomes (Laboratory) (investigator) <i>KF isometric MVC (isokinetic dynamometer)</i> <i>KE/KF dynamic MVC (isokinetic dynamometer)</i> <i>Voluntary activation (ITT)</i> <i>Muscle and tendon volume (3D US imaging)</i> <i>Tendon shear modulus (SWE)</i> <i>Knee mobility (range of motion, goniometer)</i> <i>Knee effusion (perimeter)</i> <i>Quality of life (KOOS)</i> <i>Perception of knee function (SANE)</i> <i>Pain (VAS)</i> <i>Anxiety and Depression (HAD)</i> <i>Rate of perceived effort (RPE)</i> <i>Health consumption (diary)</i> <i>Participation in activities (diary)</i> <i>Satisfaction with physiotherapy (PSPT)</i>			X		X	X	X
ENDPOINT							

The same physiotherapist will be selected to supervise the postoperative rehabilitation, that can be up to 12 months after the surgery (Table 1).

Outcome measures

Maximal strength assessment

The strength of knee extensors/flexors (KE/KF, respectively) will be assessed using a isokinetic dynamometer (ConTrex MJ, CMV AG, Dubendorf, Suisse), as the “gold standard” for investigating muscle groups functions in ACL populations (Urhausen et al., 2022). Before testing, participants will perform a bout of a standardized general warm-up (two rounds of 10 squats, and 10 lunges on each leg at bodyweight) with a progressive increase of the level of effort. Then, they will be asked to seat on the dynamometer chair (80° of hip flexion), with the knee lateral femoral epicondyle centered with the rotation axis of the dynamometer. Straps applied across the chest, pelvis, mid-thigh and the leg will prevent compensatory movements. (Edouard & Degache, 2016) Participants will perform a specific warm-up using incremental sub-maximal isometric contractions, at 50%, 70%, 90% (i.e. 1 contraction at each level) of their self-presumed maximal voluntary contraction (MVC) capacities, duration: 5 seconds, with a 1-min of rest between each repetition. During testing, participants will be exhorted to push/pull as hard and as fast as possible. Three isometric MVC in extension and flexion will be performed (duration = 5 sec, 1.5-min of rest between each trial) with the knee positioned at 60° of flexion for KF assessment, and 80° of flexion for KE. Dynamic testing of KE/KF will involve 3 repetitions (separated by a 20 seconds break between a concentric and eccentric contraction) in concentric mode of contraction at 60°/sec (Urhausen et al., 2022). An additional assessment will be performed in eccentric mode of contraction for KF at 30°/sec. For each measurement condition a fourth repetition will be set if the last one is 10% higher than the previous one to insure the measurement of the maximum peak torque. Only the best repetition will be used for the statistical analysis. The comparison of the strength produced by the healthy leg and the injured leg is named Leg symmetry index (LSI). $LSI \geq 80\%$ and $\geq 90\%$ are thresholds deemed acceptable for strength capacities at the time of ACLR and return to sport.(van Melick et al., 2016). LSI will be a secondary analyses for the strength outcome. The method used for the calculation is SPM as presented in Baumgart et al., 2018. It allows us to compare each

angle/torque value for the whole ROM (from 110° to 0° extension) during the strength (dynamic) measurement.

Interpolated twitch technique

The twitch interpolation technique will be used to estimate the voluntary activation level of participants during their MVCs. Transcutaneous electrical stimuli (square-wave pulses of 200 µs) will be delivered using a constant-current stimulator (Digitimer DS7AH, Hertfordshire, UK). Two large electrodes (8 × 13 cm) will be positioned proximally (approximately 10 cm below the inguinal crease) and distally (approximately 10 cm above the patella) over the quadriceps muscle belly (Maffiuletti et al., 2016). Following electrode positioning and submaximal familiarization trials, the current intensity of single stimuli will be progressively increased (10 mA incremental steps) done until a plateau in the recorded twitch torque will be observed. This plateau is where quadriceps motor units are assumed to be fully recruited (Place et al., 2007). Then an intensity of 120% of this previous value will be used for the rest of the protocol (Neyroud et al., 2014). The percentage of voluntary activation will be given by Todd et al., (2004) equation (équation 1).

$$\text{Voluntary activation} = \left(1 - \frac{\text{Superimposed twitch}}{\text{Resting twitch}}\right) \times 100$$

Equation (1)

Muscle and tendon volume

The volume of hamstring (*biceps femoris*, *semitendinosus*, *semimembranosus*), Quadriceps (*Vastus lateralis*, *Rectus Femoris*), and *Semitendinosus*, and *Patellar* tendons will be assessed using the previously validated 3D freehand ultrasound imaging (Frouin et al., 2023). briefly, the technique combines B-mode imaging (Aixplorer version 12.3 scanner, SuperSonic Imagine, Aix-en-Provence, France) with 3D motion analysis (6 cameras, 120 Hz, Optitrack Flex 13, NaturalPoint, USA) of the probe to allow the reconstruction of 3D images and volume. Patients will lay in prone position for scanning. Multiple sweeps (three to six) will be done to cover the entire muscle bulk moving the transducer from proximal (the ischial tuberosity) to distal insertions (the *pes anserinus* for the ST and

SM, and the head of the fibula for the BF) in the transverse plane at a constant speed (~1 cm/s) (Frouin et al., 2023). The distal tendon of ST will be located distally with the *pes anserinus* (in association with *gracilis* and *sartorius*). The acquisition will be stopped 6 cm above the distal musculotendinous junction.

Tendon shear modulus

As described in Fontenelle et al. (2018) the shear wave velocity will be assessed in *patellar* and *semitendinosus* tendons in two positions. For the *patellar* tendon, the patient will lie supine with 0° and 90° of knee flexion. For *semitendinosus* tendon, the patient will be prone with 0° and 30° of knee flexion. Measures will be collected at rest, through two 10-s videos. The probe will be placed longitudinally to the tendon fibers, with reference points visible on B-Mode images: femoral condyle for the *semitendinosus* tendon, patellar apex for the *patellar* tendon, respectively (Fontenelle et al., 2018).

Knee mobility

The physiological range of motion of the knee (flexion/extension) will be measured using a goniometer, with the patient placed supine with the hip in 90° of flexion (knee flexion) and prone with the hip in neutral position (knee extension). (Rothstein et al., 1983).

Knee girth

The circumference of the knee will be measured using a nonelastic tape. Patients will be supine in a full knee extension, with the lower limb muscles relaxed. The tape will be placed at mid-patella and 7 cm above the superior border of the patella, which has been shown to be a reliable estimation of joint effusion. (Nicholas et al., 1976).

Self-reported measures

The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) will be used to assess the patients' aspects of functional disability, related to their knee. The KOOS is a 42-item questionnaire, including 5 specific aspects: symptoms, pain, ADLs, sports/recreation, and quality of life (French version, (Ornetti et al., 2008)).

The perception of knee function will be assessed with the Single Assessment Numeric Evaluation (SANE) rating, which asks participants, ‘On a scale from 0 to 100 where 100 is perceived as best, how would you rate your knee today?’ (Williams et al., 2000) The SANE considers what matters most to the respondent at the time they are asked, providing a broader perspective than the limited number of constructs estimated through questionnaires (eg. pain or performance etc.). We will use the SANE as a complementary tool to the KOOS. Additionally, the SANE offers practical advantages for monitoring the delivery of the prehabilitation program, as it imposes minimal time and resource demands.

The Visual Analogic Scale (VAS) will be used for patients self-reports of pain intensity, using an horizontal rating scale of 100 mm length across the continuum from none to extreme amount of pain (Crichton, 2001).

The levels of anxiety and depression will be assessed using the Hospital Anxiety and Depression (HAD) scale. The HAD scale is a 14-item tool than can be used in a variety of settings, including primary care. (French Version) (Roberge et al., 2013)

The perceived exertion will be assessed using the Borg RPE Scale (Borg, 1982). The Borg RPE Scale is a 15-item tool that allows participants to rate their level of exertion during exercise or testing.

A home-diary (Butcher & Eldridge, 1990) will document patients information concerning pre-defined events related to their health consumption (e.g., drugs, use of crutches and brace) and their activities (e.g., return to work, return to drive). Patients will be asked to answer a YES/NO question and to fill out a formatted table by noting the date when they start and stop each respective item (survival analysis).

Performance of the intervention

Patient satisfaction on the prehabilitation program will be assessed using the Patient Satisfaction with Physical Therapy (PSPT) scale.(Monnin & Perneger, 2002) The PTSP scale is a 14-item multidimensional instrument providing satisfaction with treatment outcome and contextual factors (admission, logistics) related to the physiotherapy intervention. The feasibility of the prehabilitation program will be assessed as the number of completed sessions over the total prescribed.

Endpoints

As depicted in Table 1, outcomes will be measured preoperatively before and after the 9-week program (W0, W10), respectively. After ACLR, outcomes will be measured at 6 months (M6) and 12 months (M12), time frames when traditionally patients have returned to sport and stopped rehabilitation. (Keays et al., 2003). Performance of the intervention (PTST scale and feasibility) will be measured at W9, M6 and M12.

Group allocation and sample size

Randomization will be *blind* and stratified by center (physiotherapist). It will be carried out according to a 1:1 ratio and will be balanced by blocks. The randomization lists will be drawn up by a statistician from the Nantes University Hospital Research Promotion Department. Allocation will be concealed in sequentially numbered, opaque, sealed envelopes. Once a patient has been informed and has consented (supplementary file 1 and 2) to participate and after baseline measurements (W0), the patient will receive the next envelope in the sequence from the investigator. The opaque envelope contains a rehabilitation-guide with differing content on prehabilitation program setting based on the group allocation: resistance training or usual prehabilitation (RT or usual, respectively). Each patient will open the envelope during the first session of the prehabilitation before ACLR, with the physiotherapist. The envelope, once opened will reveal the prehabilitation program (randomization group).

Due to the predictive nature of KE strength outcome in determining the success of surgery and post-ACLR recovery, KE will be used as the main outcome of the trial. We will also consider KOOS (secondary outcome) as an important Quality of Life outcome for determining the sample size. Based on existing literature (De Jong et al., 2007; Eitzen et al., 2010; Shaarani et al., 2013) and from data collected during a pilot study, we expect to demonstrate a between-group difference of 10% (SD 15%) and 10 points, for KE isometric torque and KOOS, respectively, at W9 (the end of the prehabilitation program). With a power of 0.9 and a statistical threshold set a 0.05, a total of 75 patients will be required considering a dropout of 10%.

Intervention

The prehabilitation will consist of a total of 27 sessions, performed over 9-weeks (3 sessions/week). All the sessions will be supervised by a physiotherapist. The program will start 10th to 9th week before ACLR, and end within 7 days before ACLR.

The prehabilitation-guide will be used by the physiographist to administer the program, in accordance with the patient group-allocation. The rehabilitation-guide details the exercises and assessments, enabling the delivery, monitoring and adjustment of sessions according to the program goals. Each session is comprehensively outlined into the rehabilitation-guide with pictures, and QR code links for explanatory videos covering measurements/exercises. (GUIDE supplementary material)

For both groups (RT and usual), the 9-weeks program is subdivided into three phases of three-weeks sessions, that allows a progression of the load used during exercising (Ratamess et al., 2009). Each session of the program will last 60 minutes, including 15 minutes of manual therapy and pre-conditioning for exercising; 30 minutes of exercising and 15 minutes of cool-down. (Table 2)

Table 2 – Outline of prehabilitation program (with typical modalities), according to group allocation

	Manual therapy (10 minutes)	Warm-up (5 minutes)	Exercise (30 min)			Cool-down (10 to 20 min)
			Phase 1 (w0 to w3)	Phase 2 (w4 to w6)	Phase 3-(w7 to w9)	
RT group	Retrograde massage Manual mobilization (flexion/extension) Patellar mobilization	Wall slides Stationary cycling (low resistance)	Resistance: 20-25 RM KE: 4 sets of 20-25 reps KF: 4 sets of 20-25 reps	Resistance: 10-12 RM KE: 4 sets of 10-12 reps KF: 4 sets of 10-12 reps	Resistance: 8-10 RM KE: 4 sets of 8-10 reps KF: 4 sets of 8-10 reps	Cryotherapy Pressotherapy
Usual group			Gait Balance Mobility: ROM active exercises	Phase 1 + Proprioceptive Jumping	Phase 2 + Plyometrics, bodyweight resistance training	

Before each session, the physiotherapist will assess pain (VAS). If an increase of 30% in pain is observed between two consecutive sessions of the program, the intensity of the exercising part will be reduced by a 10% of session working load. After each session, the rate of exertion will be evaluated by the physiotherapist, to ensure that the patient has underwent the session at the targeted level of effort intensity of 9-10 on RPE scale).

Prehabilitation: Resistance Training (RT) group

Sets of contractions will always be performed as repetition maximum (RM, i.e., with the estimated load that enable the maximum number of repetitions) from 25 RM) (I.e.e, low laod, W1 to W3), intermediate-load of 10 RM (W4 to W6), and a high-load of 8 RM at the end of the program (W7 to W9). During each session, the exercise will be performed at an intensity of RPE 9-10 (i.e. near to failure). Based on the literature this progressivity and intensity in loads will target gains in strength and volume among strengthened muscle groups. (Schoenfeld et al., 2021). During the first phase of the program (W1-W3) a blood flow restriction (BFR) device could be used to reduce the external load on the injured knee (Lascevicus et al., 2023). This device is known to be clinically relevant in patients with an ACL condition. (Wengle et al., 2022)

The physiotherapist will choose one exercise for strengthening KE and KF muscle groups on a list of exercises detailed into the rehabilitation-guide. After the beginning of the session (pre-conditioning), participants will perform four sets of each exercise. A resting of 1 min 30 is allowed between sets.

Prehabilitation: Usual training group

The exercising part for participants of 'usual training group' will include traditional exercises used in prehabilitation (Eitzen et al., 2010) including: balance/proprioceptive exercises, weight-balances exercises, and body-weight resistance training exercises. Again, the 9 weeks will be sub-divided into 3 blocks of 3 weeks for inducing a progressive increase in training load. During W1 to W3, priority will be given to gait, weight balance and knee mobilization (active and passive) exercises to increase range of motion. From w4 to w7, proprioceptive and jumping exercises will be introduced. During the last 3 weeks, participants will perform 2 sets of 10 repetitions of body-weight exercises.

Post-operative rehabilitation

Both groups will perform the same rehabilitation program after the ACLR, using evidence-based approaches for optimizing the recovery and a full return to sport/activities (Filbay & Grindem, 2019; Kotsifaki et al., 2023; Shaarani et al., 2013; van Melick et al., 2016). Briefly, post-ACLR is composed by acute (day 1 to day 14), intermediate (day 15 to month 6) and long (>6 months) phases. Acute phase aims to recover from surgery, intermediate phase to restore neuromuscular, functional and mental capacities for returning to running and sport/activities. The long-term phase aims to optimise return to sport and to prevent long term issues (strength symmetry, confidence in self-capacities, load management for sport recovery). The guideline for post-ACLR rehabilitation is provided in Supplementary File 1.

The content of post-ACLR rehabilitation will be detailed in the rehabilitation-guide, with criteria/milestones described for moving forward from a phase to another. Specific text boxes will collect data relative to health consumption post-ACLR (drugs, using of medical equipment) and return to driving, work, run, sport.

Blinding

A same examiner (physiotherapist), experienced with sport physiotherapy, isokinetic, and ultrasound imaging will perform all assessments. Examiner and data processing will be kept blinded to the allocation of patient. It will not be possible to keep physiotherapists and patients blinded, due to the nature of the intervention (resistance training lead by physiotherapists).

Ethics and Data management

The study received approval from the ethics committee (CPP application number: XXX) and registered within the US National Institute of Health Database (ClinicalTrials.gov, ID: XXX). Data will be logged in anonymous sheets, accessible and stored on a password-protected platform. Only researchers will be allowed to access to the data. The software enables the identification of individuals who logged in and their actions, so as to restore different document versions. Data will be stored at Nantes University for 5 years after completion of the study. Coded data and statistical scripts will also be stored for archiving purposes.

Individual data will be shared anonymously for primary and secondary outcomes in publication. According to the European Union General Data Protection Regulation and French laws, each participant will be aware on their rights: to access, rectify and erase their personal data, so as the right to data portability. Any changes in eligibility criteria, outcomes analysis, roles of the investigators or data analysts, modification of blinding or any other changes in the study design will be immediately communicated to the ethics committee.

Partnerships and public involvement for the research

The study was designed by clinician and researchers from complementary fields including rehabilitation, sport sciences, general medicine, orthopedic surgery, and biostatistics. Individuals with ACL injury (either before or after surgery) were not involved as patient-partners. The objectives of this research, and choice of outcomes were guided by the evidence from the literature and clinical expertise. Knee strength is an outcome of interest for all health professionals involved in treating individuals with ACL injury. We conducted a previous study on prehabilitation practices (Frouin et al., under review) where individuals attending prehabilitation before ACLR highlighted: i) the opportunity to use resistance training program before ACLR, ii) that strengths improvements due to prehabilitation were associated with improvements in their capacities during daily life activities. These conclusions emphasize the fact that providing resistance training during prehabilitation is well accepted by patients awaiting ACLR.

Funding

Funding is not obtained yet.

Data analysis

Statistical analysis will be performed by an independent statistician blinded to group allocation using R statistical software version 4.2.1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Descriptive statistics will summarize demographic and clinical characteristics of patients and outcomes depending on the nature of the variables: mean \pm standard-deviation and quartiles for continuous variables; number (frequencies) of event for categorical variables. Statistical significance will be set at $\alpha=0.05$.

Primary endpoint

The maximal torque for KE strength, measured in MVC isometric condition, will be used to evaluate the between-group differences, at the end of prehabilitation (W9). We will use a Generalized Linear Mixed Model (GLMM) between strength and group, adjusted to the force measured at baseline and center (physiotherapist) as random effect.

An intention-to-treat principle will be used to perform the primary endpoint analysis. In case of missing data for the outcomes, we will use a multiple imputation. A sensitive analysis will be performed, with a negative evolution imputation. Furthermore we will use a per protocol analysis. For this analysis patients will be excluded if:

- They undergo less than 80% of the physiotherapist sessions
- They did not have measurements at T1 point-
- They decide to leave the clinical trial after being included

Secondary aims of this study: time-varying analyses

Regarding strength: the maximal torque, between-leg symmetry index (injured side/contralateral side), for KE and KF will be calculated at the different endpoints (T0, W9, M6, M12), for each condition (isometric, concentric 60°/sec, eccentric 30°/sec). A ratio KE/KF (both measured at 60°/sec) will also be calculated for providing a complete analysis of maximal strength capacities, and compared between groups according to the same model as the analysis of the primary endpoint, adding the time effect.

Changes will be expressed as mean difference and 95% confidence intervals. Effect size will be reported using partial eta square values of >0.2 (small), >0.5 (moderate), and >0.8 (large).

Similar procedures (GLMM) will be used for investigating between-group changes in muscle volume (in mL), tendon stiffness (shear modulus, in kPa), knee range of motion (maximal angle in flexion and extension), effusion (cm), and for all self-reported scores: KOOS, SANE, HAD.

Area Under the Curve (AUC) will underline VAS and RPE evolution during the whole rehabilitation process (pre and postoperatively).

Regarding the health consumption, we will calculate the delay between the date of ACLR and the date of ending drug consumption, crutches and brace using. Similarly, we will calculate the delay between ACLR and return to work (for workers only), return to drive, return to run, return to sport/activity. Frailty models for survival data will be used.

We will further evaluate the rate of participants meeting strength recovery at W9 ($LSI \geq 80\%$), and at M6 and M12 ($LSI \geq 90\%$) by GLMM. Moreover, the patients will be asked if they return to the same sport activity and to the same level of practice through simple yes/no question.

Finally, the performance of the prehabilitation program will be compared using the number of completed sessions per person, and the satisfaction scores reported at W9 only.

No data imputation will be performed on the secondary endpoints.

Discussion

Originality of the study

The originality of our study is to assess the effect of a pre operative resistance training designed to enhance maximal muscle strength. In addition, we will follow patients from pre operative phase to 12 month postoperative to evaluate long terms effect of prehabilitation on different constructs: structures, motor function, health consumption and activities. Then, the self-reported outcomes and satisfaction scores will provide data to estimate the performance of the intervention. These outcomes provide a more global aspect related to the treatment course (e.g. as work limitation or associated-health consumption) is still unknown. Finally, a mechanical point of view of the influence of prehabilitation those phases will be explored by assessing muscle and tendon volume, and tendon shear modulus.

What we aim to observe

Our program is designed to reach at least 90% similarity to the contralateral limb in KE/KF (isometric and dynamic) at the end of prehabilitation. We also speculate on the fact that prehabilitation will decrease the intensity of post-ALCR morbidities (e.g. arthrogenic muscle inhibition), and would

enhance the time course of muscle maximal strength and muscle volume recovery so as more favorable rates of returning to activities and sport.

Dissemination

Discussions with patients, and medical staff (GP, surgeons) will enhance the implementation of the on the study results. It will possibly improve the delivery of prehabilitation contents, defined by time, training type, training load, training intensity, pain management. We plan to collaborate with patients for the dissemination of the results of the study, to have input into the delivery of rehabilitation. Individual dashboards (resuming the patient progress for the mentioned outcomes) will be shared at each timepoint with the patient and the medical professional in charge of the following patient. However, we did not plan to do a cost-utility analysis that might help clinicians in deciding between treatment options, which might produce most benefits given the necessary costs.

Issues related to recruitment

The inclusion criteria aim to facilitate the recruitment. ACL-rehabilitation and ACLR are very popular among French physiotherapists and surgeons' practices (30% of knee consultations for rehabilitation, 3rd most common orthopedic procedures) with increasing trends according to the most recent activity analyses (Erivan et al., 2020; Panchout et al., 2017). An informal survey among the recruited clinics reported an averaged number of n=4 new patients/month/clinic for prehabilitation before ACLR. We anticipate our recruitment flow to be moderately low. Any recommendations by the monitoring committee might be made to modify recruitment if judged necessary.

Issues related to trial design

This study uses a pragmatic approach aimed at reflecting and informing clinical practice. Physiotherapists and medical staff engaged in the study already closely collaborate, using similar approaches for surgery and rehabilitation. All physiotherapists have undergone a training in the use of rehabilitation-guide. Phases and modalities will follow established guidelines, ensuring relative consistency across clinics. Also, the delay between injury and ACLR typically exceeds 9 weeks (eg. 4.5 months based on King et al. (2020)) providing guarantee for duration of our prehabilitation programs.

Issues related to adverse events

Patients and investigators may report any adverse event (with or without an expected relationship with the intervention) to the study coordinator. A serious adverse event related to this study would be a worsening of knee health such as a concomitant injury (e.g. meniscus tear) or reinjury after ACLR. Other types of adverse events might include the following: increase in joint effusion, pain within 48h after the end of a rehabilitation session. A monitoring committee might examine adverse events, and make recommendations to protect participants' safety. A group of complementary researchers in the fields of rehabilitation sciences, sport sciences and biostatistics from the hospital, from the physiotherapy school and the sport science university in Nantes will compose the data monitoring committee (DMC). Each 4 months, the role of the DMC will be to examine the flow of recruitment, examine potential adverse events, and make recommendations to protect participants' safety and protocol modifications (e.g., changes in eligibility criteria, outcomes or planned analyses).

Trial Status

Inclusion have not started yet on the 04/01/2024.

References

- Alshewaier, S., Yeowell, G., & Fatoye, F. (2017). The effectiveness of pre-operative exercise physiotherapy rehabilitation on the outcomes of treatment following anterior cruciate ligament injury : A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 31(1), 34-44. <https://doi.org/10.1177/0269215516628617>
- Andrade, R., Pereira, R., Van Cingel, R., Staal, J. B., & Espregueira-Mendes, J. (2020). How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II). *British Journal of Sports Medicine*, 54(9), 512-519. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100310>
- Ardern, C. L., Taylor, N. F., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2014). Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery : An updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *British Journal of Sports Medicine*, 48(21), 1543-1552. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093398>
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.
- Butcher, R., & Eldridge, J. (1990). The Use of Diaries in Data Collection. *The Statistician*, 39(1), 25. <https://doi.org/10.2307/2348192>
- Carter, H. M., Littlewood, C., Webster, K. E., & Smith, B. E. (2020). The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction : A systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 647. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03676-6>
- Conte, E. J., Hyatt, A. E., Gatt, C. J., & Dhawan, A. (2014). Hamstring Autograft Size Can Be Predicted and Is a Potential Risk Factor for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Failure. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 30(7), 882-890. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.03.028>
- Córdoba, L. L., Rodrigues, M. C., Corrêa De Freitas, R., Neto, H. P., Serafim Bonvino, M. A., Rossi, M. F., & Mazzei, L. G. (2023). Physiotherapeutic approach to the preoperative period for the anterior cruciate ligament reconstruction : A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 33, 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2022.09.001>
- Crichton, N. (2001). Information point : Visual Analogue Scale (VAS). 10, 706.
- Culvenor, A. G., & Barton, C. J. (2018). ACL injuries : The secret probably lies in optimising rehabilitation. *British Journal of Sports Medicine*, 52(22), 1416-1418. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098872>
- De Jong, S. N., Van Caspel, D. R., Van Haeff, M. J., & Saris, D. B. F. (2007). Functional Assessment and Muscle Strength Before and After Reconstruction of Chronic Anterior Cruciate Ligament Lesions. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 23(1), 21.e1-21.e11. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2006.08.024>
- Diermeier, T., Rothrauff, B. B., Engebretsen, L., Lynch, A. D., Ayeni, O. R., Paterno, M. V., Xerogeanes, J. W., Fu, F. H., Karlsson, J., Musahl, V., the Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group, Brown, C. H., Chmielewski, T. L., Clatworthy, M., Villa, S. D., Ernlund, L., Fink, C., Getgood, A., Hewett, T. E., ... Wilk, K. E. (2020). Treatment After Anterior Cruciate Ligament Injury : Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(6), 232596712093109. <https://doi.org/10.1177/2325967120931097>
- Edouard, P., & Degache, F. (2016). Guide d'isocinétisme. L'évaluation isocinétique des concepts aux conditions sportives et pathologiques (E. M. Ed.), Éd.).
- Eitzen, I., Holm, I., & Risberg, M. A. (2009). Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 371-376. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.057059>

- Eitzen, I., Moksnes, H., Snyder-Mackler, L., & Risberg, M. A. (2010). A Progressive 5-Week Exercise Therapy Program Leads to Significant Improvement in Knee Function Early After Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(11), 705-721. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3345>
- Erivan, R., Tardieu, A., Villatte, G., Ollivier, M., Jacquet, C., Descamps, S., & Boisgard, S. (2020). Knee surgery trends and projections in France from 2008 to 2070. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 106(5), 893-902. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.02.018>
- Filbay, S. R. (2022). Surgery or rehabilitation for anterior cruciate ligament injury : Where are we now? *The Lancet*, 400(10352), 543-545. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01580-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01580-X)
- Filbay, S. R., & Grindem, H. (2019). Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 33(1), 33-47. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2019.01.018>
- Filbay, S. R., Skou, S. T., Bullock, G. S., Le, C. Y., Räisänen, A. M., Toomey, C., Ezzat, A. M., Hayden, A., Culvenor, A. G., Whittaker, J. L., Roos, E. M., Crossley, K. M., Juhl, C. B., & Emery, C. (2022). Long-term quality of life, work limitation, physical activity, economic cost and disease burden following ACL and meniscal injury : A systematic review and meta-analysis for the OPTIKNEE consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 56(24), 1465-1474. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105626>
- Fontenelle, C. R. C., Mannarino, P., Ribeiro, F. B. D. O., Milito, M. A., Carvalho, A. C. P., Menegaldo, L. L., & Oliveira, L. F. (2018). Semitendinosus and patellar tendons shear modulus evaluation by supersonic shearwave imaging elastography. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(6), 959-964. <https://doi.org/10.1111/cpf.12506>
- Frouin, A., Desfontaines, N., Lacourpaille, L., Nordez, A., & Le Sant, G. (under review). Attending preoperative rehabilitation leads to improvements in mental and physical functioning according to people with anterior cruciate ligament injury : A mixed methods study. *Physical Therapy in Sport*.
- Frouin, A., Guenanten, H., Le Sant, G., Lacourpaille, L., Liebard, M., Sarcher, A., McNair, P. J., Ellis, R., & Nordez, A. (2023). Validity and Reliability of 3-D Ultrasound Imaging to Measure Hamstring Muscle and Tendon Volumes. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 49(6), 1457-1464. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.012>
- Giesche, F., Niederer, D., Banzer, W., & Vogt, L. (2020). Evidence for the effects of prehabilitation before ACL-reconstruction on return to sport-related and self-reported knee function : A systematic review. *PLOS ONE*, 15(10), e0240192. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240192>
- Grevnerts, H. T., Sonesson, S., Gauffin, H., Arden, C. L., Stålmán, A., & Kvist, J. (2021). Decision Making for Treatment After ACL Injury From an Orthopaedic Surgeon and Patient Perspective : Results From the NACOX Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(4), 232596712110050. <https://doi.org/10.1177/23259671211005090>
- Herrington, L., Ghulam, H., & Comfort, P. (2021). Quadriceps Strength and Functional Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Professional Soccer players at Time of Return to Sport. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 769-775. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002749>
- Hug, F., Tucker, K., Gennisson, J.-L., Tanter, M., & Nordez, A. (2015). Elastography for Muscle Biomechanics : Toward the Estimation of Individual Muscle Force. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 43(3), 125-133. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000049>
- Keays, S. L., Bullock-Saxton, J. E., Newcombe, P., & Keays, A. C. (2003). The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research*, 21(2), 231-237. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(02\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(02)00160-2)
- Keays, S. L., Newcombe, P. A., Bullock-Saxton, J. E., Bullock, M. I., & Keays, A. C. (2010). Factors Involved in the Development of Osteoarthritis after Anterior Cruciate Ligament Surgery. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(3), 455-463. <https://doi.org/10.1177/0363546509350914>

- Kim, D. K., Park, G., Wang, J. H., Kuo, L.-T., & Park, W. H. (2022). Preoperative quadriceps muscle strength deficit severity predicts knee function one year after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scientific Reports*, 12(1), 5830. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09816-3>
- King, E., Richter, C., Jackson, M., Franklyn-Miller, A., Falvey, E., Myer, G. D., Strike, S., Withers, D., & Moran, R. (2020). Factors Influencing Return to Play and Second Anterior Cruciate Ligament Injury Rates in Level 1 Athletes After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : 2-Year Follow-up on 1432 Reconstructions at a Single Center. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(4), 812-824. <https://doi.org/10.1177/0363546519900170>
- Konrath, J. M., Vertullo, C. J., Kennedy, B. A., Bush, H. S., Barrett, R. S., & Lloyd, D. G. (2016). Morphologic Characteristics and Strength of the Hamstring Muscles Remain Altered at 2 Years After Use of a Hamstring Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(10), 2589-2598. <https://doi.org/10.1177/0363546516651441>
- Kotsifaki, R., Korakakis, V., King, E., Barbosa, O., Maree, D., Pantouveris, M., Bjerregaard, A., Luomajoki, J., Wilhelmsen, J., & Whiteley, R. (2023). Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 57(9), 500-514. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106158>
- Lepley, L. K., Davi, S. M., Burland, J. P., & Lepley, A. S. (2020). Muscle Atrophy After ACL Injury : Implications for Clinical Practice. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 12(6), 579-586. <https://doi.org/10.1177/1941738120944256>
- Logerstedt, D., Lynch, A., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2013). Pre-operative quadriceps strength predicts IKDC2000 scores 6months after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Knee*, 20(3), 208-212. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2012.07.011>
- Maffiuletti, N. A., Barbero, M., Cescon, C., Clijisen, R., Beretta-Piccoli, M., Schneebeli, A., Preiss, S., & Togninalli, D. (2016). Validity of the twitch interpolation technique for the assessment of quadriceps neuromuscular asymmetries. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 28, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.03.002>
- Matsuda, K., & Misaka, E. (1975). Studies on cathepsins of rat liver lysosomes. II. Comparative studies on multiple forms of cathepsin A. *Journal of Biochemistry*, 78(1), 31-39.
- Monnin, D., & Perneger, T. V. (2002). Scale to Measure Patient Satisfaction With Physical Therapy. *Physical Therapy*, 82(7), 682-691. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.7.682>
- Nahler, G. (2009). Visual analogue scale (VAS). In G. Nahler, *Dictionary of Pharmaceutical Medicine* (p. 189-189). Springer Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-211-89836-9_1450
- Neyroud, D., Vallotton, A., Millet, G. Y., Kayser, B., & Place, N. (2014). The effect of muscle fatigue on stimulus intensity requirements for central and peripheral fatigue quantification. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 205-215. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2760-2>
- Nicholas, J. J., Taylor, F. H., Buckingham, R. B., & Ottonello, D. (1976). Measurement of circumference of the knee with ordinary tape measure. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 35(3), 282-284. <https://doi.org/10.1136/ard.35.3.282>
- Øiestad, B. E., Juhl, C. B., Eitzen, I., & Thorlund, J. B. (2015). Knee extensor muscle weakness is a risk factor for development of knee osteoarthritis. A systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 23(2), 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.10.008>
- Ornetti, P., Parratte, S., Gossec, L., Tavernier, C., Argenson, J.-N., Roos, E. M., Guillemin, F., & Maillefert, J. F. (2008). Cross-cultural adaptation and validation of the French version of the Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) in knee osteoarthritis patients. *Osteoarthritis and Cartilage*, 16(4), 423-428. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2007.08.007>
- Panchout, E., Doury-Panchout, F., Launay, F., & Coulliandre, A. (2017). Prévalence des pathologies rencontrées en kinésithérapie libérale : Un outil pour repenser l'enseignement en kinésithérapie ? *Kinésithérapie, la Revue*, 17(192), 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2017.09.071>

- Pietrosimone, B., Lepley, A. S., Harkey, M. S., Luc-Harkey, B. A., Blackburn, J. T., Gribble, P. A., Spang, J. T., & Sohn, D. H. (2016). Quadriceps Strength Predicts Self-reported Function Post-ACL Reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(9), 1671-1677. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000946>
- Place, N., Maffiuletti, N. A., Martin, A., & Lepers, R. (2007). Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle. *Muscle & Nerve*, 35(4), 486-495. <https://doi.org/10.1002/mus.20714>
- Poulsen, E., Goncalves, G. H., Bricca, A., Roos, E. M., Thorlund, J. B., & Juhl, C. B. (2019). Knee osteoarthritis risk is increased 4-6 fold after knee injury – a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 53(23), 1454-1463. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100022>
- Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. (2009). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687-708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Roberge, P., Doré, I., Menear, M., Chartrand, É., Ciampi, A., Duhoux, A., & Fournier, L. (2013). A psychometric evaluation of the French Canadian version of the Hospital Anxiety and Depression Scale in a large primary care population. *Journal of Affective Disorders*, 147(1-3), 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2012.10.029>
- Rothstein, J. M., Miller, P. J., & Roettger, R. F. (1983). Goniometric Reliability in a Clinical Setting. *Physical Therapy*, 63(10), 1611-1615. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.10.1611>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Van Every, D. W., & Plotkin, D. L. (2021). Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance : A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports*, 9(2), 32. <https://doi.org/10.3390/sports9020032>
- Shaarani, S. R., O'Hare, C., Quinn, A., Moyna, N., Moran, R., & O'Byrne, J. M. (2013). Effect of Prehabilitation on the Outcome of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(9), 2117-2127. <https://doi.org/10.1177/0363546513493594>
- Tayfur, B., Charupongsa, C., Morrissey, D., & Miller, S. C. (2021). Neuromuscular Function of the Knee Joint Following Knee Injuries : Does It Ever Get Back to Normal? A Systematic Review with Meta-Analyses. *Sports Medicine*, 51(2), 321-338. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01386-6>
- Tengman, E., Brax Olofsson, L., Stensdotter, A. K., Nilsson, K. G., & Häger, C. K. (2014). Anterior cruciate ligament injury after more than 20 years. II. Concentric and eccentric knee muscle strength. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(6). <https://doi.org/10.1111/sms.12215>
- Todd, G., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2004). Reproducible measurement of voluntary activation of human elbow flexors with motor cortical stimulation. *Journal of Applied Physiology*, 97(1), 236-242. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01336.2003>
- Truong, L. K., Mosewich, A. D., Holt, C. J., Le, C. Y., Miciak, M., & Whittaker, J. L. (2020). Psychological, social and contextual factors across recovery stages following a sport-related knee injury : A scoping review. *British Journal of Sports Medicine*, 54(19), 1149-1156. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101206>
- Urhausen, A. P., Berg, B., Øiestad, B. E., Whittaker, J. L., Culvenor, A. G., Crossley, K. M., Juhl, C. B., & Risberg, M. A. (2022). Measurement properties for muscle strength tests following anterior cruciate ligament and/or meniscus injury : What tests to use and where do we need to go? A systematic review with meta-analyses for the OPTIKNEE consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 56(24), 1422-1431. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105498>
- Van Melick, N., Van Cingel, R. E. H., Brooijmans, F., Neeter, C., Van Tienen, T., Hullegie, W., & Nijhuis-van Der Sanden, M. W. G. (2016). Evidence-based clinical practice update : Practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1506-1515. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095898>

Webster, K. E., & Feller, J. A. (2019). Expectations for Return to Preinjury Sport Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(3), 578-583. <https://doi.org/10.1177/0363546518819454>

Wengle, L., Migliorini, F., Leroux, T., Chahal, J., Theodoropoulos, J., & Betsch, M. (2022). The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery : A Systematic Review and Meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(10), 2824-2833. <https://doi.org/10.1177/03635465211027296>

Williams, G. N., Taylor, D. C., Gangel, T. J., Uhorchak, J. M., & Arciero, R. A. (2000). Comparison of the Single Assessment Numeric Evaluation Method and the Lysholm Score: *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 373, 184-192. <https://doi.org/10.1097/00003086-200004000-00022>

Zaccherotti, G., & Olmastroni, M. (2015). Muscle strength recovery versus semitendinosus and gracilis tendon regeneration after harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sports Sciences*, 33(20), 2149-2156. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1066930>

Recommendations for Post-ACLR rehabilitation

References: Filbay & Grindem (2019) Best Prac Res Clin Rheum ; Kotsifaki et al (2023) Brit J Sport Med ; van Melick et al (2016) Brit J Sport Med; Shaarani et al (2013) Am J Sport Med

Patient's symptoms, abilities, and desires might require further investigation / treatment.

All exercises are delivered in a patient-centered approach (adapted to type of activities/needs...), and within tolerance level.

1 1. Guidelines for post-ACLR rehabilitation

Acute phase (day 1 – day 7)	
Main goals	<p>Manage pain and joint effusion Increase knee passive/active range of motion (ROM) Increase strength Recover gait / weight-bearing (crutches, brace) Patient education</p>
Modalities	<p>Adjustment of loading, cryotherapy Gentle scar and joint mobilizations, continuous passive motion, if useful Active and passive range-of motion exercises (e.g., quadriceps sets, active straight leg raise, prone hang, and heel slides, roll under the heel and straighten the knee, knee unsupported) Neuromuscular electrical stimulation (NMES) + voluntary contraction Education/Monitoring for weight-bearing, and gait and throughout a normal gait pattern</p>
Acute phase (day 7 – day 14)	
Main goals	<p>Control pain and joint effusion Recover full knee passive/active extension ; knee flexion to 110° Increase neuro-muscular recovery Full weight bearing, independent gait</p>
Modalities	<p><i>previous</i> + joint mobilizations (glides: patella, fib-tib) weight-bearing (closed kinetic chain) 0-45° non-weightbearing (open kinetic chain) exercises 90°-60° (e.g., minisquats, quadriceps/hamstring co-contraction, hamstring curls (standing and prone), multi-hip machine, leg-press or inclined sled) Bilateral weight shifts Cardiovascular exercises (upper limb, start stationary cycling using contralateral leg ++) Increase gait perimeter without increasing effusion/pain and brace</p>
Milestones	Lack of progression in ROM (in particular KE), increased laxity in the joint may require discussion with the surgeon.
Intermediate phase (weeks 3-4)	
Main goals	<p>Control pain / avoid effusion knee flexion to 125° Increase intensity of neuromuscular exercises (introduce Blow Flow Restriction) Increase intensity of cardiovascular exercises Introduce balance/proprioception</p>

	Normal gait pattern
Modalities	<p><i>previous</i> + isometric training at different angles (90°, 60°, 30°) Heel rise / toe raise Closed-chain exercises: mini-squats (increase range from 20°-70 to 0-90°) Wall-sits with increased bilateral weightbearing. Balance and proprioception: motor control of movement/weightbearing (balance board -2 legged, single leg stance) on a flat surface; stepping over a line of cones (forward, sideways, backwards) Cardiovascular exercises (upper limb, stationary cycling using injured leg when 110° flexion achieved, no/low resistance) Aquatherapy walking</p>
Intermediate phase (weeks 5-6)	
Main goals	<p>Control pain / avoid effusion knee flexion to 135° Increase intensity of neuromuscular exercises (endurance) Increase/pursue intensity of cardiovascular exercises Increase balance/proprioception Normal gait pattern</p>
Modalities	<p><i>previous</i> + Increase reps/resistance/sets for isometric training, heel/toe raises, hamstring curls, knee extension (90 to 60°), wall-sits, mini-squats, multi-hip machine, leg press or inclined-sled (70-10°) non-weightbearing (open kinetic chain) exercises 90°-45° Balance and proprioception: 2 legged, sing leg stances with full weightbearing Normal gait with 100% weightbearing</p>
Intermediate phase (weeks 7-8)	
Main goals	<p>Control pain / avoid effusion Full knee ROM (flexion and extension) Increase intensity of neuromuscular exercises Increase/pursue intensity of cardiovascular exercises Increase balance/proprioception ~ 20 minutes of gait (daily life) without pain</p>
Modalities	<p><i>previous</i> + progression in reps/resistance/sets Hamstring curls, knee extension (90°-60°), Leg press (70°-10°), multi-hip machine, lateral step-ups and closed-chain exercises Progress balance and proprioception: Balance board, single-leg, resistance band walking, ball toss... Increase cardiovascular exercises, in particular stationary bike</p>
Intermediate phase (weeks 9-12)	

Main goals	Independent activities of daily-life Increase strength and endurance, balance and cardiovascular exercises + adaptations to patients' activities
Modalities	Mobility exercises Continue strengthening exercises as above with progressions in resistance, reps and sets. Balance and proprioception: ball work in single leg, trampoline Increase cardiovascular exercises: <i>As previous</i> + walking (forward/backwards) + treadmill walking
Milestone	End of phase: consider the opportunity of straight-line running [cf criteria – return to running]
Intermediate phase (from month 3 to month 6)	
Main goals	Increase strength and endurance, balance and cardiovascular exercises Begin open chain exercises to full extension Prepare for return to sport
Modalities	Continue strengthening exercises as above with progressions in resistance, reps and sets. Continue balance and proprioception Initiate running: increase speed and distance gradually (½, ¾, full speed; ½, 1, 1.5 km) Initiate cutting exercises as appropriate (lateral running, figure 8s) Plyometric exercises as appropriate (base strength achieved): hop, jump, box hops, burpees... Sports specific drills, based on patient's specific goals and athletic demands
Late phase (from month 6 to month 12)	
Main goals	Increase strength and endurance, balance and cardiovascular exercises return to sport
Modalities	Continue strengthening exercises as above with progressions in resistance, reps and sets. Continue balance and proprioception Running: interval running, walk/rest phase (3:1), backwards running Increase plyometric exercises: unilateral hopping, jumping, box hops, depth jumps, leap frogs, burpees... Sports specific drills, based on patient's specific goals and athletic demands
Milestone	Consider return to sport [cf criteria – return to sport] Sport specific training needed

2. Return to activities

Return to driving:

- Ability to activate the brake safely, in case of emergency
- Medical validation

Approximative delay post-ACLR: 4–6 weeks after right-sided ACLR ; 2–3 weeks after left sided ACLR

Return to running:

- Knee ROM: 95% flexion, full extension
- No effusion
- Limb symmetry index (injured side vs contralateral) > 70% for KE strength
- Limb symmetry index (injured side vs contralateral) > 70% during impulse, during countermovement jump
- Pain-free single-leg hopping
- Pain-free running in a low-gravity environment (Alter-G, aquatherapy...) [if possible to test]

Approximative delay post-ACLR: ~12 weeks

Return to sport:

- Knee full ROM
- No pain, no effusion
- Normal self-reported psychological and knee function
- Limb symmetry index (injured side vs contralateral) > 90% for KE strength; 100% (isokinetic concentric 60°/sec) for high demand pivoting sports; minimum of pre-operative values
- Limb symmetry index (injured side vs contralateral) > 90% during impulse, during countermovement jump and drop jump
- Stable knee (Lachman or instrumented laxity test)

Approximative delay post-ACLR: not determined

Discussion générale

Partie 1-Analyse des volumes musculaires et tendineux

Sous-partie 1 - Considérations méthodologiques

L'étude #1 nous a permis de développer une méthode d'échographie 3D innovante associée à un « GelPad » afin de limiter les biais de compressions lors des scans successifs des structures imagées (Thomaré et al., 2021). Ainsi, le volume du *semitendinosus*, du *biceps femoris*, du *semimembranosus*, d'une partie du *gracilis*, du tendon du *gracilis* et du *semitendinosus*, ont pu être imagés de manière fiable et reproductible comparativement à l'imagerie par résonance magnétique (Frouin et al., 2023). Cette technique permet une accessibilité plus grande et plus rapide comparativement à l'IRM, le « gold standard », pour l'imagerie de volumes musculaires et tendineux.

Cependant, la fabrication du « GelPad » est coûteuse en temps et n'est pas industrialisée. Ce « GelPad » sèche et se fragilise avec le temps et ne permet (au bout de plusieurs utilisations) plus d'imager convenablement les volumes des structures imagées. De plus, d'autres méthodes d'échographie 3D démontrent qu'il est également possible en prêtant une attention particulière à la compression d'imager des volumes musculaires (Huet et al., 2023). Nous pouvons donc raisonnablement imaginer qu'à l'avenir, en formant les examinateurs à l'application d'une pression minimale, cette méthode puisse être utilisée de manière fiable et reproductible sans l'utilisation d'un « GelPad ».

Ensuite, le temps de traitement inhérent à cette technique est très important (Le Troter et al., 2016). Pour chacun des muscles imagés, 40 à 50 segmentations de CSA sont nécessaires afin de permettre la reconstruction d'un volume musculaire complet. De par leurs insertions et leur conformation spatiale, les ischio-jambiers méritent une attention particulière pour les portions proximales et distales. Il est, en effet, nécessaire de contourer des CSA à intervalle de distance plus régulier sur ces

portions afin de reconstituer un volume fiable (Kellis et al., 2018). Le remplissage semi-automatique utilisé (module « Fill Between Slice » ; slicer.org, version 4.10.1, Perth, Australia) permet de reconstituer automatiquement une partie du volume musculaire entre deux CSA contourées manuellement. Un gain de temps considérable est ainsi réalisé comparativement au contourage de chacune des CSA imagées. Cependant, une correction manuelle à posteriori est tout de même nécessaire afin de corriger le contourage semi-automatique effectué.

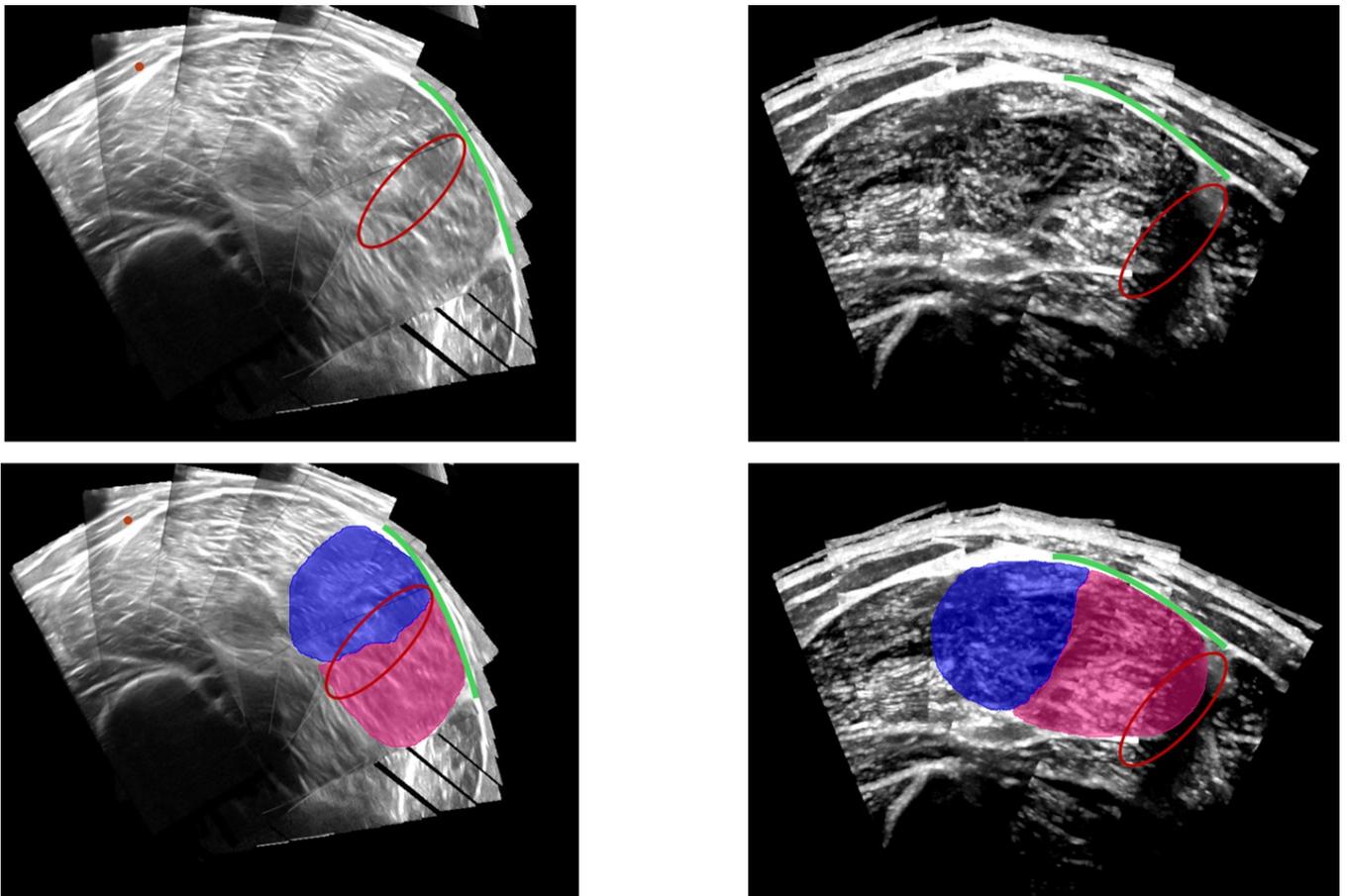


Figure 31 : Images 3D reconstituées à partir de scans successifs des IJ. En bleu le ST, en rose le SM, en rouge les zones menant à plus complexe à contourer et pouvant conduire à interprétation de l'examineur, en vert les lignes aponévrotiques nettes.

A la suite de plusieurs mois d'expériences, une durée moyenne d'une heure pour les muscles ischio-jambiers est nécessaire afin de contourer chaque muscle individuellement. Une durée de 20 minutes est, quant à elle, nécessaire pour le traitement et la quantification du volume des tendons mentionnés. Ce temps

Discussion générale

s'explique en grande partie par la qualité d'image variable entre les sujets. Les aponévroses musculaires au sein d'un même volume reconstitué peuvent être variables et demander une attention particulière (Figure 31).

Des recherches sont en cours afin d'automatiser les procédés de contourage des CSA musculaires par une intelligence artificielle. Des résultats encourageants sont d'ores et déjà observés sur des images IRM et l'intelligence artificielle sera, dans les prochains mois, entraînée afin de contourer de manière automatique les images obtenues par échographie 3D. Le procédé utilisé permet actuellement la segmentation automatique de 18 muscles du membre inférieur à partir d'image IRM. L'intelligence artificielle est entraînée grâce à des volumes qui ont préalablement été segmentés manuellement. Elle est ensuite capable de contourer de manière automatique les aires de coupe transversales musculaires permettant par addition d'aboutir à un volume 3D musculaire (Piecuch et al., 2023). Pour le moment, seuls des essais préliminaires ont été menés sur des images d'échographie 3D. Cette technique permettrait une avancée majeure et rapprocherait la méthode un peu plus d'une utilisation régulière en clinique.

Sous-partie 2 - Perspectives

Lors de cette première étude, nous nous sommes intéressés à la reproductibilité ainsi qu'à la fiabilité de l'échographie 3D pour mesurer les volumes des ischio-jambiers et des tendons du *gracilis* et du *semitendinosus*. Les tendons du *gracilis* et du *semitendinosus* n'ont cependant été imagés que partiellement. En effet, leur volume a été quantifié de la jonction myotendineuse à + 6 cm et - 6 cm (Frouin et al., 2023). Ces choix avaient été effectués du fait de l'expérience en imagerie tendineuse qui ne permettait pas en début de thèse d'avoir une image optimale au-delà de ces 6 cm pour l'insertion distale. Désormais, il semblerait qu'en utilisant une sonde 15-4 (SuperLinear SLH15-4, SuperSonic Imagine, Aix-en-Provence, France) moins sensible aux mouvements de l'opérateur, il pourrait être envisageable d'imager le volume du tendon de manière complète. L'imagerie du volume distal de ces tendons a, d'ores et déjà, été réalisée par d'autres équipes dans le cadre de premiers travaux

(Sahinis et al., 2021). Ces derniers montrent que l'échographie 3D est une méthode de mesure fiable permettant de mesurer le volume de la portion distale du tendon du *semitendinosus* (i.e de la jonction myotendineuse à l'insertion distale sur la patte d'oie ; Figure 32).

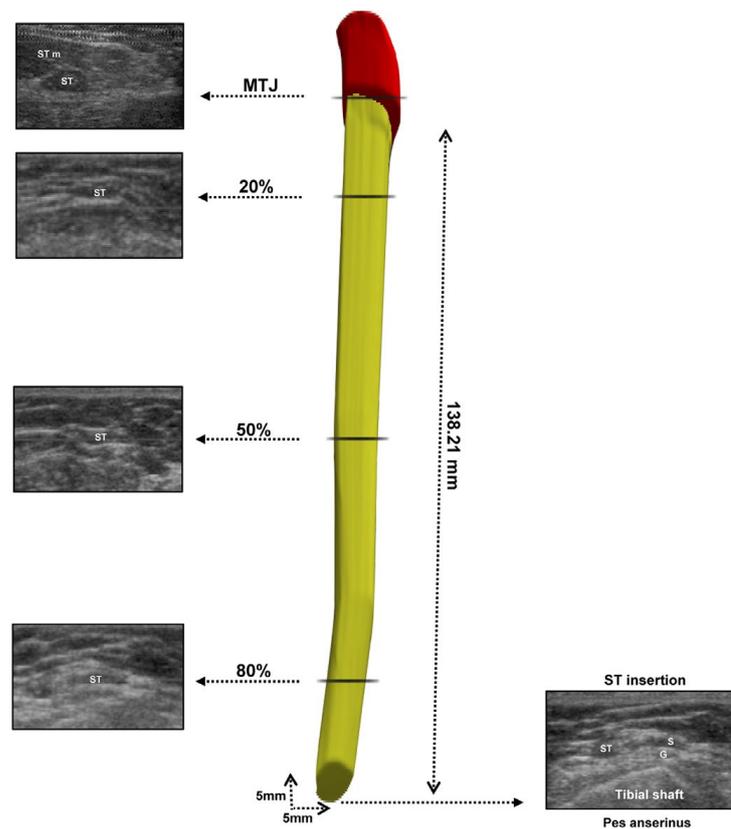


Figure 32 : Exemple de reconstruction de la portion distale du tendon du *semitendinosus* mesurée par échographie 3D. MTJ: jonction myo-tendineuse ; ST: *semitendinosus*. Sahinis et al., (2021).

La variation inter individuelle du volume tendineux pourrait en outre, être hautement influencée par la portion tendineuse intra-musculaire. Il est en effet observable, que suivant les sujets examinés, les conformations spatiales intra-musculaires peuvent être variables d'un individu à l'autre (Figure 33)

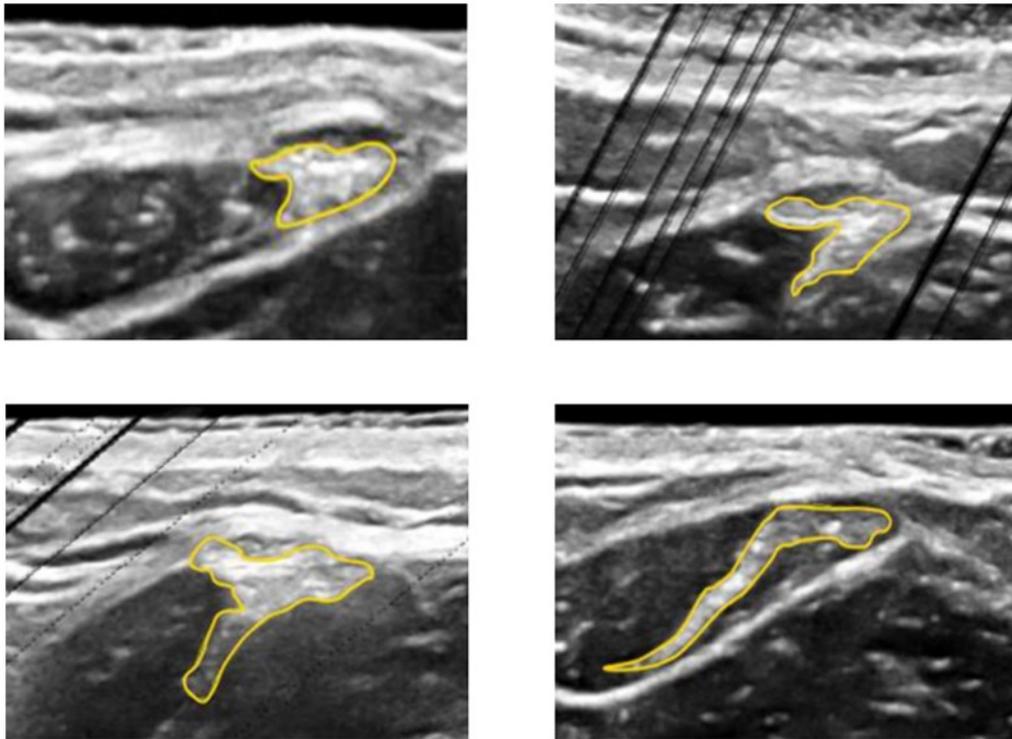


Figure 33 : Différence de morphologie du tendon du ST pour 4 sujets. Ces tendons ont été imagés à un même repère anatomique 3 cm au-dessus de la jonction myotendineuse.

Cette information semble être importante à prendre en compte puisque certaines études démontrent également qu'il est possible grâce à une mesure pré opératoire de la CSA de ces tendons de prédire la taille du greffon (Movahedinia et al., 2023). Pour rappel, un diamètre d'au moins 8 mm limiterait le nombre de re rupture à la suite d'une intervention chirurgicale (-6,8 x chance de re rupture ; Konrath et al., 2016). Il serait donc intéressant d'avoir un retour sur le diamètre du greffon lors de la chirurgie et de comparer ce dernier avec le volume complet du tendon mesuré par échographie 3D. Nous aurons la possibilité de mettre cela en place lors du protocole pré opératoire puisque les volumes tendineux seront mesurés avant et après l'entraînement pré opératoire, puis à 6 et 12 mois post-opératoire. Ici, nous abordons la mesure des volumes tendineux servant à la constitution d'un greffon lors d'une ligamentoplastie de type DIDT, ou DT4. Pour la chirurgie BPBT ou Kenneth Jones, c'est le tendon patellaire qui est prélevé. À ce jour, notre méthode n'a pas validé la fiabilité et la

reproductibilité de la mesure sur ce tendon. Il paraît pertinent en vue de l'étude clinique envisagée, de valider également cette méthode pour ce tendon.

En ce qui concerne la mesure de l'évolution du volume quadricipital, seul muscle le *vastus lateralis* a été imagé pour les études #2 (données non publiées) et #3. Nous pourrions envisager de mesurer également le muscle *rectus femoris* et *vastus intermedius*, car en position latérale (position utilisée actuellement pour la mesure du *vastus latéralis*) en élargissant la zone scannée, il semble tout à fait possible d'obtenir également ce volume (Figure 34). Le *vastus medialis* ne peut pas être imagé à partir de ce même positionnement. Ces mesures permettraient d'être plus représentatif de l'atrophie et de l'hypertrophie du *quadriceps* lors du suivi du patient en phase pre et post opératoire. Il est en effet décrit une atrophie importante du muscle *quadriceps* à la suite d'une ligamentoplastie qui est en partie responsable de la diminution de capacité de production de force maximale en extension de genou (Kuenze et al., 2016). Ces déficits de force sont ensuite corrélés à l'apparition de problématiques à long terme pour le patient, comme l'arthrose (Gong et al., 2022). Un développement de ce volume musculaire en pre opératoire permettrait ainsi de limiter l'apparition des complications à long terme pour les patients ayant eu recours à une ligamentoplastie.

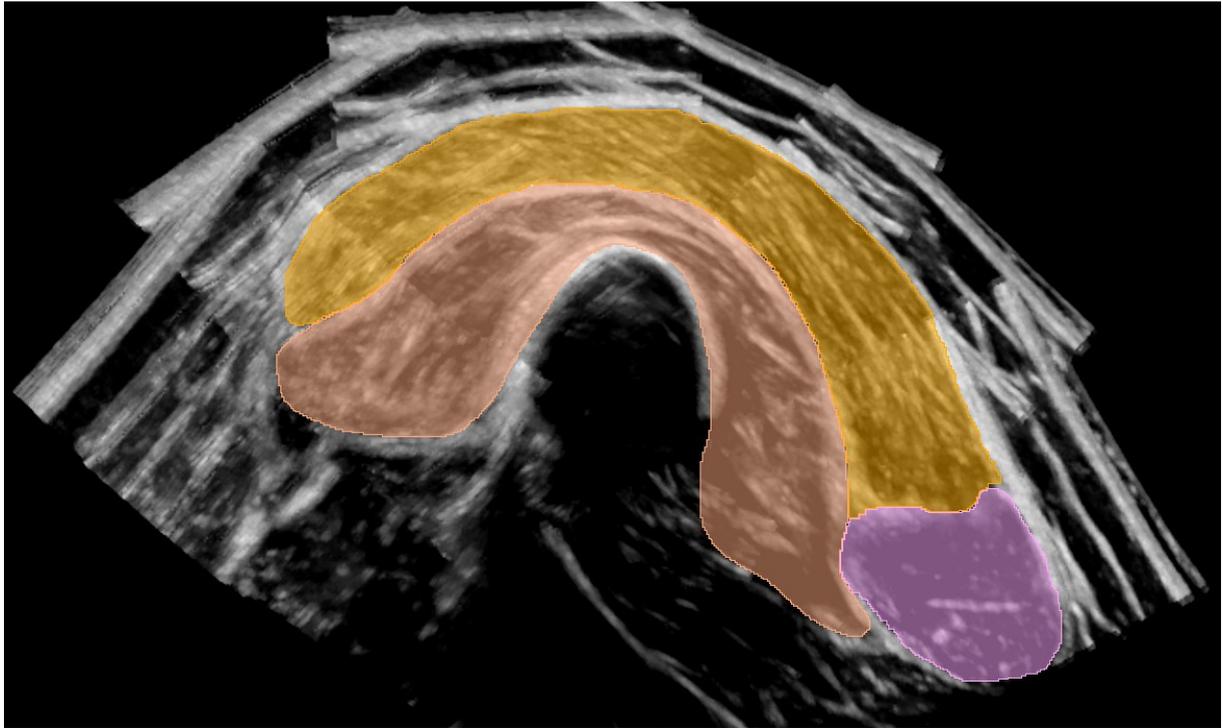


Figure 34 : Image 3D du quadriceps segmentée à la suite d'un scan effectué en position identique à celle utilisée pour le VL. En orange le VL, en saumon le vastus intermedius et en rose le rectus femoris.

Partie 2 - Entraînement contre résistance

Sous-partie 1 - Considérations méthodologiques

Paramètres de l'entraînement

Lors de l'étude **#2**, l'influence de deux méthodes d'entraînement (charge lourde vs charge légère + BFR) ont été comparées. Des résultats similaires en termes d'hypertrophie (musculaire et tendineuse) et de force maximale isométrique en flexion de genou, ont été rapportés. La charge lourde semble favoriser l'hypertrophie du muscle *semitendinosus* tandis que la charge légère associée au BFR semble favoriser l'hypertrophie du *semimembranosus*. Des pistes explicatives ont été explorées afin d'expliquer ces différences, par la discussion de l'article Frouin et al., 2024. Il semble pertinent d'ajouter des éléments à cette discussion.

Dans l'étude **#2**, aucune corrélation n'a été retrouvée entre le pourcentage de volume total des ischio-jambiers que représentait un muscle au temps de mesure initial et son évolution de volume après l'entraînement contre résistance en pourcentage. Autrement dit, si un muscle possède un faible volume au sein du groupe musculaire des ischio-jambiers initialement cela n'est pas prédictif de l'évolution de son volume à la suite d'un entraînement contre résistance.

L'utilisation du BFR peut donner lieu à de l'inconfort lors des séances d'entraînement pour les sujets (Spitz et al., 2022). Nous émettons l'hypothèse que cet inconfort ou que l'application d'un dispositif de flux sanguin au niveau de la cuisse, ait pu entraîner de l'inconfort pour les sujets de l'étude **#2**. Cet inconfort a pu être à l'origine d'une modification de gestuelle et/ ou d'activation des muscles ischio-jambiers durant les exercices d'entraînement contre résistance et ainsi influencer l'hypertrophie observée. D'importantes différences interindividuelles, dans la distribution de l'hypertrophie au sein des ischio-jambiers, ont en effet été soulignée dans l'étude **#2**. Il semble donc complexe d'induire une hypertrophie sélective du ST particulièrement

Discussion générale

touché par l'atrophie à la suite de la chirurgie de type DIDT (Konrath et al., 2016). Une étude ancillaire sur une partie des sujets de l'étude #2 est en cours. Une mesure de l'activation des chefs des ischio-jambiers est dans cette étude associée à une mesure de cinématique du mouvement grâce à des centrales inertielles. Des résultats préliminaires semblent souligner des activations variables des chefs musculaires entre les groupes RT et BFR-LL.

Lors de l'entraînement, la position articulaire n'a pas été mesurée, ce qui a pu donner une variabilité importante de l'amplitude articulaire sollicitée par les participants lors des exercices d'entraînement contre résistance. Il est en effet décrit que l'amplitude articulaire peut avoir une influence importante sur l'hypertrophie musculaire (pour revue Kassiano et al., 2022). Pour les ischio-jambiers, Maeo et al., (2021) rapportent une amplitude d'hypertrophie plus importante pour le groupe « seated leg curl » comparativement au groupe « prone leg curl » après 12 semaines d'entraînement. La différence réside pour ces deux exercices dans le positionnement de la hanche 80° de flexion pour le seated leg curl et 0° pour le prone leg curl. Ainsi, pour un exercice comme le « stiff leg deadlift », l'angulation de la hanche et du genou ont pu varier d'un individu à l'autre. Ces variations d'amplitudes entraînent une sollicitation à plus ou moins grande longueur musculaire sur les muscles sollicités selon les participants. Un sujet réalisant le « stiff leg deadlift » avec une flexion de hanche importante et une flexion de genou minimale va ainsi entraîner une contrainte mécanique plus importante sur les ischio-jambiers qu'un sujet réalisant l'exercice avec une flexion de genou importante et une flexion de hanche diminuée. La position de la hanche n'a pas non plus été investiguée lors de l'exercice de « leg curl ». Au fur et à mesure des répétitions une avancée du bassin sur l'appareil d'entraînement a pu être constatée visuellement. Il était alors demandé au sujet de se replacer dans le siège. Nous pouvons ici également imaginer, que pour une extension totale de genou fixe le positionnement de la hanche a pu influencer la contrainte mécanique exercée sur les muscles ischio-jambiers (i.e longueur musculaire plus faible) et donner lieu à des amplitudes d'hypertrophies divergentes entre les individus.

Ces considérations de paramètres d'entraînement devront être dispensées aux kinésithérapeutes mettant en place la rééducation pre opératoire afin de maximiser les gains hypertrophiques.

L'évolution du volume musculaire du *vastus lateralis* (Figure 35) avait également été mesurée lors de l'étude #2. Les sujets effectuaient parallèlement aux exercices ciblant les ischio-jambiers, 2 exercices ciblant le *quadriceps* à savoir le « leg extension » et le « front squat ». Cela nous assurait que le programme d'entraînement utilisé permettait également une adaptation en volume du muscle *quadriceps* particulièrement touché par l'inhibition post opératoire (Rice et al., 2014). Une différence significative dans l'augmentation de volume est retrouvée entre les 3 groupes (p tous $<0,001$) L'augmentation est évaluée à $29,3 \pm 10,3$ % pour le groupe HL, à $12,3 \pm 9,9$ % pour le groupe BFR-LL et $-4,0 \pm 10,1$ % pour le groupe CON (Figure 35).

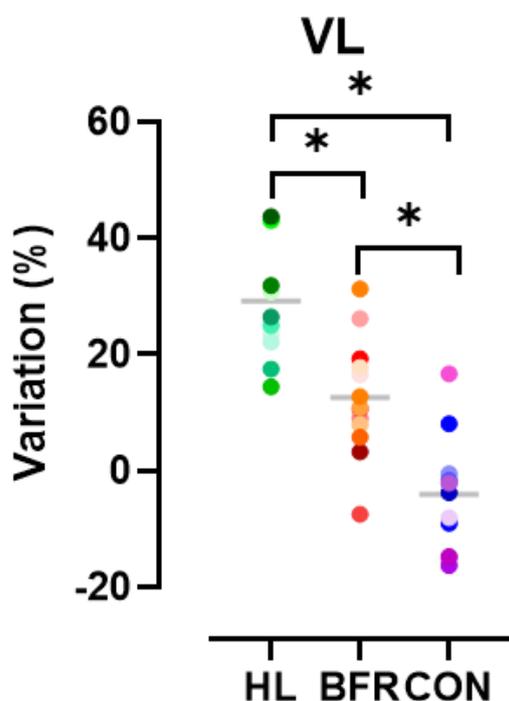


Figure 35 : Evolution du volume du *vastus lateralis* (VL) au cours d'un entraînement contre résistance de 9 semaines. HL : charge lourde, BFR-LL : charge légère et BFR, CON : groupe contrôle. *: $p < 0,001$

2-1-Volume musculaire

A la suite d'une ligamentoplastie du LCA avec prélèvement du tendon, le ST est touché par l'atrophie musculaire (Konrath et al., 2016), la longueur du muscle est réduite (Speedtsberg et al., 2021) et des infiltrats graisseux sont mis en évidence (Snow et al., 2012). Un changement de forme 3D est rapporté pour le muscle ST à la suite du prélèvement du tendon du *semitendinosus* permettant de constituer le néo-greffon (Du Moulin et al., 2023). Le volume reconstitué du ST de la jambe opérée est superposé au volume de la jambe saine et une comparaison de forme est réalisée (Figure 36).

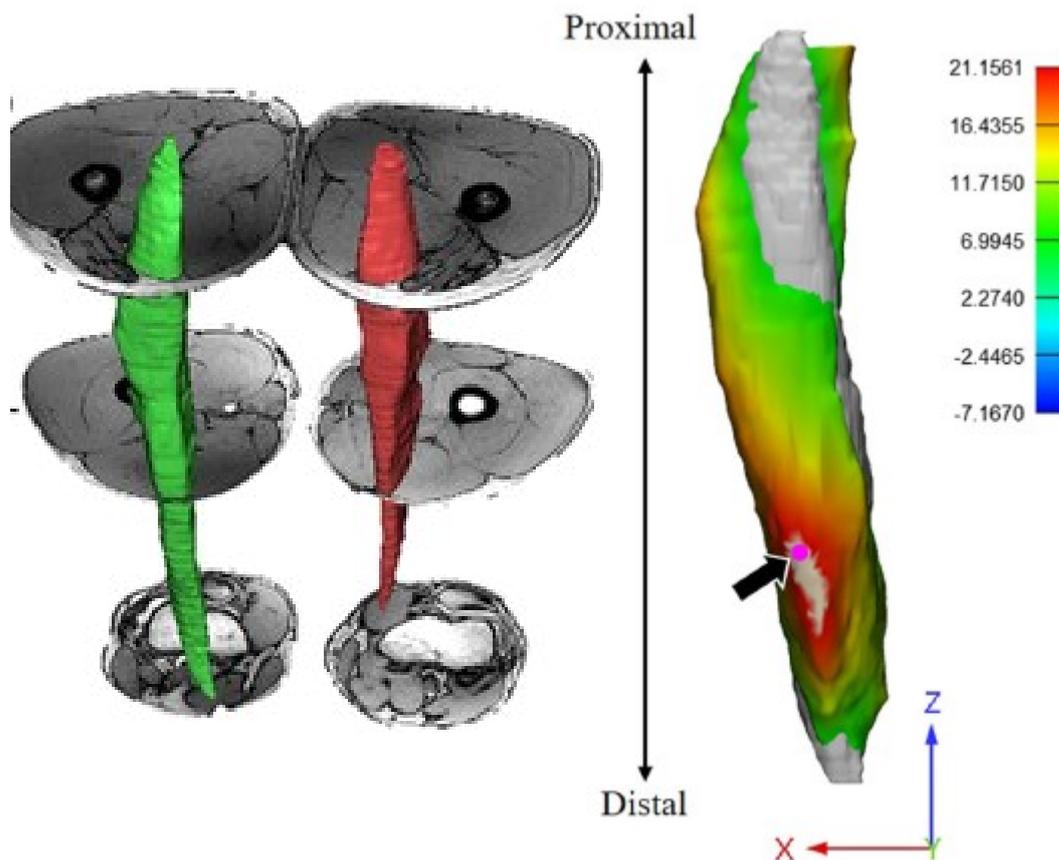


Figure 36 : Analyse de la morphologie du volume du semitendinosus reconstitué par IRM. Le volume reconstitué du muscle *semitendinosus* de la jambe atteinte (rouge) d'un patient ayant été opéré d'une rupture du LCA est superposé au volume reconstitué de muscle *semitendinosus* de la jambe saine (vert). La distance entre les deux muscles est symbolisée par la cartographie colorée de -10 mm (bleu) à 25 mm (rouge). Le point rose indiqué par une flèche symbolise la localisation du plus grand écart mesuré.

Une perspective intéressante serait de mesurer les changements de morphologie de l'ensemble des muscles des IJ au début et à la fin d'un entraînement contre résistance, mais également tout au long du parcours de soin des patients atteints d'une rupture du LCA. La morphologie du ST pourrait, en effet, altérer la capacité de production de force et de transmission de cette dernière à l'articulation du genou. Il serait ensuite pertinent, de lier le changement de morphologie (longueur, volume) de ce muscle, et le risque de re rupture à la suite d'une chirurgie du LCA. Aucun suivi n'a été effectué à notre connaissance à partir de la phase pré opératoire jusqu'à la fin de la rééducation.

L'hypertrophie tendineuse n'a pas été mise en évidence lors de cette étude d'entraînement (étude **#2**). Plusieurs éléments peuvent permettre d'expliquer ce résultat. La durée de l'entraînement (eg. 9 semaines) était courte comparativement aux durées décrites dans la littérature (pour revue Bohm et al., 2016) comme étant nécessaire à un changement de volume tendineux. Une exposition à charge mécanique importante (>70% 1RM) favoriserait la synthèse de collagène de type I (Miller et al., 2005) et une exposition longue à cette charge (i.e. 12 semaines) permettrait une augmentation de son volume (Arampatzis et al., 2007). Concernant l'entraînement à charge légère et BFR, aucun effet n'avait été retrouvé. Des études récentes soulignent pourtant la possibilité d'induire des changements significatifs de volume (mesuré par CSA sur des images IRM) grâce à ce dispositif de restriction du flux sanguin. En effet, Centner et al., (2022) mettent en évidence une augmentation significative ($p < 0,01$) de la CSA pour le tendon patellaire après un entraînement de 14 semaines (Figure 37). Un effet significatif a été retrouvé à 70% de longueur pour le groupe BFR-LL ($p = 0,018$) comparativement au groupe HL.

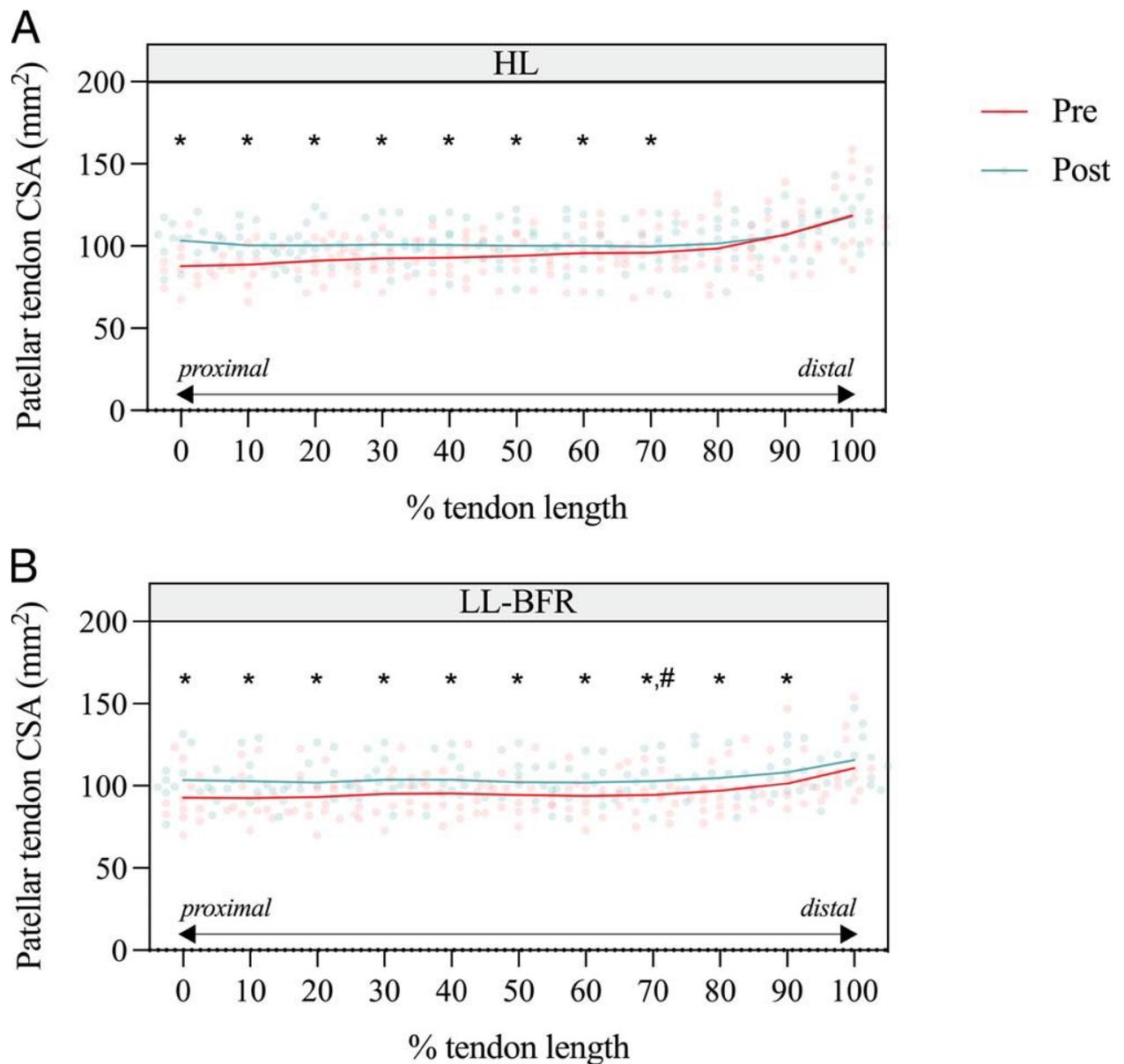


Figure 37 : Evolution de la CSA tendineuse (mm²) du tendon patellaire au cours d'un entraînement contre résistance de 14 semaines. Cette évolution est représentée tous les 10% de longueur tendineuse. Rouge : avant l'entraînement, Vert : après, HL : charge lourde, LL-BFR : charge légère et BFR. * : singificativement différent de la mesure pre, # significativement différent entre les groupes

La méthode de mesure utilisée est le contourage de CSA tendineuse sur une image IRM. Cette méthode peut être plus sensible au changement local d'hypertrophie tendineuse que la méthode de reconstitution du volume tendineux par échographie 3D. En effet, le volume est une addition d'un ensemble de CSA contourées ce qui peut diminuer la chance d'observer un changement significatif. Il pourrait être intéressant

de répliquer cette méthode sur les tendons que nous avons mesurés afin d'observer si des changements locaux ont pu se produire lors de notre entraînement. Cependant, Kruse et al., (2017) soulignent, que pour le tendon d'Achille les deux méthodes d'imageries (IRM et échographie) ne sont pas interchangeables et que la méthode d'imagerie par échographie sous estimerait les volumes à hauteur de 5,5 % comparativement à l'IRM. Il est également important de rappeler que l'objectif de cette hypertrophie tendineuse était de permettre d'augmenter significativement le volume du greffon lors du prélèvement du tendon du *semitendinosus*, les faibles pourcentages constatés ne permettant pas cela.

L'entraînement, bien que n'ayant pas modifié la morphologie du tendon durant l'entraînement contre résistance, a pu générer des modifications de raideur de cette structure. Il est en effet admis que des changements de raideur mesurés par élastographie se produisent à 8 semaines (Bohm et al., 2016). Cette raideur est essentielle afin de transmettre la force produite par le muscle à l'articulation. Ces adaptations seront donc également mesurées lors de l'étude #4 pour le tendon du *semitendinosus* et le tendon patellaire.

Ces caractéristiques sont pertinentes à suivre sur le long terme car elles pourraient permettre d'apporter des précisions sur l'évolution du site de prélèvement de la greffe qu'elle soit constituée du tendon patellaire ou tendon du *semitendinosus*. La cicatrisation dans le cas du prélèvement aux ischio-jambiers n'est en effet pas décrite pour l'ensemble des patients (Konrath et al., 2016). Il est aisément imaginable qu'un tissu tendineux constitué de collagène non mature soit moins efficient pour transmettre la force produite par le muscle à l'articulation. Il est d'ailleurs souligné que, le prélèvement d'un tel tendon pourrait avoir une incidence sur le valgus dynamique du genou lors d'une réception de saut (Vermorel et al., 2023).

2-2-Force musculaire

La force maximale en extension de genou a été mesurée lors de l'étude #2 (données non publiées). Aucune différence significative n'est retrouvée entre les groupes ($p=0,06$). Le groupe HL voit sa force maximale en extension de genou augmenter de

Discussion générale

13,85 ± 11,93 %, pour le groupe BFR-LL elle augmente de 11,85 ± 11,80 % et enfin pour le groupe contrôle elle augmente également de 2,82 ± 8,99 % (Figure 38).

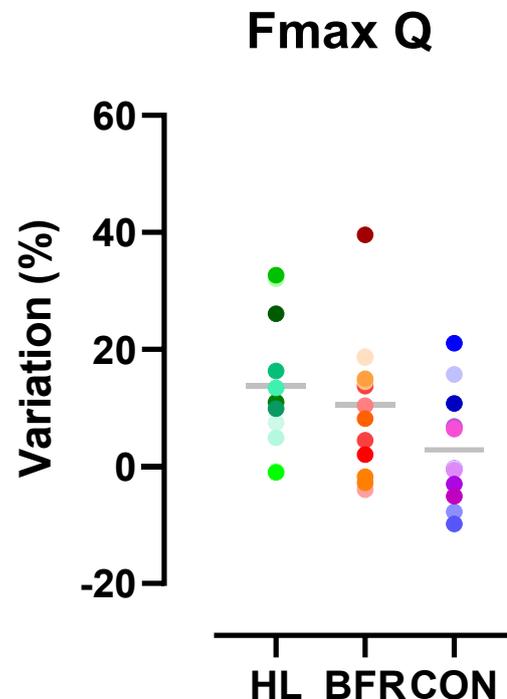


Figure 38 : Evolution de la force maximale en extension de genou (%) au cours d'un entraînement contre résistance de 9 semaines. HL : charge lourde, BFR-LL : charge légère et BFR, CON : groupe contrôle.

Aucune corrélation n'est retrouvée entre l'augmentation de volume en pourcentage du *vastus lateralis* et l'augmentation de force en pourcentage dans ces groupes. Le coefficient de corrélation r , est égal à -0,0002 pour le groupe HL, -0,41 pour le groupe BFR-LL et 0,47 pour le groupe contrôle. En ce qui concerne la force maximale en flexion de genou (%), elle n'est pas non plus corrélée à l'augmentation de volume totale des IJ (%). Un coefficient de corrélation de $r = -0,27$ est retrouvé pour le groupe HL, de $r = -0,13$ pour le groupe BFR-LL.

Il est décrit que les adaptations tissulaires produites par l'entraînement contre résistance sont étroitement liées avec l'augmentation de la longueur des faisceaux musculaires, l'angle de pennation et la CSA musculaire (cf. Chapitre 3). Ces adaptations architecturales demandent du temps avant de se mettre en place. Il est

généralement fait mention de 6 semaines, bien que certaines adaptations comme l'augmentation du volume musculaire (5% d'augmentation pour le *quadriceps*) puissent être détectées dès 3 semaines d'entraînement (Seynnes et al., 2007).

Partie 3 - Rééducation pre opératoire

Sous-partie 1 - Faisabilité et résultats préliminaires

L'étude **#3** nous a permis de souligner la faisabilité d'une étude d'entraînement contre résistance pre opératoire. Les conclusions ne sont que partielles à la suite du travail effectué (nombre de sujet, n=6). Nous mettons malgré tout en évidence que cette étude possède un potentiel fort de faisabilité : les patients font preuve d'une forte adhésion au programme d'entraînement (98% des séances effectués) et aucun évènement indésirable n'a été signalé. De plus, il a été mis en évidence qu'aucun des deux entraînements proposés n'est délétère sur les paramètres mesurés puisqu'il produit des augmentations en termes de qualité de vie (KOOS), de volume musculaire (Q et IJ) et de force maximale isométrique en flexion et extension de genou.

Au-delà, nous avons démontré par un autre travail que les patients atteints d'une rupture du LCA sont motivés et demandeurs vis-à-vis d'une telle phase (Frouin et al., 2024). Ils y voient de grandes possibilités de volume et de force musculaire nécessaires selon eux à une augmentation de la confiance (i.e qualité de vie) en vue d'une ligamentoplastie et favoriseraient une récupération post opératoire.

Des résultats d'entraînement et d'augmentation de force maximale peu différente entre les groupes sur 6 sujets nous poussent à envisager l'évolution de certains paramètres dans le programme d'entraînement contre résistance pour la mise en place d'un essai clinique. Afin de maximiser les résultats obtenus, ainsi les résistances appliquées dans l'étude **#4** varieront de la 15RM à la 12RM pour le second bloc de trois semaines d'entraînement et de 10 RM à la 8 RM pour le dernier bloc de

Discussion générale

3 semaines. Nous espérons ainsi, par une charge augmentée développer d'avantage les adaptations constatées sur la force musculaire.

La mesure de la force maximale a de plus été effectuée en condition isométrique ici en considérant seulement le couple maximal produit en flexion et extension à un angle donné (i.e. 80° de flexion pour le Q et 60° pour les IJ). Nous considérons que cette mesure peut ne pas être représentative du déficit global sur l'ensemble de la relation couple angle en flexion et extension de genou pour le patient. C'est pourquoi des conditions isocinétiques seront ajoutées afin de mesurer le déficit de force sur une plage articulaire plus grande et analysé grâce à la méthode SPM afin d'obtenir une représentation du déficit global du patient (Baumgart et al., 2018).

Il nous paraît intéressant de souligner que lorsqu'un patient est atteint d'une rupture du LCA ou a posteriori de l'intervention chirurgicale, la diminution de force est également constatée sur la jambe saine (Maestroni et al., 2023). Le LSI se contente de donner la différence en pourcentage entre la jambe saine et la jambe lésée ou opérée en termes de production de force lors d'un mouvement. Ainsi, un LSI peut atteindre une valeur proche de 100% de symétrie. En effet, la jambe saine voit sa capacité de production de force maximale diminuer et le LSI augmente. Pour autant elle n'a pas retrouvé son niveau de force initial. Or, l'objectif de la rééducation est d'amener le patient à retrouver l'ensemble ses capacités de production de force afin de retrouver son niveau antérieur voir de le dépasser (Van melick et al., 2016 ; Ardern et al., 2017 ; Kotsifaki et al., 2022). Il est donc également nécessaire d'observer les variations de force de la jambe saine. Si nous prenons pour exemple, 2 patients (1

groupe RT, 1 groupe CON) ayant terminés la rééducation post opératoire lors de l'étude #3 (Figure 39).

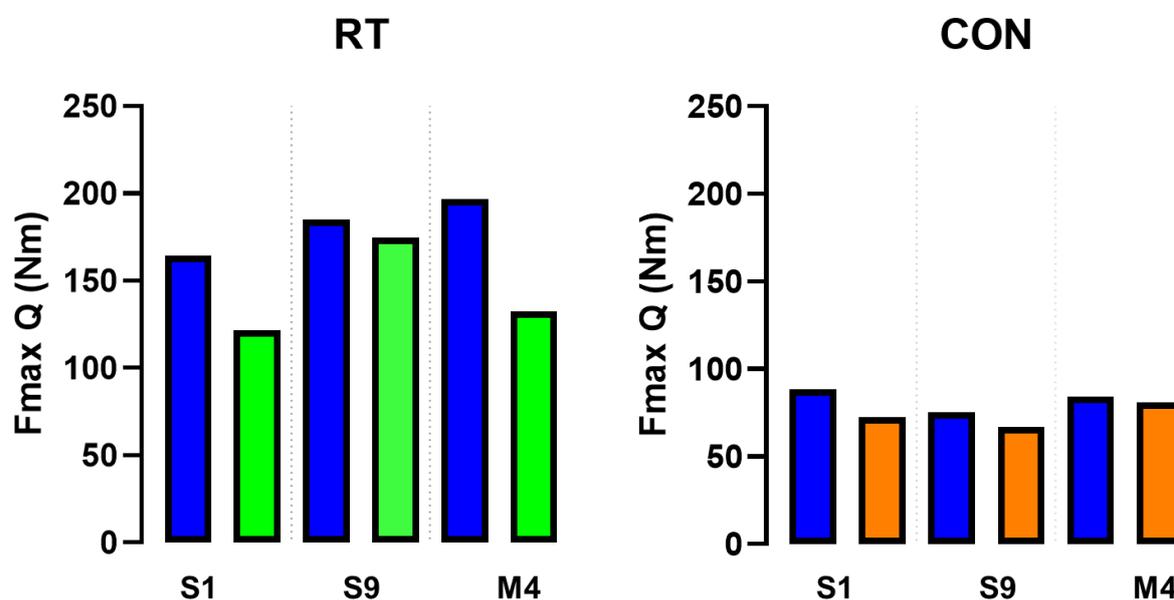


Figure 39 : Force maximale du quadriceps sur la jambe saine et la jambe lésée puis opérée pour 2 sujets (1 groupe RT, 1 groupe CON). Mesures à S1, S9 : pre opératoire avant et après l'entraînement contre résistance, puis à M4 : 4 mois post opératoires. En bleu la jambe saine en vert et orange la jambe atteinte.

Le patient du groupe RT voit son LSI passer de 73,86 % à 94,45% en pre opératoire puis à 67,46% en post opératoire. Si l'on observe l'évolution de la force de la jambe saine, elle est en augmentation constante, passant de 164,5 Nm à 185,18 Nm en pre opératoire, puis à 196,56 Nm en post opératoire. La jambe lésée, quant à elle, évolue favorablement en pre opératoire passant de 121,5 Nm à 174,9 Nm, puis est touchée en post opératoire par une diminution de force importante atteignant les 132,59 Nm, soit une valeur supérieure à la valeur initiale pre opératoire. Nous pouvons donc décrire un bénéfice de l'entraînement contre résistance (Tableau 6).

Le patient du groupe CON voit son LSI passer de 82,12 % à 88,71 % en pre opératoire puis à 95,9 % en post opératoire. Si encore une fois, on observe l'évolution de la force maximale d'extension de genou de la jambe saine, elle diminue de 88,37 Nm à 75,4 Nm en pre opératoire pour atteindre 84,49 Nm en post opératoire, soit une valeur inférieure à la valeur pour cette jambe en pre opératoire. La jambe lésée voit sa force

Discussion générale

diminuer en pre opératoire passant de 72,57 Nm à 66,89 Nm puis à 81,03 Nm en post opératoire.

L'ensemble de ces paramètres individuels doit être observé afin de tirer des conclusions concernant le LSI, car si sa valeur à la fin de l'intervention pre opératoire, avait, été calculée pour le patient du groupe CON avec la valeur pre opératoire, l'index de symétrie obtenu aurait été de 75,69 % au lieu de 89 % une différence importante. En revanche, pour le groupe RT si l'on avait appliqué le même calcul, le LSI de 94,45 % aurait été évalué à 93,68 %. Les trajectoires de nos patients sont donc évidemment à considérer de manière individuelle, même si en moyennant les résultats, les écarts peuvent sembler faibles.

Tableau 6 : Force maximale du *quadriceps* présentée sur la jambe saine et atteinte pour 2 sujets de l'étude #3. LSI : Leg symetry index.

Sujet (groupe)	Temps de mesure	Fmax Q (jambe saine ; Nm)	Fmax Q (jambe atteinte ; Nm)	LSI (%)	Fmax/poids de corps (Jambe saine ; Nm.kg ⁻¹)	Fmax/poids de corps (Jambe saine ; Nm.kg ⁻¹)
S1 (RT)	S0	164,5	121,5	73,86	2,84	2,09
	S9	185,18	174,9	94,45	3,19	3,02
	M4	196,56	132,59	67,46	3,39	2,29
S2 (CON)	S0	88,37	72,57	82,12	1,96	1,61
	S9	75,4	66,89	88,71	1,68	1,49
	M4	84,49	81,03	95,9	1,88	1,80

La production de force rapportée au poids de corps peut également être considérée, un LSI évalué à 100% associé à des normes au poids de corps très faible ne permettant pas de décrire une évolution favorable en post opératoire. Si nous reprenons nos exemples précédents, la force maximale rapportée au poids de corps moyenné sur les 3 temps de mesure est de 3,14 et 2,47 Nm/kg pour le patient du groupe RT contre 1,84 et 1,63 Nm/kg pour le patient du groupe CON respectivement considéré pour la jambe saine et la jambe atteinte (Tableau 6). Le patient du groupe

RT est vis-à-vis de ce critère d'un pronostic d'évolution plus favorable en post opératoire que le patient du groupe CON.

Nous nous sommes concentrés sur les adaptations mécaniques du muscle, lors des études présentés dans ce travail de thèse. Cependant, dans les premières semaines de l'entraînement, les gains en force maximale sont avant tout liées aux adaptations nerveuses. Ces dernières n'ont ici, pas été mesurées. Elles sont d'autant plus importantes à mesurer pour des individus avec une rupture du LCA. En effet, comme nous avons pu le décrire (cf. [Chapitre 1 et 2](#)), l'inhibition motrice est la résultante d'inhibition de circuits reflexes et de diminution d'activation volontaire du muscle. L'une des méthodes principales consistant à mesurer l'activation volontaire d'un muscle est la surimposition électrique à la contraction. Cette surimposition « interpolated twitch technique » consiste à stimuler le nerf innervant un groupe musculaire ou le groupe musculaire durant une contraction maximale volontaire, l'amplitude de twitch est alors représentative de l'activation volontaire musculaire du sujet (Herbert et Gandevia., 1999). Cette méthode sera mise en place dans l'étude **#4** afin de mesurer l'évolution de l'activation volontaire du muscle lors des différentes phase de rééducation du pre au post opératoire.

Pour aller plus loin, il serait également intéressant de recueillir d'autres variables, comme, la capacité rapide de production de force car cette donnée est importante à considérer pour le retour au sport (Maestroni et al., 2024). Le « time to peak » étant le temps mis par un individus à atteindre sa force maximale ou encore le RFD étant la force développée en un minimum de temps par le patient pourraient être des variables à investiguer (Maestroni et al., 2024).

L'étude **#4**, nous permettra donc de mettre en place un essai clinique d'envergure afin de quantifier l'évolution de la production de force maximale en flexion et extension de genou, associée à la variation de volume des muscles de la cuisse, mais également de mesures auto-rapportées par le patient. Ces considérations d'ensemble et cette vision globale du patient n'ont, à notre connaissance pas été effectuées sur une durée allant de 9 semaines pre opératoires à 1 an post opératoire avec 4 temps de mesures.

Discussion générale

Afin de maximiser le recrutement de patients, une sollicitation plus régulière du réseau qui a commencé à se mettre en place durant cette thèse devra être effectuée (contacts téléphoniques, échange sur les difficultés rencontrées etc). L'une des méthodes permettant de développer la collaboration sera de communiquer, de manière lisible et simple les résultats obtenus en temps réel aux praticiens en charge du suivi patient. Nous travaillons actuellement sur rapport permettant aux moyens de visuels simples de détailler l'évolution des paramètres aux praticiens du réseau. L'efficacité du programme d'entraînement pourra ainsi être visualisée et nous pensons que cela permettra une plus forte adhésion et une plus forte capacité de recrutement.

Sous-partie 2 - Perspectives

Les perspectives de ce travail, outre la mise en place d'un essai clinique d'envergure, peuvent être de développer la rééducation pré opératoire pour les autres pathologies musculosquelettiques rencontrées dans le bassin nantais. En effet, de nombreuses opérations de ligamentoplastie de cheville sont pratiquées, et pour cette pathologie, nous pouvons également observer des diminutions de capacité de production de force des inverseurs et éverseurs de cheville. Un programme d'entraînement contre résistance pourrait être adapté à cette situation. Il en est de même pour les problématiques de genou et/ou de hanche en vue d'une arthroplastie, ou encore d'une opération de l'épaule (acromioplastie etc.). Dans l'ensemble de ces cas, une augmentation de force par l'entraînement contre résistance permet une augmentation de la qualité de vie et une diminution des symptômes.

Enfin, cette phase dite pré opératoire pourrait également servir de phase de détection de patient ayant un besoin de recours à la chirurgie en cas d'échec du traitement conservateur. Elle pourrait, de surcroît permettre de proposer aux patients évoluant positivement (qualité de vie, volume, force musculaire etc.) et n'ayant pas d'instabilité de genou, un traitement conservateur (Kaplan., 2011).

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce projet de thèse a été réalisé dans le cadre d'un dispositif CIFRE établi entre le cabinet de kinésithérapie Institut Sport Atlantique (ISA) et le laboratoire Motricité, Interactions et Performance (MIP, UR4334). Il nous a permis, à partir d'un questionnaire clinique, tout en gardant une pratique clinique de terrain, d'apporter des éléments de réponse sur création et la mise en place d'un programme d'entraînement contre résistance en pre opératoire pour des patients atteints d'une rupture du ligament croisé antérieur. En fonction des résultats, il sera également possible d'apporter des précisions sur le contenu de l'entraînement contre résistance à proposer aux patients lors de la phase pre opératoire.

Le projet de thèse a débuté par une approche fondamentale en développant une méthode d'imagerie (étude **#1**) innovante pour les volumes musculaires (ischio-jambiers) et tendineux (*gracilis* et *semitendinosus*). Cette méthode, moins coûteuse et plus accessible que l'IRM pourrait permettre des applications cliniques, par exemple en contexte de rupture du LCA, tout au long d'un parcours de rééducation. Elle pourrait également être utilisée pour le suivi de pathologies provoquant des atrophies musculaires et permettrait, par exemple au thérapeute d'avoir un réel retour sur l'hypertrophie induite de par sa rééducation.

Ce changement de volume des muscles de la cuisse (Q et IJ) et du tendon du *semitendinosus*, induit par l'entraînement contre résistance a été observé ensuite (étude **#2**) en comparant deux méthodes distinctes auprès de sujets sains. Les résultats obtenus par entraînement à charge lourde, et à charge légère combinés au BFR, induisent des hypertrophies pour les muscles de la cuisse et des gains en force maximale similaires. L'entraînement a été tolérée par l'ensemble des sujets qui y ont été soumis.

Ce programme a donc ensuite été mis en place en rééducation pre opératoire dans des structures de kinésithérapie libérale du bassin nantais. Il a été proposé de manière individualisée a des patients atteints d'une rupture du LCA. Une collaboration pluriprofessionnelle (médecin généraliste, chirurgiens orthopédiques,

kinésithérapeutes) est pour cela également mis en place afin d'améliorer le suivi du patient.

Cependant, le nombre de patients (n=6) recrutés pour l'étude de faisabilité ne permet pas d'aboutir à des conclusions définitives. Les résultats restent encourageants pour la faisabilité et attestent du fait que les programmes proposés génèrent des gains pour le patient. Le travail va se poursuivre dans les prochains mois afin d'être certain de pouvoir mettre en place l'essai clinique dans le bassin nantais.

Plus généralement, ce travail de thèse permet de montrer un fort potentiel pluriprofessionnel et de fédérer autour d'un projet de recherche scientifique dans le but d'améliorer la rééducation kinésithérapique dispensée au patient. Il serait intéressant de développer cette approche pour l'ensemble des pathologies traumatologiques concernant le sportif ou non.

Bibliographie

A

Adams, D., Logerstedt, D., Hunter-Giordano, A., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2012). Current Concepts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : A Criterion-Based Rehabilitation Progression. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(7), 601-614. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3871>

Adhya, B., & Aggarwal, A. (2016). Effectiveness of Isokinetic Exercises in Preoperative Anterior Cruciate Ligament Tears Rehabilitation. *Journal of Postgraduate Medicine, Education and Research*, 50(1), 5-8. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10028-1183>

Agarwal, S., de Sa, D., Peterson, D. C., Parmar, D., Simunovic, N., Ogilvie, R., Musahl, V., & Ayeni, O. R. (2019). Can Preoperative Magnetic Resonance Imaging Predict Intraoperative Autograft Size for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Systematic Review. *The Journal of Knee Surgery*, 32(7), 649-658. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666830>

Ahn, J. H., & Lee, S. H. (2016). Risk factors for knee instability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 24(9), 2936-2942. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3568-x>

Ajuied, A., Wong, F., Smith, C., Norris, M., Earnshaw, P., Back, D., & Davies, A. (2014). Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis : A systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(9), 2242-2252. <https://doi.org/10.1177/0363546513508376>

Alkarmi, A., Thijssen, D., Albouaini, K., Cable, N., Wright, D., Green, D., & Dawson, E. (2010). Arterial Prehabilitation Can Exercise Induce Changes in Artery Size and Function that Decrease Complications of Catheterization? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 40, 481-492.

Alonso, J., McHugh, M. P., Mullaney, M. J., & Tyler, T. F. (2009). Effect of hamstring flexibility on isometric knee flexion angle-torque relationship. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(2), 252-256. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00792.x>

Alshewaiir, S., Yeowell, G., & Fatoye, F. (2017). The effectiveness of pre-operative exercise physiotherapy rehabilitation on the outcomes of treatment following anterior cruciate ligament injury : A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 31(1), 34-44. <https://doi.org/10.1177/0269215516628617>

Andernord, D., Karlsson, J., Musahl, V., Bhandari, M., Fu, F. H., & Samuelsson, K. (2013). Timing of surgery of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery: Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 29(11), 1863-1871. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.07.270>

Arampatzis, A., De Monte, G., Karamanidis, K., Morey-Klapsing, G., Stafilidis, S., & Brüggemann, G.-P. (2006). Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. *The Journal of Experimental Biology*, 209(Pt 17), 3345-3357. <https://doi.org/10.1242/jeb.02340>

Ardern, C. L., Glasgow, P., Schneiders, A., Witvrouw, E., Clarsen, B., Cools, A., Gojanovic, B., Griffin, S., Khan, K. M., Moksnes, H., Mutch, S. A., Phillips, N., Reurink, G., Sadler, R., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Wangensteen, A., Wilk, K. E., & Bizzini, M. (2016). 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *British Journal of Sports Medicine*, 50(14), 853-864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278>

Ardern, C. L., Taylor, N. F., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2014). Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: An updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *British Journal of Sports Medicine*, 48(21), 1543-1552. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093398>

B

Barber, L., Barrett, R., & Lichtwark, G. (2009). Validation of a freehand 3D ultrasound system for morphological measures of the medial gastrocnemius muscle. *Journal of Biomechanics*, 42(9), 1313-1319. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.03.005>

Barber-Westin, S. D., & Noyes, F. R. (2011). Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery: Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 27(12), 1697-1705. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.09.009>

Barrué-Belou, S., Démaret, M.-A., Wurtz, A., Ducloux, A., Fourchet, F., & Bothorel, H. (2024). Absolute and Normalized Normative Torque Values of Knee Extensors and Flexors in Healthy Trained Subjects: Asymmetry Questions the Classical Use of Uninjured Limb as Reference. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 6(1), 100861. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2023.100861>

Baumgart, C., Welling, W., Hoppe, M. W., Freiwald, J., & Gokeler, A. (2018). Angle-specific analysis of isokinetic quadriceps and hamstring torques and ratios in patients after ACL-reconstruction. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 10, 23. <https://doi.org/10.1186/s13102-018-0112-6>

Beckham, C., Dimond, R., & Greenlee, T. K. (1977). The role of movement in the development of a digital flexor tendon. *American Journal of Anatomy*, 150(3), 443-459. <https://doi.org/10.1002/aja.1001500306>

Benjamin, M., & Ralphs, J. R. (1997). Tendons and ligaments—An overview. *Histology and Histopathology*, 12(4), 1135-1144.

Bibo, L., Goldblatt, J., & Merry, C. (2021). Does preoperative pulmonary rehabilitation/physiotherapy improve patient outcomes following lung resection?

Interactive cardiovascular and thoracic surgery, 32.

<https://doi.org/10.1093/icvts/ivab011>

Birchmeier, T., Lisee, C., Kane, K., Brazier, B., Triplett, A., & Kuenze, C. (2020). Quadriceps Muscle Size Following ACL Injury and Reconstruction : A Systematic Review. *Journal of Orthopaedic Research*, 38(3), 598-608. <https://doi.org/10.1002/jor.24489>

Bittencourt, N. F. N., Meeuwisse, W. H., Mendonça, L. D., Nettel-Aguirre, A., Ocarino, J. M., & Fonseca, S. T. (2016). Complex systems approach for sports injuries : Moving from risk factor identification to injury pattern recognition-narrative review and new concept. *British Journal of Sports Medicine*, 50(21), 1309-1314. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095850>

Blom, A. W., Donovan, R. L., Beswick, A. D., Whitehouse, M. R., & Kunutsor, S. K. (2021). Common elective orthopaedic procedures and their clinical effectiveness : Umbrella review of level 1 evidence. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 374, n1511. <https://doi.org/10.1136/bmj.n1511>

Bloomquist, K., Langberg, H., Karlsen, S., Madsgaard, S., Boesen, M., & Raastad, T. (2013). Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 113(8), 2133-2142. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2642-7>

Bohm, S., Mersmann, F., & Arampatzis, A. (2015). Human tendon adaptation in response to mechanical loading : A systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0009-9>

Bouguennec, N., Thauinat, M., Barth, J., Cavaignac, E., Gunepin, F.-X., Letartre, R., Netten, A., Pujol, N., Rousseau, T., Sbihi, J., Mouton, C., & Sfa, T. F. A. S. (2022). Consensus statement on data to be entered in the ACL tear registry : SFA-DataLake. *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research: OTSR*, 108(8S), 103392. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2022.103392>

Bibliographie

Bullock, G. S., Sell, T. C., Zarega, R., Reiter, C., King, V., Wrona, H., Mills, N., Ganderton, C., Duhig, S., Räsänen, A., Ledbetter, L., Collins, G. S., Kvist, J., & Filbay, S. R. (2022). Kinesiophobia, Knee Self-Efficacy, and Fear Avoidance Beliefs in People with ACL Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 52(12), 3001-3019. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01739-3>

Butcher, R., & Eldridge, J. (1990). The Use of Diaries in Data Collection. *The Statistician*, 39(1), 25. <https://doi.org/10.2307/2348192>

C

Caetano, D., Oliveira, C., Correia, C., Barbosa, P., Montes, A., & Carvalho, P. (2021). Rehabilitation outcomes and parameters of blood flow restriction training in ACL injury: A scoping review. *Physical Therapy in Sport*, 49, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.01.015>

Campbell W. (1936). Repair of the ligaments of the knee. *Surg.Gynecol.Obstet.*, 62, 964-968.

Carter, H. M., Littlewood, C., Webster, K. E., & Smith, B. E. (2020). The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: A systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 647. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03676-6>

Carter, H. M., Webster, K. E., & Smith, B. E. (2021). Current preoperative physiotherapy management strategies for patients awaiting Anterior Cruciate Ligament Reconstruction (ACLR) : A worldwide survey of physiotherapy practice. *The Knee*, 28, 300-310. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2020.12.018>

Centner, C., Jerger, S., Lauber, B., Seynnes, O., Friedrich, T., Lolli, D., Gollhofer, A., & König, D. (2022). Low-Load Blood Flow Restriction and High-Load Resistance Training

Induce Comparable Changes in Patellar Tendon Properties. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 54(4), 582. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002824>

Centner, C., Lauber, B., Seynnes, O. R., Jerger, S., Sohnius, T., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Low-load blood flow restriction training induces similar morphological and mechanical Achilles tendon adaptations compared with high-load resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 127(6), 1660-1667. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00602.2019>

Chia, L., De Oliveira Silva, D., Whalan, M., McKay, M. J., Sullivan, J., Fuller, C. W., & Pappas, E. (2022). Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology in Team-Ball Sports : A Systematic Review with Meta-analysis by Sex, Age, Sport, Participation Level, and Exposure Type. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(10), 2447-2467. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01697-w>

Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11 Suppl), S52-69. <https://doi.org/10.1097/00002060-200211001-00007>

Collings, T. J., Bourne, M. N., Barrett, R. S., du Moulin, W., Hickey, J. T., & Diamond, L. E. (2021). Risk Factors for Lower Limb Injury in Female Team Field and Court Sports : A Systematic Review, Meta-analysis, and Best Evidence Synthesis. *Sports Medicine*, 51(4), 759-776. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01410-9>

Cook, C. E., Wright, A., Wittstein, J., Barbero, M., & Tousignant-Laflamme, Y. (2021). Five Recommendations to Address the Limitations of Patient-Reported Outcome Measures. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 51(12), 562-565. <https://doi.org/10.2519/jospt.2021.10836>

Cramer, R. M., Aagaard, P., Qvortrup, K., Langberg, H., Olesen, J., & Kjaer, M. (2007). Myofibre damage in human skeletal muscle : Effects of electrical stimulation versus voluntary contraction. *The Journal of Physiology*, 583(Pt 1), 365-380. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.128827>

Bibliographie

Crichlow, R. J., Andres, P. L., Morrison, S. M., Haley, S. M., & Vrahas, M. S. (2006). Depression in Orthopaedic Trauma Patients : Prevalence and Severity. *JBJS*, 88(9), 1927. <https://doi.org/10.2106/JBJS.D.02604>

Cronström, A., Ageberg, E., Franettovich Smith, M. M., Blackmore, T., Nae, J., & Creaby, M. W. (2019). Factors affecting knee abduction during weight-bearing activities in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical Therapy in Sport*, 38, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.04.006>

Cronström, A., Creaby, M. W., Nae, J., & Ageberg, E. (2016). Modifiable Factors Associated with Knee Abduction During Weight-Bearing Activities : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(11), 1647-1662. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0519-8>

Curty, V. M., Zovico, P. V. C., Salgueiro, R. B., Caldas, L. C., Leite, R. D., Sousa, N. M. F., Guimaraes-Fereira, L., & Barauna, V. G. (2023). Blood Flow Restriction Attenuates Muscle Damage in Resistance Exercise Performed Until Concentric Muscle Failure. *International Journal of Exercise Science*, 16(2), 469-481.

D

Damas, F., Libardi, C. A., & Ugrinowitsch, C. (2018). The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training : The role of muscle damage and muscle protein synthesis. *European Journal of Applied Physiology*, 118(3), 485-500. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3792-9>

De Deyne, P. G. (2001). Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Physical Therapy*, 81(2), 819-827. <https://doi.org/10.1093/ptj/81.2.819>

Deffieux, T., Gennisson, J.-L., Tanter, M., & Fink, M. (2008). Assessment of the mechanical properties of the musculoskeletal system using 2-D and 3-D very high frame rate ultrasound. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 55(10), 2177-2190. <https://doi.org/10.1109/TUFFC.917>

Delincé, P., & Ghafil, D. (2012). Anterior cruciate ligament tears : Conservative or surgical treatment? A critical review of the literature. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 20(1), 48-61. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1614-x>

DeMorat, G., Weinhold, P., Blackburn, T., Chudik, S., & Garrett, W. (2004). Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(2), 477-483. <https://doi.org/10.1177/0363546503258928>

de Queiroz, J. H. M., Murakawa, Y. A. B., de Castro, S. S., Almeida, G. P. L., & de Oliveira, R. R. (2023). Biopsychosocial Model Domains in Clinical Practice Guidelines for Return to Sport After ACL Injury : Systematic Review Using the AGREE II Checklist. *Sports Health*, 15(2), 165-175. <https://doi.org/10.1177/19417381221094582>

Desai, V. S., Anderson, G. R., Wu, I. T., Levy, B. A., Dahm, D. L., Camp, C. L., Krych, A. J., & Stuart, M. J. (2019). Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Hamstring Autograft : A Matched Cohort Comparison of the All-Inside and Complete Tibial Tunnel Techniques. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7(1), 2325967118820297. <https://doi.org/10.1177/2325967118820297>

Diermeier, T., Rothrauff, B. B., Engebretsen, L., Lynch, A. D., Ayeni, O. R., Paterno, M. V., Xerogeanes, J. W., Fu, F. H., Karlsson, J., Musahl, V., the Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group, Brown, C. H., Chmielewski, T. L., Clatworthy, M., Villa, S. D., Ernlund, L., Fink, C., Getgood, A., Hewett, T. E., ... Wilk, K. E. (2020). Treatment After Anterior Cruciate Ligament Injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(6), 232596712093109. <https://doi.org/10.1177/2325967120931097>

Ditmyer, M. M., Topp, R., & Pifer, M. (2002). Prehabilitation in preparation for orthopaedic surgery. *Orthopedic Nursing*, 21(5), 43-51; quiz 52-54. <https://doi.org/10.1097/00006416-200209000-00008>

Bibliographie

Dumont, N. A., Bentzinger, C. F., Sincennes, M.-C., & Rudnicki, M. A. (2015). Satellite Cells and Skeletal Muscle Regeneration. *Comprehensive Physiology*, 5(3), 1027-1059. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140068>

du Moulin, W., Bourne, M., Diamond, L. E., Konrath, J., Vertullo, C., Lloyd, D., & Saxby, D. J. (2023). Shape differences in the semitendinosus following tendon harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 41(1), 44-53. <https://doi.org/10.1002/jor.25337>

Durrand, J., Singh, S. J., & Danjoux, G. (2019). Prehabilitation. *Clinical Medicine (London, England)*, 19(6), 458-464. <https://doi.org/10.7861/clinmed.2019-0257>

Dutaillis, B., Maniar, N., Opar, D., Hickey, J., & Timmins, R. (2021). Lower Limb Muscle Size after Anterior Cruciate Ligament Injury : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 51. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01419-0>

E

Edouard, P. (2016). 4—Évaluation musculaire isocinétique appliquée au genou. In P. Edouard & F. Degache (Éds.), *Guide D'isocinétisme* (p. 73-112). Elsevier Masson. <https://doi.org/10.1016/B978-2-294-74591-1.00004-7>

Eitzen, I., Holm, I., & Risberg, M. A. (2009). Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 371-376. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.057059>

Eitzen, I., Moksnes, H., Snyder-Mackler, L., & Risberg, M. A. (2010). A Progressive 5-Week Exercise Therapy Program Leads to Significant Improvement in Knee Function Early After Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(11), 705-721. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3345>

Erivan, R., Tardieu, A., Villatte, G., Ollivier, M., Jacquet, C., Descamps, S., & Boisgard, S. (2020). Évolution et projection de la chirurgie du genou en France de 2008 à 2070 : Étude épidémiologique avec analyse de tendance et projection. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*, 106(5), 508-517. <https://doi.org/10.1016/j.rcot.2020.05.010>

Evans, W. J., & Cannon, J. G. (1991). The metabolic effects of exercise-induced muscle damage. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 19, 99-125.

F

Failla, M. J., Logerstedt, D. S., Grindem, H., Axe, M. J., Risberg, M. A., Engebretsen, L., Huston, L. J., Spindler, K. P., & Snyder-Mackler, L. (2016). Does Extended Preoperative Rehabilitation Influence Outcomes 2 Years After ACL Reconstruction? *The American journal of sports medicine*, 44(10), 2608-2614. <https://doi.org/10.1177/0363546516652594>

Fältström, A., Hägglund, M., Magnusson, H., Forssblad, M., & Kvist, J. (2016). Predictors for additional anterior cruciate ligament reconstruction : Data from the Swedish national ACL register. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 24(3), 885-894. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3406-6>

Fayard, J.-M., Penet, A., Bauwens, P.-H., & Thauvat, M. (2021). Combined Anterior Cruciate Ligament Repair and Anterolateral Ligament Reconstruction With a Single-Strand Gracilis Graft. *Arthroscopy Techniques*, 10(11), e2607-e2617. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2021.01.041>

Feinstein, B., Lindegård, B., Nyman, E., & Wohlfart, G. (2008). MORPHOLOGIC STUDIES OF MOTOR UNITS IN NORMAL HUMAN MUSCLES. *Acta Anatomica*, 23(2), 127-142. <https://doi.org/10.1159/000140989>

Bibliographie

Fitzgerald, G. K., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2000). The Efficacy of Perturbation Training in Nonoperative Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation Programs for Physically Active Individuals. *Physical Therapy*, 80(2), 128-140. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.2.128>

Fontenelle, C. R. C., Mannarino, P., Ribeiro, F. B. D. O., Milito, M. A., Carvalho, A. C. P., Menegaldo, L. L., & Oliveira, L. F. (2018). Semitendinosus and patellar tendons shear modulus evaluation by supersonic shearwave imaging elastography. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. <https://doi.org/10.1111/cpf.12506>

Franchi, M. V., Longo, S., Mallinson, J., Quinlan, J. I., Taylor, T., Greenhaff, P. L., & Narici, M. V. (2018). Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(3), 846-853. <https://doi.org/10.1111/sms.12961>

Fremerey, R. W., Lobenhoffer, P., Zeichen, J., Skutek, M., Bosch, U., & Tscherne, H. (2000). Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament : A prospective, longitudinal study. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 82(6), 801-806. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.82b6.10306>

Friedman, M. J. (1988). Arthroscopic semitendinosus (gracilis) reconstruction for anterior cruciate ligament deficiency. *Techniques in Orthopaedics*, 2(4), 74.

Frobell, R. B., Roos, E. M., Roos, H. P., Ranstam, J., & Lohmander, L. S. (2010). A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears. *The New England Journal of Medicine*, 363(4), 331-342. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0907797>

Frouin, A., Desfontaines, N., Lacourpaille, L., Nordez, A., & Le Sant, G. (2024). Preoperative Rehabilitation Enhances Mental and Physical Well-Being in Anterior Cruciate Ligament-Injured Individuals : A Mixed Methods Study. *Journal of Sport Rehabilitation*, 33(4), 289-296. <https://doi.org/10.1123/jsr.2023-0312>

Frouin, A., Guenanten, H., Le Sant, G., Lacourpaille, L., Liebard, M., Sarcher, A., McNair, P. J., Ellis, R., & Nordez, A. (2023a). Validity and Reliability of 3-D Ultrasound Imaging to Measure Hamstring Muscle and Tendon Volumes. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 49(6), 1457-1464. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.012>

Frouin, A., Guenanten, H., Le Sant, G., Lacourpaille, L., Liebard, M., Sarcher, A., McNair, P. J., Ellis, R., & Nordez, A. (2023b). Validity and Reliability of 3-D Ultrasound Imaging to Measure Hamstring Muscle and Tendon Volumes. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 49(6), 1457-1464. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.012>

Frouin, A., Le Sant, G., Barbier, L., Jacquemin, E., McNair, P. J., Ellis, R., Nordez, A., & Lacourpaille, L. (2024). Individual distribution of muscle hypertrophy among hamstring muscle heads : Adding muscle volume where you need is not so simple. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(3), e14608. <https://doi.org/10.1111/sms.14608>

Fuller, C. W., Molloy, M. G., Bagate, C., Bahr, R., Brooks, J. H. M., Donson, H., Kemp, S. P. T., McCrory, P., McIntosh, A. S., Meeuwisse, W. H., Quarrie, K. L., Raftery, M., & Wiley, P. (2007). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures for studies of injuries in rugby union. *British Journal of Sports Medicine*, 41(5), 328-331. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.033282>

G

Gianotti, S. M., Marshall, S. W., Hume, P. A., & Bunt, L. (2009). Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries : A national population-based study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(6), 622-627. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.07.005>

Giesche, F., Niederer, D., Banzer, W., & Vogt, L. (2020). Evidence for the effects of prehabilitation before ACL-reconstruction on return to sport-related and self-

Bibliographie

reported knee function : A systematic review. PLOS ONE, 15(10), e0240192. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240192>

Gifstad, T., Sole, A., Strand, T., Uppheim, G., Grøntvedt, T., & Drogset, J. O. (2013). Long-term follow-up of patellar tendon grafts or hamstring tendon grafts in endoscopic ACL reconstructions. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 21(3), 576-583. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-1947-0>

Gokeler, A., Benjaminse, A., Della Villa, F., Tosarelli, F., Verhagen, E., & Baumeister, J. (2021). Anterior cruciate ligament injury mechanisms through a neurocognition lens : Implications for injury screening. *BMJ Open Sport — Exercise Medicine*, 7(2), e001091. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001091>

Goldberg, A. L., Etlinger, J. D., Goldspink, D. F., & Jablecki, C. (1975). Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports*, 7(3), 185-198.

Gong, Z., Li, S., Cao, P., Ruan, G., Zhang, Y., Zeng, Q., He, Z., Li, S., Chen, R., Zheng, P., Fan, T., Lu, P., Zhao, Y., Englund, M., Madry, H., Huang, G., Li, L., Li, J., & Ding, C. (2023). The Association Between Quadriceps Strength and Synovitis in Knee Osteoarthritis : An Exploratory Study From the Osteoarthritis Initiative. *The Journal of Rheumatology*, 50(4), 548-555. <https://doi.org/10.3899/jrheum.220538>

Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., & Takamatsu, K. (2005). The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 955-963.

Gracia, G., Cavaignac, M., Marot, V., Mouarbes, D., Laumonerie, P., & Cavaignac, E. (2022). Epidemiology of Combined Injuries of the Secondary Stabilizers in ACL-Deficient Knees : Medial Meniscal Ramp Lesion, Lateral Meniscus Root Tear, and ALL Tear: A Prospective Case Series of 602 Patients With ACL Tears From the SANTI Study Group. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(7), 1843-1849. <https://doi.org/10.1177/03635465221092767>

Groves, E. H. (1917a). OPERATION FOR THE REPAIR OF THE CRUCIAL LIGAMENTS. *The Lancet*, 190(4914), 674-676. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)52502-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)52502-7)

Groves, E. H. (1917b). OPERATION FOR THE REPAIR OF THE CRUCIAL LIGAMENTS. *The Lancet*, 190(4914), 674-676. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)52502-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)52502-7)

H

Häggglund, M., Waldén, M., Magnusson, H., Kristenson, K., Bengtsson, H., & Ekstrand, J. (2013). Injuries affect team performance negatively in professional football : An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 738-742. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092215>

Hamner, D. L., Brown, C. H., Steiner, M. E., Hecker, A. T., & Hayes, W. C. (1999). Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament : Biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 81(4), 549-557. <https://doi.org/10.2106/00004623-199904000-00013>

Handsfield, G. G., Meyer, C. H., Hart, J. M., Abel, M. F., & Blemker, S. S. (2014). Relationships of 35 lower limb muscles to height and body mass quantified using MRI. *Journal of Biomechanics*, 47(3), 631-638. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.12.002>

Harper, D. J., Carling, C., & Kiely, J. (2019). High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play : A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(12), 1923-1947. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>

Harris, E., & Marignol, L. (2024). Prehabilitation for Patients with Cancer Undergoing Radiation Therapy: A Scoping Review. *Clinical Oncology (Royal College of Radiologists (Great Britain))*, 36(4), 254-264. <https://doi.org/10.1016/j.clon.2024.02.002>

Bibliographie

Hart, J. M., Pietrosimone, B., Hertel, J., & Ingersoll, C. D. (2010). Quadriceps Activation Following Knee Injuries : A Systematic Review. *Journal of Athletic Training*, 45(1), 87-97. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.1.87>

Hartigan, E., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2009). Perturbation training prior to ACL reconstruction improves gait asymmetries in non-copers. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 27(6), 724-729. <https://doi.org/10.1002/jor.20754>

Heinemeier, K. M., & Kjaer, M. (2011). In vivo investigation of tendon responses to mechanical loading. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 11(2), 115-123.

Herbert, R. D., Dean, C., & Gandevia, S. C. (1998). Effects of real and imagined training on voluntary muscle activation during maximal isometric contractions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163(4), 361-368. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.1998.t01-1-00358.x>

Hopkins, J., & Ingersoll, C. (2000). Arthrogenic Muscle inhibition : A Limiting Factor in Joint Rehabilitation. *Journal of Sport Rehabilitation*, 9, 135-159. <https://doi.org/10.1123/jsr.9.2.135>

Huet, J., Boureau, A.-S., Sarcher, A., Cornu, C., & Nordez, A. (2024). Validation of a scanning technique with minimal compression for measuring muscle volume with freehand 3D ultrasound. *Journal of Biomechanics*, 162, 111878. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111878>

Hughes, L., & Patterson, S. D. (2020). The effect of blood flow restriction exercise on exercise-induced hypoalgesia and endogenous opioid and endocannabinoid mechanisms of pain modulation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 128(4), 914-924. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00768.2019>

Husted, R. S., Juhl, C., Troelsen, A., Thorborg, K., Kallermose, T., Rathleff, M. S., & Bandholm, T. (2020). The relationship between prescribed pre-operative knee-

extensor exercise dosage and effect on knee-extensor strength prior to and following total knee arthroplasty: A systematic review and meta-regression analysis of randomized controlled trials. *Osteoarthritis and Cartilage*, 28(11), 1412-1426. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2020.08.011>

Hyldahl, R. D., & Hubal, M. J. (2014). Lengthening our perspective : Morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle & Nerve*, 49(2), 155-170. <https://doi.org/10.1002/mus.24077>

J

Johnston, J. T., Mandelbaum, B. R., Schub, D., Rodeo, S. A., Matava, M. J., Silvers-Granelli, H. J., Cole, B. J., ElAttrache, N. S., McAdams, T. R., & Brophy, R. H. (2018). Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Tears in Professional American Football Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 46(4), 862-868. <https://doi.org/10.1177/0363546518756328>

Jones, K. G. (1963). RECONSTRUCTION OF THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT. A TECHNIQUE USING THE CENTRAL ONE-THIRD OF THE PATELLAR LIGAMENT. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 45, 925-932.

K

Kaplan, Y. (2011). Identifying individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee as copers and noncopers : A narrative literature review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 41(10), 758-766. <https://doi.org/10.2519/jospt.2011.3384>

Kassiano, W., Costa, B., Nunes, J. P., Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., & Cyrino, E. S. (2023). Which ROMs Lead to Rome? A Systematic Review of the Effects of Range of Motion on Muscle Hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(5), 1135-1144. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004415>

Bibliographie

Kastelic, J., Galeski, A., & Baer, E. (1978). The multicomposite structure of tendon. *Connective Tissue Research*, 6(1), 11-23. <https://doi.org/10.3109/03008207809152283>

Kataoka, K., Hoshino, Y., & Nukuto, K. (2023). Anterior cruciate ligament reconstruction: Recent evolution and technical improvement. *Journal of Joint Surgery and Research*, 1(1), 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.jjoisr.2023.02.002>

Keays, S., Bullock-Saxton, J., Newcombe, P., & Bullock, M. (2006). The effectiveness of a pre-operative home-based physiotherapy programme for chronic anterior cruciate ligament deficiency. *Physiotherapy Research International*, 11(4), 204-218. <https://doi.org/10.1002/pri.341>

Keays, S. L., Bullock-Saxton, J., Keays, A. C., & Newcombe, P. (2001a). Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis. *The Knee*, 8(3), 229-234. [https://doi.org/10.1016/S0968-0160\(01\)00099-0](https://doi.org/10.1016/S0968-0160(01)00099-0)

Keays, S. L., Bullock-Saxton, J., Keays, A. C., & Newcombe, P. (2001b). Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis. *The Knee*, 8(3), 229-234. [https://doi.org/10.1016/S0968-0160\(01\)00099-0](https://doi.org/10.1016/S0968-0160(01)00099-0)

Kellis, E. (2018). Intra- and Inter-Muscular Variations in Hamstring Architecture and Mechanics and Their Implications for Injury: A Narrative Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(10), 2271-2283. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0975-4>

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2019). *Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics.*

Kilroe, S. P., Fulford, J., Jackman, S. R., VAN Loon, L. J. C., & Wall, B. T. (2020). Temporal Muscle-specific Disuse Atrophy during One Week of Leg Immobilization. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(4), 944-954. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002200>

Kim, D. K., Hwang, J. H., & Park, W. H. (2015). Effects of 4 weeks preoperative exercise on knee extensor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(9), 2693-2696. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2693>

King, E., Richter, C., Jackson, M., Franklyn-Miller, A., Falvey, E., Myer, G. D., Strike, S., Withers, D., & Moran, R. (2020). Factors Influencing Return to Play and Second Anterior Cruciate Ligament Injury Rates in Level 1 Athletes After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : 2-Year Follow-up on 1432 Reconstructions at a Single Center. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(4), 812-824. <https://doi.org/10.1177/0363546519900170>

Kiss, Z. S., Kellaway, D. P., Cook, J. L., & Khan, K. M. (1998). Postoperative patellar tendon healing: An ultrasound study. *Australasian Radiology*, 42(1), 28-32. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1673.1998.tb00559.x>

Kitaguchi, T., Tanaka, Y., Takeshita, S., Akizaki, K., Takao, R., Kinugasa, K., Tachibana, Y., Natsuume, T., & Horibe, S. (2020). Preoperative quadriceps strength as a predictor of return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction in competitive athletes. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 45, 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.06.001>

Kitaguchi, T., Tanaka, Y., Takeshita, S., Tsujimoto, N., Kita, K., Amano, H., Kinugasa, K., Tachibana, Y., Natsuume, T., & Horibe, S. (2020). Importance of functional performance and psychological readiness for return to preinjury level of sports 1 year after ACL reconstruction in competitive athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 28(7), 2203-2212. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05774-y>

Kızılgöz, V., Sivrioğlu, A. K., Aydın, H., Ulusoy, G. R., Çetin, T., & Tuncer, K. (2019). The Combined Effect of Body Mass Index and Tibial Slope Angles on Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Male Knees : A Case-Control Study. *Clinical Medicine Insights*.

Bibliographie

Arthritis and Musculoskeletal Disorders, 12, 1179544119867922.
<https://doi.org/10.1177/1179544119867922>

Klemm, H. J., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2023). Comparison of Return-to-Sports Rates Between Male and Female Australian Athletes After ACL Reconstruction. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(6), 23259671231169199.
<https://doi.org/10.1177/23259671231169199>

Koga, H., Nakamae, A., Shima, Y., Iwasa, J., Myklebust, G., Engebretsen, L., Bahr, R., & Krosshaug, T. (2010). Mechanisms for Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries Knee Joint Kinematics in 10 Injury Situations From Female Team Handball and Basketball. *The American journal of sports medicine*, 38, 2218-2225.
<https://doi.org/10.1177/0363546510373570>

Konishi, Y., & Fukubayashi, T. (2010). Relationship between muscle volume and muscle torque of the hamstrings after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 101-105.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.08.001>

Konishi, Y., Kinugasa, R., Oda, T., Tsukazaki, S., & Fukubayashi, T. (2012). Relationship between muscle volume and muscle torque of the hamstrings after anterior cruciate ligament lesion. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 20(11), 2270-2274. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-1888-7>

Konishi, Y., Oda, T., Tsukazaki, S., Kinugasa, R., Hirose, N., & Fukubayashi, T. (2011). Relationship between quadriceps femoris muscle volume and muscle torque after anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 19(4), 641-645. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1324-9>

Konrath, J. M., Vertullo, C. J., Kennedy, B. A., Bush, H. S., Barrett, R. S., & Lloyd, D. G. (2016). Morphologic Characteristics and Strength of the Hamstring Muscles Remain Altered at 2 Years After Use of a Hamstring Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament

Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(10), 2589-2598. <https://doi.org/10.1177/0363546516651441>

Korakakis, V., Whiteley, R., & Giakas, G. (2018). Low load resistance training with blood flow restriction decreases anterior knee pain more than resistance training alone. A pilot randomised controlled trial. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 34, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.09.007>

Kositsky, A., Maas, H., Barrett, R. S., Kennedy, B., Stenroth, L., Korhonen, R. K., Vertullo, C. J., Diamond, L. E., & Saxby, D. J. (2023). Morphology of proximal and distal human semitendinosus compartments and the effects of distal tendon harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Anatomy*, 243(2), 297-310. <https://doi.org/10.1111/joa.13869>

Kotsifaki, A., Korakakis, V., Graham-Smith, P., Sideris, V., & Whiteley, R. (2021). Vertical and Horizontal Hop Performance : Contributions of the Hip, Knee, and Ankle. *Sports Health*, 13(2), 128-135. <https://doi.org/10.1177/1941738120976363>

Kotsifaki, A., Van Rossom, S., Whiteley, R., Korakakis, V., Bahr, R., Sideris, V., & Jonkers, I. (2022). Single leg vertical jump performance identifies knee function deficits at return to sport after ACL reconstruction in male athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 56(9), 490-498. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104692>

Kotsifaki, R., Korakakis, V., King, E., Barbosa, O., Maree, D., Pantouveris, M., Bjerregaard, A., Luomajoki, J., Wilhelmsen, J., & Whiteley, R. (2023). Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 57(9), 500-514. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106158>

Kristiansen, J., Eddy, C., & Magnusson, S. P. (2024). Reliability and Validity of the End Range Hamstring Strength Test with Handheld Dynamometry. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 19(3), 268-274. <https://doi.org/10.26603/001c.94011>

Bibliographie

Kruse, A., Stafilidis, S., & Tilp, M. (2017). Ultrasound and magnetic resonance imaging are not interchangeable to assess the Achilles tendon cross-sectional-area. *European Journal of Applied Physiology*, 117(1), 73-82. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3500-1>

Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H. (2019). Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes. *European Journal of Applied Physiology*, 119(9), 1933-1942. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04181-y>

Kubo, K., Komuro, T., Ishiguro, N., Tsunoda, N., Sato, Y., Ishii, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2006). Effects of Low-Load Resistance Training with Vascular Occlusion on the Mechanical Properties of Muscle and Tendon. *Journal of Applied Biomechanics*, 22(2), 112-119. <https://doi.org/10.1123/jab.22.2.112>

Kuenze, C., Collins, K., Pfeiffer, K. A., & Lisee, C. (2021). Assessing Physical Activity After ACL Injury: Moving Beyond Return to Sport. *Sports Health*, 14(2), 197-204. <https://doi.org/10.1177/194173812111025307>

L

Lagally, K. M., & Robertson, R. J. (2006). Construct validity of the OMNI resistance exercise scale. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 252-256. <https://doi.org/10.1519/R-17224.1>

Langevoort, G., Myklebust, G., Dvorak, J., & Junge, A. (2007). Handball injuries during major international tournaments. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(4), 400-407. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00587.x>

Lansdown, D. A., Xiao, W., Zhang, A. L., Allen, C. R., Feeley, B. T., Li, X., Majumdar, S., & Ma, C. B. (2020). Quantitative imaging of anterior cruciate ligament (ACL) graft demonstrates longitudinal compositional changes and relationships with clinical outcomes at 2 years after ACL reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research*, 38(6), 1289-1295. <https://doi.org/10.1002/jor.24572>

Larwa, J., Stoy, C., Chafetz, R. S., Boniello, M., & Franklin, C. (2021). Stiff Landings, Core Stability, and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review on Documented Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Male and Female Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3826. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073826>

Lasevicius, T., Schoenfeld, B. J., Silva-Batista, C., Barros, T. de S., Aihara, A. Y., Brendon, H., Longo, A. R., Tricoli, V., Peres, B. de A., & Teixeira, E. L. (2022). Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(2), 346-351. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003454>

Lau, C. S. M., & Chamberlain, R. S. (2020). Prehabilitation Programs Improve Exercise Capacity Before and After Surgery in Gastrointestinal Cancer Surgery Patients: A Meta-Analysis. *Journal of Gastrointestinal Surgery: Official Journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract*, 24(12), 2829-2837. <https://doi.org/10.1007/s11605-019-04436-1>

Lauersen, J. B., Bertelsen, D. M., & Andersen, L. B. (2014). The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 48(11), 871-877. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092538>

Lazarczuk, S. L., Maniar, N., Opar, D. A., Duhig, S. J., Shield, A., Barrett, R. S., & Bourne, M. N. (2022). Mechanical, Material and Morphological Adaptations of Healthy Lower Limb Tendons to Mechanical Loading: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(10), 2405-2429. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01695-y>

Le Troter, A., Fouré, A., Guye, M., Confort-Gouny, S., Mattei, J.-P., Gondin, J., Salort-Campana, E., & Bendahan, D. (2016). Volume measurements of individual muscles in human quadriceps femoris using atlas-based segmentation approaches. *Magnetic*

Bibliographie

Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine, 29(2), 245-257.
<https://doi.org/10.1007/s10334-016-0535-6>

Leiter, J., Elkurbo, M., McRae, S., Chiu, J., Froese, W., & MacDonald, P. (2017). Using pre-operative MRI to predict intraoperative hamstring graft size for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 25(1), 1795. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4205-z>

Lepley, A. S., & Lepley, L. K. (2022). Mechanisms of Arthrogenic Muscle Inhibition. *Journal of Sport Rehabilitation*, 31(6), 707-716. <https://doi.org/10.1123/jsr.2020-0479>

Li, J., Rothrauff, B., Chen, S., Zhao, S., Wu, Z., Chen, Q., & He, J. (2022). Trends in Anterior Cruciate Ligament Repair: A Bibliometric and Visualized Analysis. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(10), 23259671221132564. <https://doi.org/10.1177/23259671221132564>

Lieber, R. L., & Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & Nerve*, 23(11), 1647-1666. [https://doi.org/10.1002/1097-4598\(200011\)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m](https://doi.org/10.1002/1097-4598(200011)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m)

Lieber, R. L., & Ward, S. R. (2011). Skeletal muscle design to meet functional demands. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1570), 1466-1476. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0316>

Lindström, M., Strandberg, S., Wredmark, T., Felländer-Tsai, L., & Henriksson, M. (2013). Functional and muscle morphometric effects of ACL reconstruction. A prospective CT study with 1 year follow-up. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(4), 431-442. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01417.x>

Lipscomb, A. B., Johnston, R. K., Snyder, R. B., Warburton, M. J., & Gilbert, P. P. (1982). Evaluation of hamstring strength following use of semitendinosus and gracilis

tendons to reconstruct the anterior cruciate ligament. *The American Journal of Sports Medicine*, 10(6), 340-342. <https://doi.org/10.1177/036354658201000603>

Lisee, C., Lepley, A. S., Birchmeier, T., O'Hagan, K., & Kuenze, C. (2019). Quadriceps Strength and Volitional Activation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health*, 11(2), 163-179. <https://doi.org/10.1177/1941738118822739>

Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., Libardi, C. A., & Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(2), 361-378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>

Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marín, P. J., Zourdos, M. C., & Bembien, M. G. (2012). Low intensity blood flow restriction training : A meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1849-1859. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2167-x>

Logerstedt, D., Lynch, A., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2013). Symmetry restoration and functional recovery before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(4), 859-868. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-1929-2>

Logerstedt, D., Scalzitti, D., Bennell, K., Hinman, R., Silvers-Granelli, H., Ebert, J., Hambly, K., Carey, J., Snyder-Mackler, L., Axe, M., & McDonough, C. (2018). Knee Pain and Mobility Impairments : Meniscal and Articular Cartilage Lesions Revision 2018: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Orthopaedic Section of the American Physical Therapy Association. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 48, A1-A50. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.0301>

Bibliographie

Lynch, A. D., Logerstedt, D. S., Grindem, H., Eitzen, I., Hicks, G. E., Axe, M. J., Engebretsen, L., Arna Risberg, M., & Snyder-Mackler, L. (2015). CONSENSUS CRITERIA FOR DEFINING 'SUCCESSFUL OUTCOME' AFTER ACL INJURY AND RECONSTRUCTION: A DELAWARE-OSLO ACL COHORT INVESTIGATION. *British journal of sports medicine*, 49(5), 335-342. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092299>

M

Maeo, S., Huang, M., Wu, Y., Sakurai, H., Kusagawa, Y., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2021). Greater Hamstrings Muscle Hypertrophy but Similar Damage Protection after Training at Long versus Short Muscle Lengths. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 53(4), 825-837. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002523>

Maestroni, L., Read, P., Turner, A., Korakakis, V., & Papadopoulos, K. (2021). Strength, rate of force development, power and reactive strength in adult male athletic populations post anterior cruciate ligament reconstruction—A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 47, 91-104. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.11.024>

Maestroni, L., Turner, A., Papadopoulos, K., Cohen, D., Sideris, V., Graham-Smith, P., & Read, P. (2023). Comparison of Strength and Power Characteristics Before ACL Rupture and at the End of Rehabilitation Before Return to Sport in Professional Soccer Players. *Sports Health*, 15(6), 814-823. <https://doi.org/10.1177/19417381231171566>

Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development : Physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091-1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>

Maffiuletti, N. A., Bizzini, M., Desbrosses, K., Babault, N., & Munzinger, U. (2007). Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 27(6), 346-353. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2007.00758.x>

Maïsetti, O., Hug, F., Bouillard, K., & Nordez, A. (2012). Characterization of passive elastic properties of the human medial gastrocnemius muscle belly using supersonic shear imaging. *Journal of Biomechanics*, 45(6), 978-984. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.01.009>

Mancino, F., Kayani, B., Gabr, A., Fontalis, A., Plastow, R., & Haddad, F. S. (2024). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes : Risk factors and strategies for prevention. *Bone & Joint Open*, 5(2), 94-100. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.52.BJO-2023-0166>

Markiewitz, N. D., Swarup, I., Talwar, D., Muhly, W. T., Wells, L., & Williams, B. A. (2022). Perioperative Pain Management Practices Vary Across Time and Setting for Pediatric ACL Reconstruction : Trends From a National Database in the United States. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(1), 232596712110688. <https://doi.org/10.1177/23259671211068831>

Massey, G., Evangelidis, P., & Folland, J. (2015). Influence of contractile force on the architecture and morphology of the quadriceps femoris. *Experimental Physiology*, 100(11), 1342-1351. <https://doi.org/10.1113/EP085360>

McLean, S. G., Andrish, J. T., & van den Bogert, A. J. (2005). Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(7), 1106; author reply 1106-1107. <https://doi.org/10.1177/0363546505278247>

McLean, S. G., Huang, X., & van den Bogert, A. J. (2005). Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping : Implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 20(8), 863-870. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.05.007>

Bibliographie

McLean, S. G., Huang, X., & van den Bogert, A. J. (2008). Investigating isolated neuromuscular control contributions to non-contact anterior cruciate ligament injury risk via computer simulation methods. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 23(7), 926-936. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2008.03.072>

McMahon, G. E., Morse, C. I., Burden, A., Winwood, K., & Onambélé, G. L. (2014). Impact of range of motion during ecologically valid resistance training protocols on muscle size, subcutaneous fat, and strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 245-255. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318297143a>

McNair, P. J., Depledge, J., Brett Kelly, M., & Stanley, S. N. (1996). Verbal encouragement : Effects on maximum effort voluntary muscle action. *British Journal of Sports Medicine*, 30(3), 243-245. <https://doi.org/10.1136/bjism.30.3.243>

Mellalieu, S. D., Neil, R., Hanton, S., & Fletcher, D. (2009). Competition stress in sport performers : Stressors experienced in the competition environment. *Journal of Sports Sciences*, 27(7), 729-744. <https://doi.org/10.1080/02640410902889834>

Mitsiopoulos, N., Baumgartner, R. N., Heymsfield, S. B., Lyons, W., Gallagher, D., & Ross, R. (1998). Cadaver validation of skeletal muscle measurement by magnetic resonance imaging and computerized tomography. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 85(1), 115-122. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.1.115>

Monnin, D., & Perneger, T. V. (2002). Scale to measure patient satisfaction with physical therapy. *Physical Therapy*, 82(7), 682-691.

Mouarbes, D., Menetrey, J., Marot, V., Courtot, L., Berard, E., & Cavaignac, E. (2019). Anterior Cruciate Ligament Reconstruction : A Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes for Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone-Patellar Tendon-Bone and Hamstring-Tendon Autografts. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(14), 3531-3540. <https://doi.org/10.1177/0363546518825340>

Movahedinia, M., Movahedinia, S., Hosseini, S., Motevallizadeh, A., Salehi, B., Shekarchi, B., & Shahrezaee, M. (2023). Prediction of hamstring tendon autograft diameter using preoperative measurements with different cut-offs between genders. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 10, 4. <https://doi.org/10.1186/s40634-023-00569-0>

Murach, K. A., & Bagley, J. R. (2016). Skeletal Muscle Hypertrophy with Concurrent Exercise Training: Contrary Evidence for an Interference Effect. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(8), 1029-1039. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0496-y>

Musahl, V., & Karlsson, J. (2019). Anterior Cruciate Ligament Tear. *The New England Journal of Medicine*, 380(24), 2341-2348. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1805931>

N

Nagelli, C. V., & Hewett, T. E. (2017). Should return to sport be delayed until two years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(2), 221-232. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0584-z>

Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4), 310-319. <https://doi.org/10.1007/BF02388334>

Neto, T., Sayer, T., Theisen, D., & Mierau, A. (2019). Functional Brain Plasticity Associated with ACL Injury : A Scoping Review of Current Evidence. *Neural Plasticity*, 2019, 3480512. <https://doi.org/10.1155/2019/3480512>

Nicholas, J. J., Taylor, F. H., Buckingham, R. B., & Ottonello, D. (1976). Measurement of circumference of the knee with ordinary tape measure. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 35(3), 282-284. <https://doi.org/10.1136/ard.35.3.282>

Bibliographie

Niu, X., Mai, H., Wu, T., Jiang, Y., Duan, X., Liu, M., Liu, J., Ding, L., & Ao, Y. (2022). Reliability of a Novel Automatic Knee Arthrometer for Measuring Knee Laxity After Anterior Cruciate Ligament Ruptures. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(2), 23259671211051301. <https://doi.org/10.1177/23259671211051301>

Noehren, B., Andersen, A., Hardy, P., Johnson, D. L., Ireland, M. L., Thompson, K. L., & Damon, B. (2016). Cellular and Morphological Alterations in the Vastus Lateralis Muscle as the Result of ACL Injury and Reconstruction. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 98(18), 1541-1547. <https://doi.org/10.2106/JBJS.16.00035>

O

Ornetti, P., Parratte, S., Gossec, L., Tavernier, C., Argenson, J.-N., Roos, E. M., Guillemin, F., & Maillefert, J. F. (2008). Cross-cultural adaptation and validation of the French version of the Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) in knee osteoarthritis patients. *Osteoarthritis and Cartilage*, 16(4), 423-428. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2007.08.007>

P

Palmieri-Smith, R. M., & Lepley, L. K. (2015). Quadriceps Strength Asymmetry After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alters Knee Joint Biomechanics and Functional Performance at Time of Return to Activity. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(7), 1662-1669. <https://doi.org/10.1177/0363546515578252>

Paterno, M. V., Rauh, M. J., Schmitt, L. C., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2014). Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(7), 1567-1573. <https://doi.org/10.1177/0363546514530088>

Paterno, M. V., Schmitt, L. C., Ford, K. R., Rauh, M. J., Myer, G. D., Huang, B., & Hewett, T. E. (2010). Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(10), 1968-1978. <https://doi.org/10.1177/0363546510376053>

Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise : Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in Physiology*, 10, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>

Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2015). A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(2), 187-200. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>

Pedersen, H., Iversen, V. M., Vereide, P. F., Stien, N., Saeterbakken, A. H., Fimland, M. S., Schoenfeld, B. J., & Andersen, V. (s. d.). High-frequency resistance training improves maximal lower-limb strength more than low frequency. *European Journal of Sport Science*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1002/ejsc.12055>

Pereira, V. L., Medeiros, J. V., Nunes, G. R. S., de Oliveira, G. T., & Nicolini, A. P. (2021). Tibial-graft fixation methods on anterior cruciate ligament reconstructions : A literature review. *Knee Surgery & Related Research*, 33(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s43019-021-00089-0>

Persson, A., Gifstad, T., Lind, M., Engebretsen, L., Fjeldsgaard, K., Drogset, J. O., Forsblad, M., Espehaug, B., Kjellsen, A. B., & Fevang, J. M. (2018). Graft fixation influences revision risk after ACL reconstruction with hamstring tendon autografts. *Acta Orthopaedica*, 89(2), 204-210. <https://doi.org/10.1080/17453674.2017.1406243>

Picot, B., Lempereur, M., Morel, B., Forestier, N., & Rémy-Néris, O. (2023). LACK OF PROPRIOCEPTIVE REWEIGHTING IN POSTURAL STRATEGY LEADS TO AT-RISK

Bibliographie

BIOMECHANICS FOR ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT INJURIES.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17390.18241>

Piecuch, L., Duque, V. G., Sarcher, A., Hollville, E., Nordez, A., Rabita, G., Guilhem, G., & Mateus, D. (2023). Muscle volume quantification : Guiding transformers with anatomical priors (arXiv:2310.20355; Version 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.20355>

Pietrosimone, B., Lepley, A. S., Kuenze, C., Harkey, M. S., Hart, J. M., Blackburn, J. T., & Norte, G. (2022). Arthrogenic Muscle Inhibition Following Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of Sport Rehabilitation*, 31(6), 694-706. <https://doi.org/10.1123/jsr.2021-0128>

Pinczewski, L. A., Lyman, J., Salmon, L. J., Russell, V. J., Roe, J., & Linklater, J. (2007). A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft : A controlled, prospective trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(4), 564-574. <https://doi.org/10.1177/0363546506296042>

Piussi, R., Berghdal, T., Sundemo, D., Grassi, A., Zaffagnini, S., Sansone, M., Samuelsson, K., & Senorski, E. H. (2022). Self-Reported Symptoms of Depression and Anxiety After ACL Injury : A Systematic Review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(1), 23259671211066493. <https://doi.org/10.1177/23259671211066493>

Potts, G., Reid, D., & Larmer, P. (2022a). The effectiveness of preoperative exercise programmes on quadriceps strength prior to and following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction : A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 54, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.12.004>

Potts, G., Reid, D., & Larmer, P. (2022b). The effectiveness of preoperative exercise programmes on quadriceps strength prior to and following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction : A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 54, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.12.004>

Powell, P. L., Roy, R. R., Kanim, P., Bello, M. A., & Edgerton, V. R. (1984). Predictability of skeletal muscle tension from architectural determinations in guinea pig hindlimbs. *Journal of Applied Physiology*, 57(6), 1715-1721. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.57.6.1715>

Q

Quatman, C. E., & Hewett, T. E. (2009). The anterior cruciate ligament injury controversy: Is « valgus collapse » a sex-specific mechanism? *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 328-335. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.059139>

Quisquater, L., Bollars, P., Vanlommel, L., Claes, S., Corten, K., & Bellemans, J. (2013). The incidence of knee and anterior cruciate ligament injuries over one decade in the Belgian Soccer League. *Acta orthopaedica Belgica*, 79, 541-546.

R

Rambaud, A. J. M., Ardern, C. L., Thoreux, P., Regnaud, J.-P., & Edouard, P. (2018). Criteria for return to running after anterior cruciate ligament reconstruction: A scoping review. *British Journal of Sports Medicine*, 52(22), 1437-1444. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098602>

Reeves, N. D., Maganaris, C. N., Maffulli, N., & Rittweger, J. (2009). Human patellar tendon stiffness is restored following graft harvest for anterior cruciate ligament surgery. *Journal of Biomechanics*, 42(7), 797-803. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.01.030>

Refalo, M. C., Helms, E. R., Trexler, Eric. T., Hamilton, D. L., & Fyfe, J. J. (2023). Influence of Resistance Training Proximity-to-Failure on Skeletal Muscle Hypertrophy: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, 53(3), 649-665. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01784-y>

Bibliographie

Relph, N., Herrington, L., & Tyson, S. (2014). The effects of ACL injury on knee proprioception : A meta-analysis. *Physiotherapy*, 100(3), 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2013.11.002>

Rice, D. A., & McNair, P. J. (2010). Quadriceps arthrogenic muscle inhibition : Neural mechanisms and treatment perspectives. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 40(3), 250-266. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2009.10.001>

Roberge, P., Doré, I., Menear, M., Chartrand, É., Ciampi, A., Duhoux, A., & Fournier, L. (2013). A psychometric evaluation of the French Canadian version of the Hospital Anxiety and Depression Scale in a large primary care population. *Journal of Affective Disorders*, 147(1-3), 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2012.10.029>

Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P., & González-Badillo, J. J. (2018). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(5), 743-762. <https://doi.org/10.1111/cpf.12495>

Rovere, G., Stramazzo, L., Romeo, M., D'Arienzo, A., Maccauro, G., & Camarda, L. (s. d.). Hamstring Graft Preparation for ACL Reconstruction. *Orthopedic Reviews*, 14(5), 38408. <https://doi.org/10.52965/001c.38408>

Runer, A., Keeling, L., Wagala, N., Nugraha, H., Özbek, E. A., Hughes, J. D., & Musahl, V. (2023). Current trends in graft choice for anterior cruciate ligament reconstruction – part I: Anatomy, biomechanics, graft incorporation and fixation. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 10, 37. <https://doi.org/10.1186/s40634-023-00600-4>

S

Sahinis, C., Kellis, E., Dafkou, K., & Ellinoudis, A. (2021). Reliability of Distal Hamstring Tendon Length and Cross-sectional Area Using 3-D Freehand Ultrasound. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 47(9), 2579-2588. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2021.05.025>

Samuelson, B. T., Webster, K. E., Johnson, N. R., Hewett, T. E., & Krych, A. J. (2017). Hamstring Autograft versus Patellar Tendon Autograft for ACL Reconstruction : Is There a Difference in Graft Failure Rate? A Meta-analysis of 47,613 Patients. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 475(10), 2459-2468. <https://doi.org/10.1007/s11999-017-5278-9>

Saravia, A., Cabrera, S., Molina, C. R., Pacheco, L., & Muñoz, G. (2020). Validity of the Genourob arthrometer in the evaluation of total thickness tears of anterior cruciate ligament. *Journal of Orthopaedics*, 22, 203-206. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.03.041>

Sarvazyan, A. P., Skovoroda, A. R., Emelianov, S. Y., Fowlkes, J. B., Pipe, J. G., Adler, R. S., Buxton, R. B., & Carson, P. L. (1995). Biophysical Bases of Elasticity Imaging. In J. P. Jones (Éd.), *Acoustical Imaging* (Vol. 21, p. 223-240). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1943-0_23

Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(3), 179-194. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0017-1>

Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Van Every, D. W., & Plotkin, D. L. (2021a). Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance : A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports (Basel, Switzerland)*, 9(2), 32. <https://doi.org/10.3390/sports9020032>

Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Van Every, D. W., & Plotkin, D. L. (2021b). Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance : A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports (Basel, Switzerland)*, 9(2), 32. <https://doi.org/10.3390/sports9020032>

Scott, B. R., Duthie, G. M., Thornton, H. R., & Dascombe, B. J. (2016). Training Monitoring for Resistance Exercise : Theory and Applications. *Sports Medicine*, 46(5), 687-698. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0454-0>

Bibliographie

Serpell, B. G., Scarvell, J. M., Ball, N. B., & Smith, P. N. (2012). Mechanisms and risk factors for noncontact ACL injury in age mature athletes who engage in field or court sports : A summary of the literature since 1980. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(11), 3160-3176. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318243fb5a>

Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 102(1), 368-373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00789.2006>

Shaarani, S. R., O'Hare, C., Quinn, A., Moyna, N., Moran, R., & O'Byrne, J. M. (2013). Effect of Prehabilitation on the Outcome of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(9), 2117-2127. <https://doi.org/10.1177/0363546513493594>

Sherman, D. A., Baumeister, J., Stock, M. S., Murray, A. M., Bazett-Jones, D. M., & Norte, G. E. (2023). Brain activation and single-limb balance following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Neurophysiology*, 149, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2023.02.175>

Sherman, D. A., Rush, J., Stock, M. S., D Ingersoll, C., & E Norte, G. (2023). Neural drive and motor unit characteristics after anterior cruciate ligament reconstruction : Implications for quadriceps weakness. *PeerJ*, 11, e16261. <https://doi.org/10.7717/peerj.16261>

Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., & Fukunaga, T. (1998). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(1-2), 189-191. <https://doi.org/10.1007/s004210050319>

Snaebjörnsson, T., Hamrin-Senorski, E., Svantesson, E., Karlsson, L., Engebretsen, L., Karlsson, J., & Samuelsson, K. (2019). Graft Diameter and Graft Type as Predictors of Anterior Cruciate Ligament Revision : A Cohort Study Including 18,425 Patients from the Swedish and Norwegian National Knee Ligament Registries. *The Journal of Bone*

and Joint Surgery. American Volume, 101(20), 1812-1820.
<https://doi.org/10.2106/JBJS.18.01467>

Sonesson, S., Oberg, B., Good, L., & Kvist, J. (2008). A Comprehensive Rehabilitation Program With Quadriceps Strengthening in Closed Versus Open Kinetic Chain Exercise in Patients With Anterior Cruciate Ligament Deficiency A Randomized Clinical Trial Evaluating Dynamic Tibial Translation and Muscle Function. The American journal of sports medicine, 36, 298-307.
<https://doi.org/10.1177/0363546507307867>

Steding-Ehrenborg, K., Hedén, B., Herbertsson, P., & Arheden, H. (2013). A longitudinal study on cardiac effects of deconditioning and physical reconditioning using the anterior cruciate ligament injury as a model. Clinical Physiology and Functional Imaging, 33(6), 423-430. <https://doi.org/10.1111/cpf.12048>

Steindorf, K., Schmidt, M. E., Klassen, O., Ulrich, C. M., Oelmann, J., Habermann, N., Beckhove, P., Owen, R., Debus, J., Wiskemann, J., & Potthoff, K. (2014). Randomized, controlled trial of resistance training in breast cancer patients receiving adjuvant radiotherapy: Results on cancer-related fatigue and quality of life. Annals of Oncology: Official Journal of the European Society for Medical Oncology, 25(11), 2237-2243. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdu374>

Stojanović, E., Faude, O., Nikić, M., Scanlan, A. T., Radovanović, D., & Jakovljević, V. (2023). The incidence rate of ACL injuries and ankle sprains in basketball players : A systematic review and meta-analysis. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 33(6), 790-813. <https://doi.org/10.1111/sms.14328>

Stone, M. H., Moir, G., Glaister, M., & Sanders, R. (2002). How much strength is necessary? Physical Therapy in Sport, 3(2), 88-96.
<https://doi.org/10.1054/ptsp.2001.0102>

Straub, R. K., Della Villa, F., Mandelbaum, B., & Powers, C. M. (2022). Confidence to Return to Play After ACL Reconstruction : An Evaluation of Quadriceps Strength

Bibliographie

Symmetry and Injury Mechanism in Male Athletes. *Sports Health*, 14(5), 758-763.
<https://doi.org/10.1177/194173812111043854>

Suichomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., Hornsby, W. G., & Stone, M. H. (2021). Training for Muscular Strength : Methods for Monitoring and Adjusting Training Intensity. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(10), 2051-2066.
<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01488-9>

Suichomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(10), 1419-1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>

Sun, Z., Ciężczyk, P., Humińska-Lisowska, K., Michałowska-Sawczyn, M., & Yue, S. (2023). Genetic Determinants of the Anterior Cruciate Ligament Rupture in Sport : An Up-to-Date Systematic Review. *Journal of Human Kinetics*, 88, 105-117.
<https://doi.org/10.5114/jhk/163073>

Sutherland, K., Clatworthy, M., Fulcher, M., Chang, K., & Young, S. W. (2019). Marked increase in the incidence of anterior cruciate ligament reconstructions in young females in New Zealand. *ANZ Journal of Surgery*, 89(9), 1151-1155.
<https://doi.org/10.1111/ans.15404>

Svantesson, E., Hamrin Senorski, E., Webster, K. E., Karlsson, J., Diermeier, T., Rothrauff, B. B., Meredith, S. J., Rauer, T., Irrgang, J. J., Spindler, K. P., Ma, C. B., & Musahl, V. (2020). Clinical outcomes after anterior cruciate ligament injury : Panther symposium ACL injury clinical outcomes consensus group. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(8), 2415-2434. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06061-x>

Swanik, C. B. (2015). Brains and Sprains : The Brain's Role in Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Journal of Athletic Training*, 50(10), 1100-1102.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.10.08>

T

Tagesson, S., Öberg, B., Good, L., & Kvist, J. (2008). A Comprehensive Rehabilitation Program with Quadriceps Strengthening in Closed versus Open Kinetic Chain Exercise in Patients with Anterior Cruciate Ligament Deficiency : A Randomized Clinical Trial Evaluating Dynamic Tibial Translation and Muscle Function. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(2), 298-307. <https://doi.org/10.1177/0363546507307867>

Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., & Ishii, N. (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 88(6), 2097-2106. <https://doi.org/10.1152/jap.2000.88.6.2097>

Tamalet, B., & Rochcongar, P. (2016). Épidémiologie et prévention de la rupture du ligament croisé antérieur du genou. *Revue du Rhumatisme Monographies*, 83(2), 103-107. <https://doi.org/10.1016/j.monrhu.2016.01.004>

Tesch, P. A., Komi, P. V., & Häkkinen, K. (1987). Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training. *International Journal of Sports Medicine*, 8 Suppl 1, 66-69. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025706>

Thoma, L. M., Grindem, H., Logerstedt, D., Axe, M., Engebretsen, L., Risberg, M. A., & Snyder-Mackler, L. (2019). Coper Classification Early After Anterior Cruciate Ligament Rupture Changes With Progressive Neuromuscular and Strength Training and Is Associated With 2-Year Success : The Delaware-Oslo ACL Cohort Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(4), 807-814. <https://doi.org/10.1177/0363546519825500>

Thomare, J., Lacourpaille, L., McNair, P. J., Crouzier, M., Ellis, R., & Nordez, A. (2021). A Gel Pad Designed to Measure Muscle Volume Using Freehand 3-Dimensional Ultrasonography. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 40(6), 1245-1250. <https://doi.org/10.1002/jum.15490>

Bibliographie

Tidball, J. G. (1984). Myotendinous junction : Morphological changes and mechanical failure associated with muscle cell atrophy. *Experimental and Molecular Pathology*, 40(1), 1-12. [https://doi.org/10.1016/0014-4800\(84\)90060-1](https://doi.org/10.1016/0014-4800(84)90060-1)

V

van Eck, C. F., van den Bekerom, M. P. J., Fu, F. H., Poolman, R. W., & Kerkhoffs, G. M. M. J. (2013). Methods to diagnose acute anterior cruciate ligament rupture : A meta-analysis of physical examinations with and without anaesthesia. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 21(8), 1895-1903. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2250-9>

van Melick, N., van der Weegen, W., & Van der Horst, N. (2021). Quadriceps and Hamstrings Strength Reference Values for Athletes With and Without Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Who Play Popular Pivoting Sports, Including Soccer, Basketball, and Handball : A Scoping Review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 52, 1-35. <https://doi.org/10.2519/jospt.2022.10693>

van Melick, N., van Cingel, R. E. H., Brooijmans, F., Neeter, C., van Tienen, T., Hullegie, W., & Nijhuis-van der Sanden, M. W. G. (2016). Evidence-based clinical practice update : Practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1506-1515. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095898>

Veltri, D. M. (1997). Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinics in Sports Medicine*, 16(1), 123-144. [https://doi.org/10.1016/s0278-5919\(05\)70010-7](https://doi.org/10.1016/s0278-5919(05)70010-7)

Vermorel, P.-H., Testa, R., Klasan, A., Putnis, S. E., Philippot, R., Sonnery-Cottet, B., & Neri, T. (2023a). Contribution of the Medial Hamstrings to Valgus Stability of the Knee. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(10), 23259671231202767. <https://doi.org/10.1177/23259671231202767>

Vermorel, P.-H., Testa, R., Klasan, A., Putnis, S. E., Philippot, R., Sonnery-Cottet, B., & Neri, T. (2023b). Contribution of the Medial Hamstrings to Valgus Stability of the Knee. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(10), 23259671231202767. <https://doi.org/10.1177/23259671231202767>

W

Waldén, M., Krosshaug, T., Bjørneboe, J., Andersen, T. E., Faul, O., & Hägglund, M. (2015). Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players : A systematic video analysis of 39 cases. *British Journal of Sports Medicine*, 49(22), 1452-1460. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094573>

Wang, J. H.-C. (2006). Mechanobiology of tendon. *Journal of Biomechanics*, 39(9), 1563-1582. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.05.011>

Wang, L., Lee, M., Zhang, Z., Moodie, J., Cheng, D., & Martin, J. (2016). Does preoperative rehabilitation for patients planning to undergo joint replacement surgery improve outcomes? A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ Open*, 6(2), e009857. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-009857>

Ward, S. R., Eng, C. M., Smallwood, L. H., & Lieber, R. L. (2009). Are Current Measurements of Lower Extremity Muscle Architecture Accurate? *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 467(4), 1074-1082. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0594-8>

Waterland, J. L., McCourt, O., Edbrooke, L., Granger, C. L., Ismail, H., Riedel, B., & Denehy, L. (2021). Efficacy of Prehabilitation Including Exercise on Postoperative Outcomes Following Abdominal Cancer Surgery : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Surgery*, 8, 628848. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.628848>

Bibliographie

Whiteley, I., Sideris, V., Kotsifaki, R., King, E., & Whiteley, R. (s. d.). The MyJump App is a Valid Method of Assessing and Classifying Limb Symmetry During Recovery from Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 18(5), 1156-1165. <https://doi.org/10.26603/001c.88005>

Wiesinger, H.-P., Seynnes, O. R., Kösters, A., Müller, E., & Rieder, F. (2020). Mechanical and Material Tendon Properties in Patients With Proximal Patellar Tendinopathy. *Frontiers in Physiology*, 11, 704. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00704>

Williams, G. N., Taylor, D. C., Gangel, T. J., Uhorchak, J. M., & Arciero, R. A. (2000). Comparison of the Single Assessment Numeric Evaluation Method and the Lysholm Score: *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 373, 184-192. <https://doi.org/10.1097/00003086-200004000-00022>

Wolf, M., Androulakis-Korakakis, P., Fisher, J., Schoenfeld, B., & Steele, J. (2022). Partial vs full range of motion resistance training: A systematic review and meta-analysis. <https://doi.org/10.51224/SRXIV.198>

Woodley, S., & Mercer, S. (2005). Hamstring Muscles : Architecture and Innervation. *Cells, tissues, organs*, 179, 125-141. <https://doi.org/10.1159/000085004>

X

Xiao, M., van Niekerk, M., Trivedi, N. N., Hwang, C. E., Sherman, S. L., Safran, M. R., & Abrams, G. D. (2023). Patients Who Return to Sport After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Have Significantly Higher Psychological Readiness : A Systematic Review and Meta-analysis of 3744 Patients. *The American Journal of Sports Medicine*, 51(10), 2774-2783. <https://doi.org/10.1177/03635465221102420>

Z

Zebis, M. K., Andersen, L. L., Brandt, M., Myklebust, G., Bencke, J., Lauridsen, H. B., Bandholm, T., Thorborg, K., Hölmich, P., & Aagaard, P. (2016). Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes : A randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 50(9), 552-557. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094776>

Annexes

Annexe I : Extrait des livrets de suivi des patients lors de l'entraînement pre opératoire. L'intérieur du livret indique le groupe auquel appartient le patient. Jaune : Entraînement Conventionnel (CON), Vert : Entraînement contre résistance (RT)

Étude K-Pop

carnet de suivi



contact :

antoine.frouin@univ-nantes.fr

guillaume.le-sant@univ-nantes.fr

Informations personnelles

Date de lésion :

Type de lésion (rayer les mentions inutiles) : isolée / ménisque /
collatéral / œdème osseux/ fissure /autre

Profession :

Sport pratiqué :

Niveau de pratique (rayer les mentions inutiles) : Loisir / Départemental /
Régional / National / International

Médecin du sport :

Médecin traitant :

Cabinet de kinésithérapie (nom) :

Kinésithérapeute référent :

Date de chirurgie :

Type d'opération :

Chirurgien :

Sommaire

Objectifs de la rééducation pre-opératoire	1
PROGRAMME	1
Présentation des exercices	2
Séance-type en phase pré-opératoire (60 minutes)	4
Exercices de référence (mesure de la 15-RM)	5
Calcul de la Répétition Maximale (RM).....	5
Mesures à collecter durant le suivi du patient	6
Suivi des séances	11
Objectifs de la rééducation post-opératoire	68
Activités clés (post-opératoire)	68

Groupe 1 : Entraînement contre résistance

Objectifs de la rééducation pre-opératoire

- Récupération des amplitudes articulaires
- Diminution des douleurs
- Diminution de l'œdème
- Gain de volume musculaire

PROGRAMME

Phase 1 (S1-S3) :

1 exercice quadriceps +
1 ischio-jambiers
Séries : 4
Consignes : échec (0 RER)
Charge : 25 RM

Phase 2 (S4-S6) :

1 exercice quadriceps +
1 ischio-jambiers
Séries : 4
Consignes : échec (0 RER)
Charge : 12 RM

Phase 3 (S7-S9) :

1 exercice quadriceps +
1 ischio-jambiers
Séries : 4
Consignes : échec (0 RER)
Charge : 8 RM

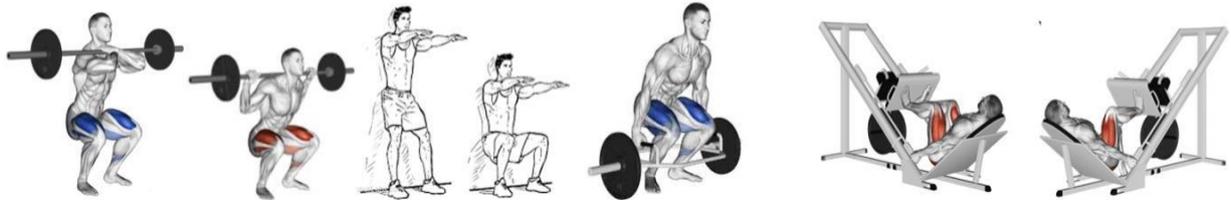
Présentation des exercices



Quadriceps

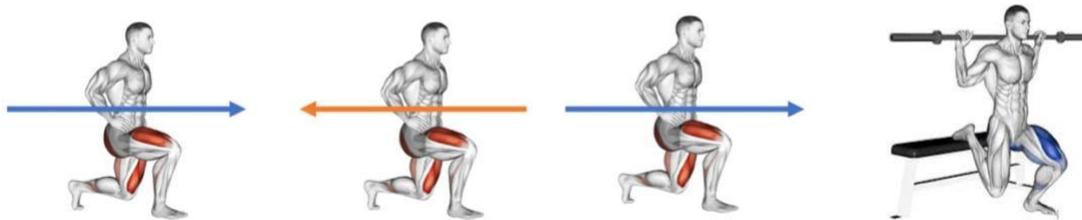
Pattern de mouvement : squat

1A_Frontsquat **1B_Backsquat** **1C_Wallsquat** **1D_Trapbarsquat** **1E_Legpress bilatéral / 1F_unilatéral**



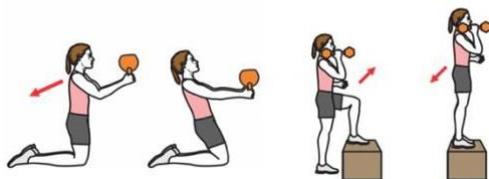
Pattern de mouvement : lunges

2A_Frontlunges **2B_Backlunges** **2C_Walkinglunges** **2D_Bulgariansplitsquat**



Pattern de mouvement : reverse curl /step up

3A_Reverse nordic **3B_Step Up**



Pattern de mouvement : leg extension

4A_Leg extension bilatéral **4B_Leg extension unilatéral**

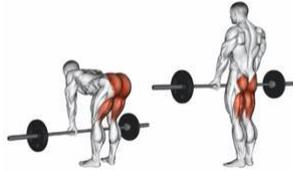




Ischio-Jambiers

Pattern de mouvement : deadlift

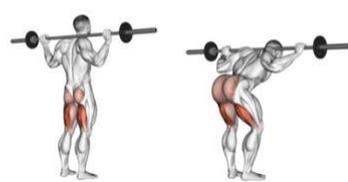
6A_Stiffleg Deadlift



6B_Romanian Deadlift



6C_Good Morning



6D_Diver



Pattern de mouvement : leg curl

7A_Seated leg curl bilatéral / 7B_unilatéral



7C_Lying leg curl bilatéral / 7D_unilatéral



Pattern de mouvement : autre/ glissements/ leviers à la hanche

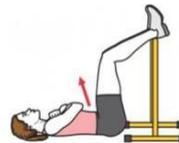
8A_Glider bilatéral / 8B_unilatéral



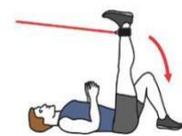
8C_GlutHam



8D_Bridge bilatéral / 8E_unilatéral



8F_Hip extension

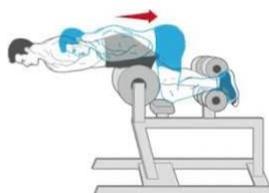


Pattern de mouvement : nordic hamstring

9A_Nordic Hamstring



9B_Razor Nordic Hamstring



9C_Good morning Nordic Hamstring



Séance-type en phase pré-opératoire (60 minutes)

- 10 min : Massage / mobilisation
- 5 min : Échauffement sur ergomètre
- **30 min : Entraînement contre résistance (cf programme)**
- 15 min : Physiothérapie antalgique

Précisions : au cours d'une séance...

- Choisir des exercices identiques ou différents de la séance précédente
- Choisir 2 exercices (parmi la liste précédente)
 - un exercice ciblant le quadriceps
 - un exercice ciblant les ischio-jambiers
- Montée en charge sur 2 paliers (le deuxième à 50% de la charge théorique)
- Mise en place de la charge de travail (25RM ou 12RM ou 8RM)
- 4 séries * xx répétitions / repos : 1'30 à 2 min
- Travailler au RPE ciblé
- Reporter les valeurs dans le tableau prévu à cet effet

Vidéos des exercices du programme accessibles via le QR code



Exercices de référence (mesure de la 15-RM)

- Cette mesure permet d'évaluer la progression durant le programme
- Le test doit être réalisé :
 - Lors des sessions : 1, 10, 19 et 27
 - En début de séance
 - En utilisant toujours les mêmes exercices : trouver la 15-RM de chaque exercices (Q, et IJ)
- Rapporter les résultats aux emplacements prévus dans le carnet

Calcul de la Répétition Maximale (RM)

- Mouvement sur l'amplitude totale (ou secteur défini, eg 90° en squat)
- Rythme identique lors de chaque répétition, sans pause au début/à la fin du mouvement
- Arrêt si :
 - incapacité à réaliser le mouvement dans l'amplitude
 - sensation d'avoir atteint l'échec musculaire (impossible de réaliser +1 répétition supplémentaire)

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Mesures à collecter durant le suivi du patient

1. Mesures cliniques

Amplitude articulaire : goniométrie en flexion

Référence : Rohstein et al., 1983

- Pour les deux genoux
- Repères anatomiques goniomètre
 - Centre de rotation : épicondyle latéral
 - Branches : Épicondyle latéral / Malléole latérale
- En décubitus dorsal, hanche à 90°
- Mobilisation passive, lente du genou
- Angle maximal : au seuil apparition de la douleur
- Indiquer la mesure à 1° près



Amplitude articulaire : goniométrie en extension

Référence : Rohstein et al., 1983

- Pour les deux genoux
- Repères anatomiques goniomètre
 - Centre de rotation : épicondyle latéral
 - Branches : Épicondyle latéral / Malléole latérale
- En décubitus dorsal, hanche à 0°
- Mobilisation passive, lente du genou
- Angle maximal : au seuil apparition de la douleur
- Indiquer la mesure à 1° près



Volume du genou : périmétrie

Référence : Nicholas et al., 1976

- Pour les deux genoux
- Tracer 3 traits
 - centre patella
 - base supérieure patella + 7 cm
 - base supérieure patella + 15 cm
- Périmétrie au niveau des traits, avec un mètre ruban, sans comprimer
- Indiquer la mesure à 0,1 cm près



Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code



2. Mesures auto-rapportées : unidimensionnelles

Échelle visuelle analogique (EVA)

Référence : Crichton., 2001

- Demander au patient d'évaluer son niveau de douleur, au début de chaque séance
- Consignes :
 - Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur
 - Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Pas de douleur

Douleur maximale imaginable

État de santé lié au genou, global (SANE)

Référence : Williams et al., 2000

- Pas que lié à la douleur (sur le quotidien, etc...)
- Consigne :
 - Pouvez-vous répondre à cette question, qui concerne votre état de santé lié au genou, s'il vous plaît ?

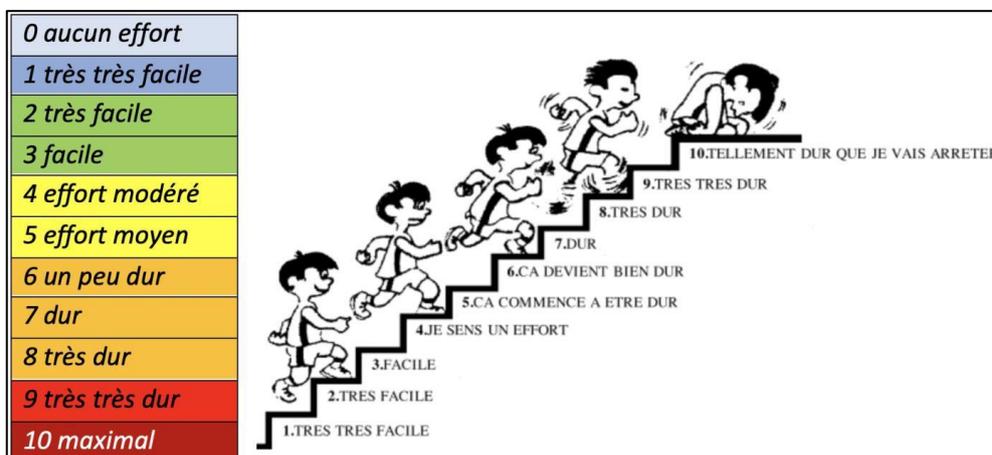
À combien évaluez-vous votre genou aujourd'hui sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal)

Réponse :

Échelle de perception de l'effort (RPE)

Référence : Borg, 1978

- Permet d'évaluer le niveau d'effort durant l'exercice/le mouvement
- Consigne :
 - Pouvez-vous indiquer le niveau d'effort que vous demande de faire ... s'il vous plaît ?



3. Mesures auto-rapportées: multidimensionnelles

Questionnaires

- Des questionnaires seront à faire remplir par les patients au cours de certaines séances
- Ils permettront de mesurer :
 - La qualité de vie (KOOS) : 25 questions
 - Le niveau d'anxiété et de dépression (HAD) : 14 questions, durée : 5 minutes
 - La satisfaction avec les soins (PTSPT) : 14 questions, durée : 5 minutes
- Total temps de passation : 20 minutes
- Consignes :
 - Pouvez-vous remplir ces questionnaires s'il vous plait ?

Références : Ornetti et al 2008 ; Roberge et al 2013 ; Monnin & Perneger 2002

Journal / Cahier

- Certains événements clés de l'évolution de la situation seront suivis au cours de la rééducation
 - Consommation de soins
 - Activités
- Un tableau récapitulatif permettra de noter : les dates (début/arrêt) et caractéristiques associées à ces événements

Suivi		
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>	<i>Précisions</i>
Médicaments	Oui Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires		

Suivi des séances

Exemple de remplissage

Séance X				
Date	12 / 12 / 2023			
Mesures auto-rapportées				
EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	Aucune Douleur			Douleur Maximale Imaginable
10 min : Massage / mobilisation 5 min : Échauffement sur ergomètre 30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous) 15 min : Physiothérapie antalgique				
	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps 	1A	32	Série 1	25
			Série 2	22
			Série 3	24
			Série 4	21
Ischio-Jambiers 	6B	14	Série 1	25
			Série 2	25
			Série 3	25
			Série 4	23
RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :			
	Réponse :	9		
Remarques générales (séance)		<i>Exo supplémentaire (Moyen fessier) en abduction en decubitus sur table (10kg de charge, 4 séries de 10 reps)</i>		

Séance 1 : début du programme (évaluations + contenu)

Date	____ / ____ / ____	
-------------	--------------------	--

Mesures cliniques			
		Côté blessé	Côté sain
Amplitude articulaire (°)	Flexion		
	Extension		
Volume du genou (cm)	Milieu patella		
	Bord sup + 7 cm		
	Bord sup + 15 cm		

Mesures auto-rapportées				
SANE	<p>À combien évaluez-vous votre genou <u>aujourd'hui</u> sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal)</p> <p>Réponse <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/></p>			
EVA	<p>Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 15%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 70%;"></td> <td style="width: 15%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code



Cahier de suivi			
Événements	Entourer		Précisions
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Echelle HAD (*Hospital Anxiety and Depression*)

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps 3
- Souvent 2
- De temps en temps 1
- Jamais 0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant 0
- Pas autant 1
- Un peu seulement 2
- Presque plus 3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement 3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave 2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas 1
- Pas du tout 0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé 0
- Plus autant qu'avant 1
- Vraiment moins qu'avant 2
- Plus du tout 3

5. Je me fais du souci

- Très souvent 3
- Assez souvent 2
- Occasionnellement 1
- Très occasionnellement 0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais 3
- Rarement 2
- Assez souvent 1
- La plupart du temps 0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive 0
- Oui, en général 1
- Rarement 2
- Jamais 3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours 3
- Très souvent 2
- Parfois 1
- Jamais 0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais 0
- Parfois 1
- Assez souvent 2
- Très souvent 3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout 3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais 2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention 1
- J'y prête autant d'attention que par le passé 0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas 3
- Un peu 2
- Pas tellement 1
- Pas du tout 0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant 0
- Un peu moins qu'avant 1
- Bien moins qu'avant 2
- Presque jamais 3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent 3
- Assez souvent 2
- Pas très souvent 1
- Jamais 0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent 0
- Parfois 1
- Rarement 2
- Très rarement 3

Echelle KOOS (*Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*)

INSTRUCTIONS

Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptômes

Ces questions concernent vos symptômes au cours des **huit derniers jours**.

S1. Est-ce que votre genou gonfle?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

S2. Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S3. Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S4. Pouvez-vous étendre votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

S5. Pouvez-vous plier votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des **huit derniers jours**.

La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S6. Le matin au réveil, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

S7. Après être resté(e) assis(e), couché(e), ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais	Une fois par mois	Une fois par semaine	Tous les jours	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P3. En étendant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P4. En pliant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P7. Au lit la nuit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P9. En restant debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A2. Monter les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A3. Vous relever d'une position assise

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A4. Rester debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A6. Marcher sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A7. Monter ou descendre de voiture

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A8. Faire vos courses

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A10. Sortir du lit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A14. Rester assis(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols,...)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière,...).
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Activités, sport et loisirs

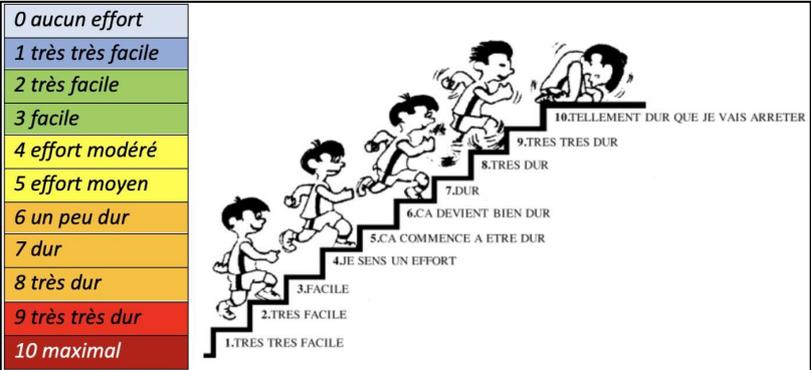
Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

- SP1. Rester accroupi(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP2. Courir
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP3. Sauter
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP5. Rester à genoux
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Qualité de vie

- Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jamais | Une fois par mois | Une fois par semaine | Tous les jours | Tout le temps |
| <input type="checkbox"/> |
- Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Extrêmement |
| <input type="checkbox"/> |

Exercices de référence

Quadriceps 	15RM	
	Type de résistance	
	Remarques	
Ischio-Jambiers 	15RM	
	Type de résistance	
	Remarques	
RPE	Pouvez-vous indiquer l'effort que vous a demandé la séance :	
		

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Séance 2

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable	
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable			

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 3

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio- Jambiers 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

Si exercice supplémentaire

- Muscle ciblé :
- Type d'exercice :
- Répétitions, séries :
- Type de résistance et charge :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 4

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; border-right: 1px solid black; width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 5

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

Remarques générales (séance)

Séance 6

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>						
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 60%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur				Douleur Maximale Imaginable	
Aucune Douleur				Douleur Maximale Imaginable			

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 7

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 8

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 9

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable	
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable			

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 25 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 10 : phase 2 passage à 12 RM (évaluations + contenu)

Date	____ / ____ / ____	
-------------	--------------------	--

Mesures cliniques			
		Côté blessé	Côté sain
Amplitude articulaire (°)	Flexion		
	Extension		
Volume du genou (cm)	Milieu patella		
	Bord sup + 7 cm		
	Bord sup + 15 cm		

Mesures auto-rapportées				
SANE	<p>À combien évaluez-vous votre genou <u>aujourd'hui</u> sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal)</p> <p>Réponse <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/></p>			
EVA	<p>Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; padding: 5px; vertical-align: middle;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 70%; border-bottom: 2px solid black;"></td> <td style="width: 15%; padding: 5px; vertical-align: middle; text-align: right;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code



Cahier de suivi			
Événements	Entourer		Précisions
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Echelle HAD (*Hospital Anxiety and Depression*)

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps 3
- Souvent 2
- De temps en temps 1
- Jamais 0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant 0
- Pas autant 1
- Un peu seulement 2
- Presque plus 3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement 3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave 2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas 1
- Pas du tout 0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé 0
- Plus autant qu'avant 1
- Vraiment moins qu'avant 2
- Plus du tout 3

5. Je me fais du souci

- Très souvent 3
- Assez souvent 2
- Occasionnellement 1
- Très occasionnellement 0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais 3
- Rarement 2
- Assez souvent 1
- La plupart du temps 0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive 0
- Oui, en général 1
- Rarement 2
- Jamais 3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours 3
- Très souvent 2
- Parfois 1
- Jamais 0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais 0
- Parfois 1
- Assez souvent 2
- Très souvent 3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout 3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais 2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention 1
- J'y prête autant d'attention que par le passé 0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas 3
- Un peu 2
- Pas tellement 1
- Pas du tout 0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant 0
- Un peu moins qu'avant 1
- Bien moins qu'avant 2
- Presque jamais 3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent 3
- Assez souvent 2
- Pas très souvent 1
- Jamais 0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent 0
- Parfois 1
- Rarement 2
- Très rarement 3

Echelle KOOS (*Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*)

INSTRUCTIONS

Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptômes

Ces questions concernent vos symptômes au cours des **huit derniers jours**.

S1. Est-ce que votre genou gonfle?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

S2. Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S3. Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S4. Pouvez-vous étendre votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

S5. Pouvez-vous plier votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des **huit derniers jours**.

La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S6. Le matin au réveil, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

S7. Après être resté(e) assis(e), couché(e), ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais	Une fois par mois	Une fois par semaine	Tous les jours	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P3. En étendant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P4. En pliant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P7. Au lit la nuit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P9. En restant debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A2. Monter les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A3. Vous relever d'une position assise

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A4. Rester debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A6. Marcher sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A7. Monter ou descendre de voiture

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A8. Faire vos courses

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A10. Sortir du lit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A14. Rester assis(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols,...)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière,...).
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Activités, sport et loisirs

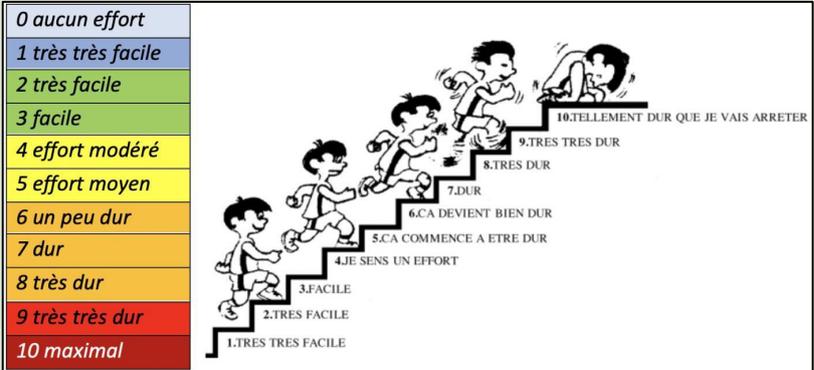
Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

- SP1. Rester accroupi(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP2. Courir
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP3. Sauter
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP5. Rester à genoux
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Qualité de vie

- Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jamais | Une fois par mois | Une fois par semaine | Tous les jours | Tout le temps |
| <input type="checkbox"/> |
- Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Extrêmement |
| <input type="checkbox"/> |

Exercices de référence

Quadriceps 	15RM	
	Type de résistance	
	Remarques	
Ischio-Jambiers 	15RM	
	Type de résistance	
	Remarques	
RPE	Pouvez-vous indiquer l'effort que vous a demandé la séance :	
		

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Séance 11

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 12 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 12

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable	
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable			

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 12 RM
Quadriceps 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 13

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 70%;"></td> <td style="width: 15%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 12 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 14

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>					
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="width: 30%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur				Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur				Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 12 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 15

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 70%;"></td> <td style="width: 15%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 12 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 16

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 12 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 17

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="border: none;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable	
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable			

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 12 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 18

Date	____ / ____ / ____	
-------------	--------------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>				
	<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable	
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable			

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 12 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 19 : phase 3 **passage à 8 RM (évaluations + contenu)**

Date	____ / ____ / ____	
-------------	--------------------	--

Mesures cliniques			
		Côté blessé	Côté sain
Amplitude articulaire (°)	Flexion		
	Extension		
Volume du genou (cm)	Milieu patella		
	Bord sup + 7 cm		
	Bord sup + 15 cm		

Mesures auto-rapportées				
SANE	<p>À combien évaluez-vous votre genou <u>aujourd'hui</u> sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal)</p> <p>Réponse <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/></p>			
EVA	<p>Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; vertical-align: middle;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 70%; height: 30px; border-bottom: 2px solid black;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center; vertical-align: middle;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code



Cahier de suivi			
Événements	Entourer		Précisions
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Echelle HAD (*Hospital Anxiety and Depression*)

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps 3
- Souvent 2
- De temps en temps 1
- Jamais 0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant 0
- Pas autant 1
- Un peu seulement 2
- Presque plus 3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement 3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave 2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas 1
- Pas du tout 0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé 0
- Plus autant qu'avant 1
- Vraiment moins qu'avant 2
- Plus du tout 3

5. Je me fais du souci

- Très souvent 3
- Assez souvent 2
- Occasionnellement 1
- Très occasionnellement 0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais 3
- Rarement 2
- Assez souvent 1
- La plupart du temps 0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive 0
- Oui, en général 1
- Rarement 2
- Jamais 3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours 3
- Très souvent 2
- Parfois 1
- Jamais 0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais 0
- Parfois 1
- Assez souvent 2
- Très souvent 3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout 3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais 2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention 1
- J'y prête autant d'attention que par le passé 0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas 3
- Un peu 2
- Pas tellement 1
- Pas du tout 0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant 0
- Un peu moins qu'avant 1
- Bien moins qu'avant 2
- Presque jamais 3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent 3
- Assez souvent 2
- Pas très souvent 1
- Jamais 0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent 0
- Parfois 1
- Rarement 2
- Très rarement 3

Echelle KOOS (*Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*)

INSTRUCTIONS

Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptômes

Ces questions concernent vos symptômes au cours des **huit derniers jours**.

S1. Est-ce que votre genou gonfle?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

S2. Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S3. Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S4. Pouvez-vous étendre votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

S5. Pouvez-vous plier votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des **huit derniers jours**.

La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S6. Le matin au réveil, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

S7. Après être resté(e) assis(e), couché(e), ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais	Une fois par mois	Une fois par semaine	Tous les jours	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P3. En étendant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P4. En pliant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P7. Au lit la nuit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P9. En restant debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A2. Monter les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A3. Vous relever d'une position assise

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A4. Rester debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A6. Marcher sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A7. Monter ou descendre de voiture

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A8. Faire vos courses

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A10. Sortir du lit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A14. Rester assis(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols,...)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière,...).
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Activités, sport et loisirs

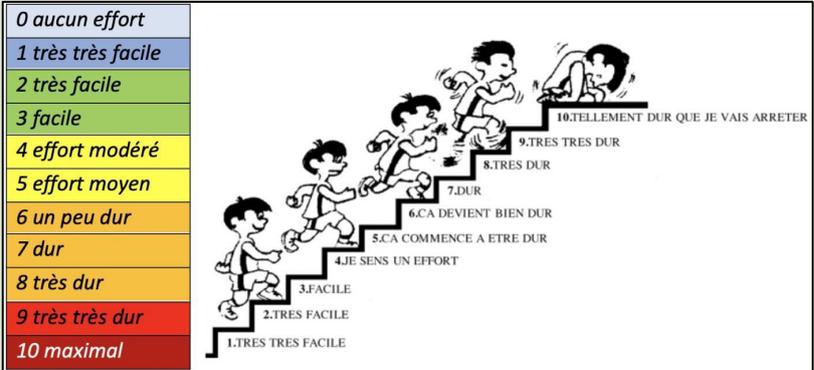
Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

- SP1. Rester accroupi(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP2. Courir
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP3. Sauter
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP5. Rester à genoux
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Qualité de vie

- Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jamais | Une fois par mois | Une fois par semaine | Tous les jours | Tout le temps |
| <input type="checkbox"/> |
- Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Extrêmement |
| <input type="checkbox"/> |

Exercices de référence

Quadriceps 	15RM	
	Type de résistance	
	Remarques	
Ischio-Jambiers 	15RM	
	Type de résistance	
	Remarques	
RPE	Pouvez-vous indiquer l'effort que vous a demandé la séance :	
		

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Séance 20

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 8 RM
Quadriceps 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 20

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Aucune Douleur</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 8 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 21

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>						
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 60%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur				Douleur Maximale Imaginable	
Aucune Douleur				Douleur Maximale Imaginable			

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 8 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 22

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 8 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 23

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 8 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 24

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 8 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 25

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 8 RM
Quadriceps 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers 			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 26

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>			
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Aucune Douleur</td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="width: 10%; padding: 5px;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement contre résistance (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

	Code exercice	Charge (kg)	Répétitions	Objectif : 8 RM
Quadriceps			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	
Ischio-Jambiers			Série 1	
			Série 2	
			Série 3	
			Série 4	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 27 : évaluations + contenu

Date	____ / ____ / ____		
Mesures cliniques			
		Côté blessé	Côté sain
Amplitude articulaire (°)	Flexion		
	Extension		
Volume du genou (cm)	Milieu patella		
	Bord sup + 7 cm		
	Bord sup + 15 cm		
Mesures auto-rapportées			
SANE	À combien évaluez-vous votre genou <u>aujourd'hui</u> sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal) Réponse <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>		
EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>		
	Aucune Douleur	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	Douleur Maximale Imaginable

Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code



Cahier de suivi			
Événements	Entourer		Précisions
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Echelle HAD (*Hospital Anxiety and Depression*)

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps	3
- Souvent	2
- De temps en temps	1
- Jamais	0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant	0
- Pas autant	1
- Un peu seulement	2
- Presque plus	3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement	3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave	2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas	1
- Pas du tout	0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé	0
- Plus autant qu'avant	1
- Vraiment moins qu'avant	2
- Plus du tout	3

5. Je me fais du souci

- Très souvent	3
- Assez souvent	2
- Occasionnellement	1
- Très occasionnellement	0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais	3
- Rarement	2
- Assez souvent	1
- La plupart du temps	0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive	0
- Oui, en général	1
- Rarement	2
- Jamais	3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours	3
- Très souvent	2
- Parfois	1
- Jamais	0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais	0
- Parfois	1
- Assez souvent	2
- Très souvent	3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout	3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais	2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention	1
- J'y prête autant d'attention que par le passé	0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas	3
- Un peu	2
- Pas tellement	1
- Pas du tout	0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant	0
- Un peu moins qu'avant	1
- Bien moins qu'avant	2
- Presque jamais	3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent	3
- Assez souvent	2
- Pas très souvent	1
- Jamais	0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent	0
- Parfois	1
- Rarement	2
- Très rarement	3

Echelle KOOS (*Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*)

INSTRUCTIONS

Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptômes

Ces questions concernent vos symptômes au cours des **huit derniers jours**.

S1. Est-ce que votre genou gonfle?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

S2. Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S3. Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S4. Pouvez-vous étendre votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

S5. Pouvez-vous plier votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des **huit derniers jours**.

La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S6. Le matin au réveil, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

S7. Après être resté(e) assis(e), couché(e), ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais	Une fois par mois	Une fois par semaine	Tous les jours	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P3. En étendant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P4. En pliant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P7. Au lit la nuit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P9. En restant debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A2. Monter les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A3. Vous relever d'une position assise

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A4. Rester debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A6. Marcher sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A7. Monter ou descendre de voiture

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A8. Faire vos courses

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A10. Sortir du lit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A14. Rester assis(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols,...)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière,...).
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Activités, sport et loisirs

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

- SP1. Rester accroupi(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP2. Courir
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP3. Sauter
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP5. Rester à genoux
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

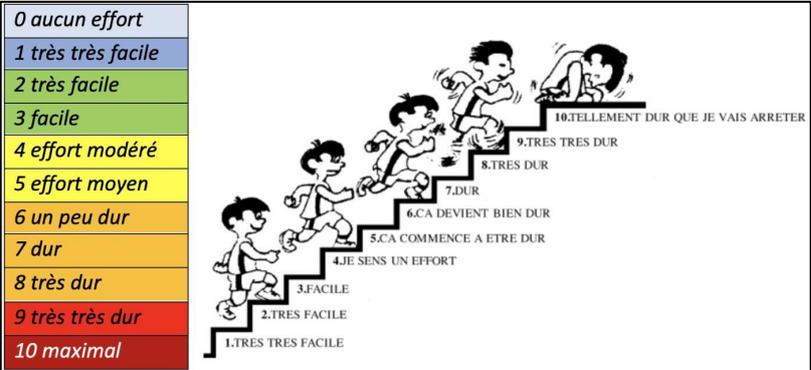
Qualité de vie

- Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jamais | Une fois par mois | Une fois par semaine | Tous les jours | Tout le temps |
| <input type="checkbox"/> |
- Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Extrêmement |
| <input type="checkbox"/> |

Echelle SPTS (*Sensitivity to Pain Traumatization*)

	Mauvais	Assez bon	Bon	Très bon	Excellent
Facilité des procédures administratives	<input type="checkbox"/>				
Courtoisie et capacité à aider des personnels administratifs	<input type="checkbox"/>				
Simplicité de programmation du premier rendez-vous	<input type="checkbox"/>				
Capacité du kinésithérapeute à vous mettre à l'aise et à vous rassurer	<input type="checkbox"/>				
Explications sur ce qui sera fait durant le traitement	<input type="checkbox"/>				
Qualité de l'information reçue en ce qui concerne le futur	<input type="checkbox"/>				
Sentiment de sécurité durant le traitement	<input type="checkbox"/>				
Niveau de perception sur l'adaptation du traitement à votre pathologie	<input type="checkbox"/>				
Facilité d'accès aux soins de kinésithérapie	<input type="checkbox"/>				
Informations pour vous aider à vous orienter dans le cabinet/clinique de soins	<input type="checkbox"/>				
Confort de la pièce	<input type="checkbox"/>				
Atmosphère calme et relaxante de la pièce	<input type="checkbox"/>				
Vos soins de kinésithérapie en général	<input type="checkbox"/>				
	Certainement pas	Probablement pas	Pas certain	Probablement	Certainement
Recommanderiez-vous ce cabinet/clinique à des personnes de votre entourage ?	<input type="checkbox"/>				

Exercices de référence

Quadriceps 	15RM	
	Type de résistance	
	Remarques	
Ischio-Jambiers 	15RM	
	Type de résistance	
	Remarques	
RPE	Pouvez-vous indiquer l'effort que vous a demandé la séance :	
		

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Suivi post-opératoire

Recommandations pour le suivi de la rééducation post-opératoire

Objectifs de la rééducation post-opératoire

Références : Filbay & Grindem (2019) *Best Prac Res Clin Rheum* ; Kotsifaki et al (2023) *Brit J Sport Med* ; van Melick et al (2016) *Brit J Sport Med* ; Shaarani et al (2013) *Am J Sport Med*

3 phases de rééducation :

- Phase 1 : (J1 à J14) suites chirurgicales
- Phase 2 : (J15 à M6) récupérer les capacités
- Phase 3 : (M6 à ...) retrouver les activités + prévenir long-terme

Dates et délais sont des repères

Approche personnalisée, et selon les besoins

Le passage d'une phase à l'autre : correspond à des critères fonctionnels

Activités clés (post-opératoire)

Reprise de la conduite automobile

- Capacité à appuyer sur la pédale de frein, en situation d'urgence sans douleur
- Validation médicale
- Délai approximatif après chirurgie :
 - Côté droit : 4–6 semaines
 - Côté gauche : 2–3 semaines

Reprise de la course à pied

- Mobilité de genou : 95% en flexion, 100% en extension
- Pas d'épanchement du genou
- Limb symmetry index (côté blessé vs sain) > 80% pour la force du Q
- Pas de douleur, lors d'un saut unipodal
- Course sans douleur en conditions allégées (si test préalable : Alter-G, Balnéothérapie...)
- Délai approximatif après chirurgie : ~ 12 semaines

Retour au sport

- Mobilité de genou : 100% flexion, 100% extension
- Pas de douleur, pas d'épanchement
- Fonctions (motrices, mentales) normales
- Limb symmetry index (côté blessé vs sain) > 90% pour la force du Q ; 100% (isokinetic concentric 60°/sec) pour les sports/sollicitations importantes ; proche pré-opératoire (avant blessure, si références connues)
- Genou stable (Lachman, ou test de laxité instrumenté)
- Délai approximatif après chirurgie : indéterminé, individuel, avec reprise partielle et programmée/progressive

Éléments clés de la rééducation post-opératoire

Phase aigüe (j 1 – j 7)	
Objectifs principaux	Gérer la douleur et l'épanchement Augmenter l'amplitude de mobilité (flexion/extension) Augmenter la force musculaire Retrouver des capacités à se déplacer (marche, avec aide technique) Education thérapeutique
Modalités	Gestion de la charge, cryothérapie Mobilisation du genou, travail cicatriciel et circulaire Exercices de mobilisations passifs et actifs (e.g., quadriceps isométrie, active straight leg raise, prone hang, and heel slides, "écrase cousin", posture de genou) Neuromuscular electrical stimulation (NMES) + contraction volontaire Education et travail de l'appui en charge, du cycle de marche
Phase aigüe (j 7 – j 14)	
Objectifs principaux	Gérer la douleur et l'épanchement Retrouver les amplitudes articulaires : extension 100%, flexion à 110° Intensifier le travail neuromusculaire Marche indépendante
Modalités	<i>Précédent</i> + mobilisations (patella, tibio-fémorale) Travail en chaîne cinétique fermée 0-45° Travail en chaîne cinétique ouverte 90°-60° (e.g., minisquats, quadriceps/hamstring co-contraction, hamstring curls (standing and prone), multi-hip machine, leg-press or inclined sled) Travail de transfert d'appui (en bipodal) Exercices cardiorespiratoires (membres supérieurs, cycloergomètre avec sur-utilisation/compensation contralatéral ++) Augmenter le périmètre de marche sans créer de douleur/épanchement, sevrage progressif des aides techniques
Repère	Un manque de progression (en particulier en extension) une laxité importante, peuvent nécessiter de discuter avec le chirurgien.
Phase intermédiaire (semaines 3-4)	
Objectifs principaux	Contrôler / éviter la douleur et l'épanchement Mobilité du genou : flexion à 125° Intensifier le travail neuromusculaire (e.g. Blow Flow Restriction) Intensifier le travail cardiorespiratoire Débuter le travail d'équilibre/proprioception

	Marche physiologique
Modalités	<p><i>Précédent +</i> Travail isométrique à différents angles (90°, 60°, 30°) Heel rise / toe raise Exercices en chaîne cinétique fermée : mini-squats (augmenter le secteur de 20°-70 à 0-90°) Exercices bilatéraux (chaise contre le mur...) Equilibre et proprioception : contrôle moteur du mouvement/appui (balance board bilatéral, appui unipodal) sur une surface ferme; pas chassés/fentes dans l'axe (eg, avec des cônes : en avant, en arrière, sur le côté) Exercices cardiorespiratoires (membres supérieurs, cycloergomètre en utilisant le côté opéré dès retour à 110° flexion, pas/peu de résistance) Balnéothérapie & marche</p>
Phase intermédiaire (semaines 5-6)	
Objectifs principaux	<p>Contrôler / éviter la douleur et l'épanchement Mobilité du genou : flexion à 135° Intensifier le travail neuromusculaire (e.g. endurance) Intensifier le travail cardiorespiratoire Intensifier le travail d'équilibre/proprioception</p>
Modalités	<p><i>Précédent +</i> Augmenter le nombre : reps/resistance/series pour le travail isométrique, heel/toe raises, hamstring curls, knee extension (90 à 60°), wall-sits, mini-squats, multi-hip machine, leg press or inclined-sled (70-10°) Exercices en chaîne cinétique ouverte : secteur 90°-45° Equilibre et proprioception : Double et simple appui, surface ferme Marche physiologique sans compensations</p>
Phase intermédiaire (semaines 7-8)	
Objectifs principaux	<p>Contrôler / éviter la douleur et l'épanchement Mobilité du genou : physiologique Intensifier le travail neuromusculaire Intensifier le travail cardiorespiratoire Intensifier le travail d'équilibre/proprioception ~ 20 minutes de marche (dans le quotidien) sans douleur</p>
Modalités	<p><i>Précédent</i> + progression dans les reps/resistance/séries Hamstring curls, knee extension (90°-60°), Leg press (70°-10°), multi-hip machine, lateral step-ups et exercices en chaîne cinétique fermée Equilibre et proprioception : Balance board, single-leg, marche avec résistance (eg bande/élastique), jeté de ballon...</p>

	Augmenter le travail cardiorespiratoire, en particulier le cycloergomètre
Phase intermédiaire (semaines 9-12)	
Objectifs principaux	Activités de la vie quotidienne : indépendance Augmenter les gains de force maximale, et en endurance + en équilibre/proprioception + cardiorespiratoires + adaptations selon les besoins/activités individuelles du patient
Modalités	Exercices de mobilité Renforcement musculaire: continuer + progressions en résistance, reps et séries. Equilibre et proprioception: travail unipodal, trampoline ... Exercices cardiorespiratoires : précédents + marche (avant/arrière) + sur tapis
Repère	En fin de phase : considérer s'il est possible ou non de débiter la course à pied dans l'axe (cf critères)
Phase intermédiaire (mois 3 à mois 6)	
Objectifs principaux	Augmenter les gains de force maximale, et en endurance + en équilibre/proprioception + cardiorespiratoires Débiter les exercices en chaîne cinétique ouverte, vers l'extension complète Préparer au retour au sport Individualiser
Modalités	Renforcement musculaire: continuer + progressions en résistance, reps et séries. Equilibre et proprioception Débiter la course à pied : augmenter progressivement en vitesse et distance ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, vitesse normale; $\frac{1}{2}$, 1, 1.5 km) Débiter des mouvements pivots, selon ce qui est approprié (lateral running, figure 8s) Exercices pliométriques, selon ce qui est approprié (capacités de force maximale nécessaires): hop, jump, box hops, burpees... Mouvements sportifs : selon le sport et exigences / patient + demandes athlétiques
Phase tardive (mois 6 à mois 12)	
Objectifs principaux	Augmenter les gains de force maximale, et en endurance + en équilibre/proprioception + cardiorespiratoires Retour au sport
Modalités	Renforcement musculaire: continuer + progressions en résistance, reps et séries. Equilibre et proprioception Course à pied : interval running (tempo 3:1), course en marche arrière Intensifier les exercices pliométriques : unilateral hopping, jumping, box hops, depth jumps, leap frogs, burpees... Mouvements sportifs : selon le sport et exigences / patient + demandes athlétiques
Milestone	Considérer la reprise du sport (cf critères) Réathlétisation et progressivité dans la reprise du sport

Suivi post-opératoire : J7

Date			
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Suivi post-opératoire : J 30

Date			
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Suivi post-opératoire : J 60

Date			
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Suivi post-opératoire : J 90

Date				____ / ____ / ____
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 120

Date			
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Suivi post-opératoire : J 150

Date				____ / ____ / ____
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 180

Date				____ / ____ / ____
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 210

Date			
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Suivi post-opératoire : J 240

Date				____ / ____ / ____
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 270

Date				____ / ____ / ____
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 300

Date				____ / ____ / ____
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 330

Date			
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Suivi post-opératoire : J 360

Date				____ / ____ / ____
<i>Événements</i>	<i>Entourer</i>		<i>Précisions</i>	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Étude K-Pop

carnet de suivi



contact :

antoine.frouin@univ-nantes.fr

guillaume.le-sant@univ-nantes.fr

Informations personnelles

Date de lésion :

Type de lésion (rayer les mentions inutiles) : isolée / ménisque /
collatéral / œdème osseux/ fissure /autre

Profession :

Sport pratiqué :

Niveau de pratique (rayer les mentions inutiles) : Loisir / Départemental /
Régional / National / International

Médecin du sport :

Médecin traitant :

Cabinet de kinésithérapie (nom) :

Kinésithérapeute référent :

Date de chirurgie :

Type d'opération :

Chirurgien :

Sommaire

Objectifs de la rééducation pre-opératoire	1
PROGRAMME	1
Séance-type en phase pré-opératoire (60 minutes)	2
Exercices de référence (mesure de la 15-RM)	8
Présentation des exercices de référence (calcul 15RM uniquement).....	9
Mesures à collecter durant le suivi du patient	11
Suivi des séances	16
Objectifs de la rééducation post-opératoire	72
Activités clés (post-opératoire)	72

Groupe 1 : Entraînement conventionnel

Objectifs de la rééducation pre-opératoire

- Récupération des amplitudes articulaires
- Diminution des douleurs
- Diminution de l'œdème
- Maintien du volume musculaire
- Développement des capacités neuromusculaires

PROGRAMME

Phase 1 (S1-S3) :

Marche
Mobilité active
Equilibre

Phase 2 (S4-S6) :

Phase 1 +
Exercices dynamiques,
proprioceptifs,
plyométriques

Phase 3 (S7-S9) :

Phase 1,2 +
Entraînement à poids
de corps + sauts
+ course

Séance-type en phase pré-opératoire (60 minutes)

- 10 min : Massage / mobilisation
- 5 min : Échauffement sur ergomètre
- **30 min : Entraînement conventionnel (cf programme)**
- 5 min : Physiothérapie antalgique

Précisions : au cours d'une séance...

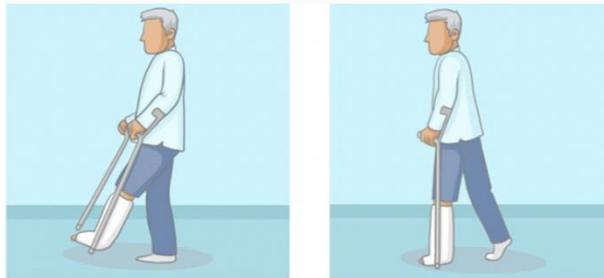
- Au cours des phases 1 et 2 (S1-S6) réaliser des exercices parmi la liste proposée sur une durée totale de 30 minutes
- Au cours de la phase 3 (S7-S9) réaliser à chaque séance 2*10 répétitions au poids de corps (n°9) et compléter les 30 minutes de séance avec des exercices choisis parmi la liste proposée
- Reporter les conditions et la durée de réalisation de chaque exercice dans le tableau prévu à cet effet

Présentation des exercices :

Phase 1 : semaines 1 à 3

Schéma de marche

1A_Marche avec 2 cannes anglaises / 1B_1 canne anglaise / 1C_sans cannes anglaises



Flexion / extension de genou

2A_Flexion assis



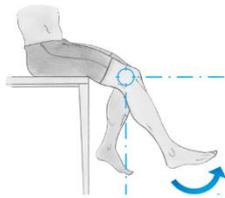
2B_Flexion sur le ventre



2C_Flexion sur le dos



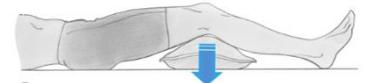
2D_Extension assis



2E_Extension sur le ventre

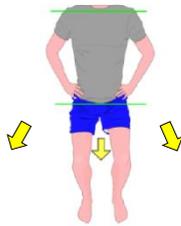


2F_Extension sur le dos



Répartition du poids de corps

3A_Déplacement du CdG



3B_Exercice type SEBT



Équilibre unipodal

Remarque : pour cette catégorie, préciser si l'exercice a été réalisé les yeux fermés (YF) ou ouverts (YO). Exemple : l'exercice 8B réalisé à l'aveugle se note alors 4B-yf.

4A_sol dur



4B_sur mousse



4C_sur bosu



Ergomètre

5A_Cycloergomètre



5B_vélo elliptique



5C_rameur



Phase 2 : semaines 4 à 6

Schéma de squat

6A_bilatéral



6B_unilatéral



Renforcement charge légère ischio-jambiers

Remarque : les exercices 7B et 7C se réalisent en bilatéral.

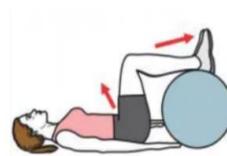
7A_lesté cheville



7B_TRX



7C_ballon de Klein



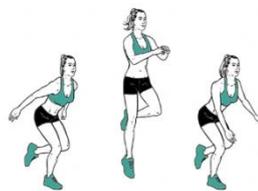
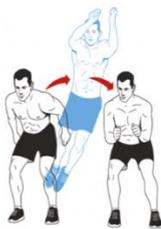
7D_élastique



Exercices proprioceptifs

Remarque : pour cette catégorie, préciser si l'exercice a été réalisé les yeux fermés (YF) ou ouverts (YO). Exemple : l'exercice 8B réalisé à l'aveugle se note alors 8B-yf.

8A_saut latéral bipodal / 8B_unipodal



8C_saut de face bipodal / 8D_unipodal



Phase 3 : semaines 7 à 9

Entrainement au poids de corps

*Remarque 1 : réaliser 2 * 10 répétitions de chaque exercice à chaque séance.
Résistance nulle ou négligeable si ajout d'un élastique ou autre.*

Remarque 2 : réaliser le glider (9B) en bilatéral, dissocié gauche /droite ou non.

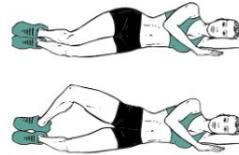
9A_Squat



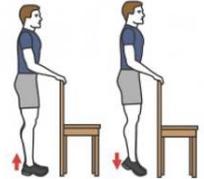
9B_glider



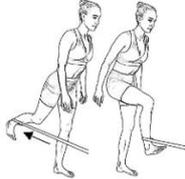
9C_ moyen fessier



9D_mollet



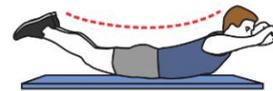
9E_grand fessier



9F_crunch



9G_superman



Exercices dynamiques proprioceptifs

Remarque : pour cette catégorie, préciser si l'exercice a été réalisé les yeux fermés (YF) ou ouverts (YO), en bilatéral (B) ou unilatéral (U). Exemple : l'exercice 10B réalisé les yeux ouverts en unilatéral se note alors 10B-YO-U.

10A_échelle de rythme



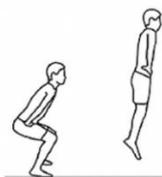
10B_ réception de saut



10C_drop jump



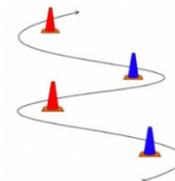
10D_squat jump



10E_ countermovement jump

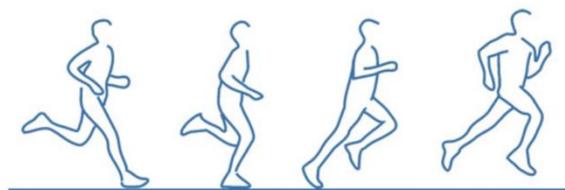


10F_changements de direction



Course à pied

11A_course à pied



Vidéos des exercices du programme accessibles via le QR code



Exercices de référence (mesure de la 15-RM)

- Cette mesure permet d'évaluer la progression durant le programme
- Le test doit être réalisé :
 - Lors des sessions : 1, 10, 19 et 27
 - En début de séance
 - En utilisant toujours les mêmes exercices : trouver la 15-RM de chaque exercices (Q, et IJ)
- Rapporter les résultats aux emplacements prévus dans le carnet

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



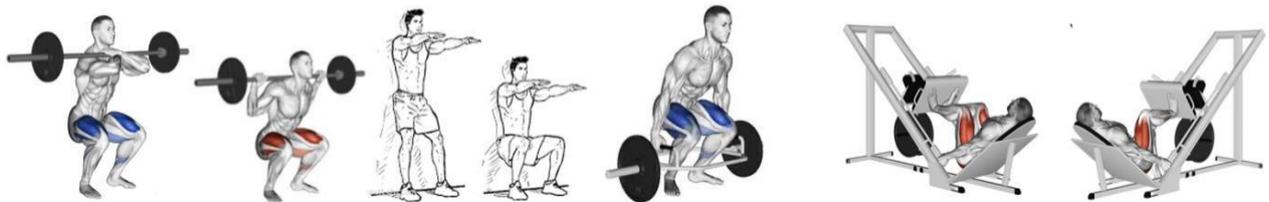
Présentation des exercices de référence (calcul 15RM uniquement)



Quadriceps

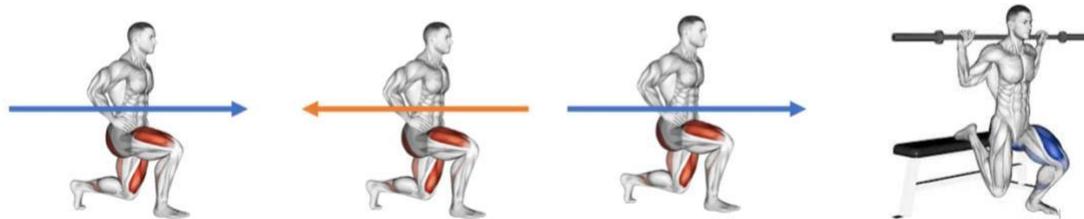
Pattern de mouvement : squat

1A_Frontsquat **1B_Backsquat** **1C_Wallsquat** **1D_Trapbarsquat** **1E_Legpress bilatéral / 1F_unilatéral**



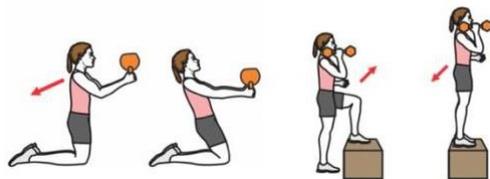
Pattern de mouvement : lunges

2A_Frontlunges **2B_Backlunges** **2C_Walkinglunges** **2D_Bulgariansplitsquat**



Pattern de mouvement : reverse curl /step up

3A_Reverse nordic **3B_Step Up**



Pattern de mouvement : leg extension

4A_Leg extension bilatéral **4B_Leg extension unilatéral**

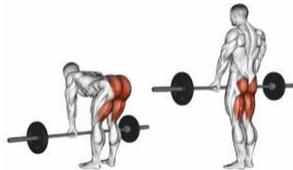




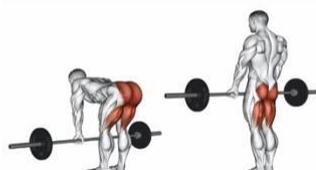
Ischio-Jambiers

Pattern de mouvement : deadlift

6A_Stiffleg Deadlift



6B_Romanian Deadlift



6C_Good Morning



6D_Diver



Pattern de mouvement : leg curl

7A_Seated leg curl bilatéral / 7B_unilatéral



7C_Lying leg curl bilatéral / 7D_unilatéral

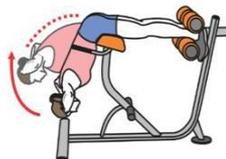


Pattern de mouvement : autre/ glissements/ leviers à la hanche

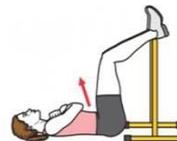
8A_Glider bilatéral / 8B_unilatéral



8C_GlutHam



8D_Bridge bilatéral / 8E_unilatéral



8F_Hip extension

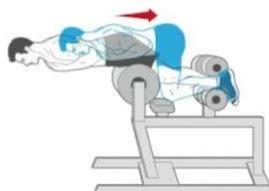


Pattern de mouvement : nordic hamstring

9A_Nordic Hamstring



9B_Razor Nordic Hamstring



9C_Good morning Nordic Hamstring



Mesures à collecter durant le suivi du patient

1. Mesures cliniques

Amplitude articulaire : goniométrie en flexion

Référence : Rohstein et al., 1983

- Pour les deux genoux
- Repères anatomiques goniomètre
 - Centre de rotation : épicondyle latéral
 - Branches : Épicondyle latéral / Malléole latérale
- En décubitus dorsal, hanche à 90°
- Mobilisation passive, lente du genou
- Angle maximal : au seuil apparition de la douleur
- Indiquer la mesure à 1° près



Amplitude articulaire : goniométrie en extension

Référence : Rohstein et al., 1983

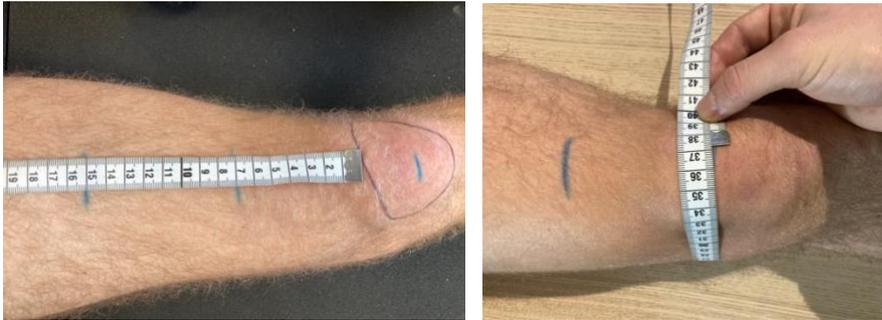
- Pour les deux genoux
- Repères anatomiques goniomètre
 - Centre de rotation : épicondyle latéral
 - Branches : Épicondyle latéral / Malléole latérale
- En décubitus dorsal, hanche à 0°
- Mobilisation passive, lente du genou
- Angle maximal : au seuil apparition de la douleur
- Indiquer la mesure à 1° près



Volume du genou : périmétrie

Référence : Nicholas et al., 1976

- Pour les deux genoux
- Tracer 3 traits
 - centre patella
 - base supérieure patella + 7 cm
 - base supérieure patella + 15 cm
- Périmétrie au niveau des traits, avec un mètre ruban, sans comprimer
- Indiquer la mesure à 0,1 cm près



Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code

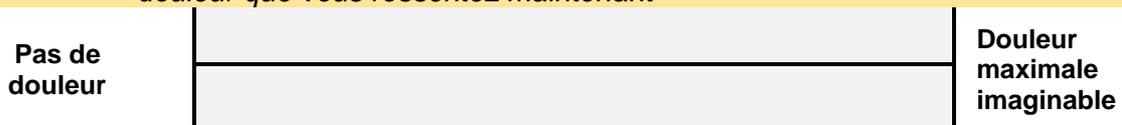


2. Mesures auto-rapportées : unidimensionnelles

Échelle visuelle analogique (EVA)

Référence : Crichton., 2001

- Demander au patient d'évaluer son niveau de douleur, au début de chaque séance
- Consignes :
 - Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur
 - Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant



État de santé lié au genou, global (SANE)

Référence : Williams et al., 2000

- Pas que lié à la douleur (sur le quotidien, etc...)
- Consigne :
 - Pouvez-vous répondre à cette question, qui concerne votre état de santé lié au genou, s'il vous plaît ?

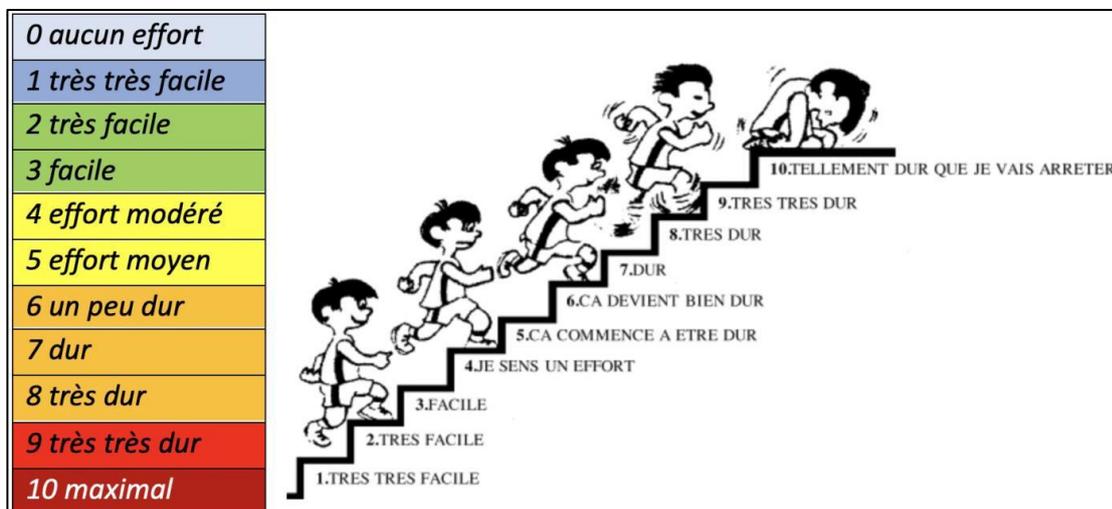
À combien évaluez-vous votre genou aujourd'hui sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal)

Réponse :

Échelle de perception de l'effort (RPE)

Référence : Borg, 1978

- Permet d'évaluer le niveau d'effort durant l'exercice/le mouvement
- Consigne :
 - Pouvez-vous indiquer le niveau d'effort que vous demande de faire ... s'il vous plaît ?



3. Mesures auto-rapportées: multidimensionnelles

Questionnaires

- Des questionnaires seront à faire remplir par les patients au cours de certaines séances
- Ils permettront de mesurer :
 - La qualité de vie (KOOS) : 25 questions
 - Le niveau d'anxiété et de dépression (HAD) : 14 questions
 - La satisfaction avec les soins (PTSPT) : 14 questions
- Total temps de passation : 20 minutes
- Consignes :
 - Pouvez-vous remplir ces questionnaires s'il vous plait ?

Références : Ornetti et al 2008 ; Roberge et al 2013 ; Monnin & Perneger 2002

Journal / Cahier

- Certains événements clés de l'évolution de la situation seront suivis au cours de la rééducation
 - Consommation de soins
 - Activités
- Un tableau récapitulatif permettra de noter : les dates (début/arrêt) et caractéristiques associées à ces événements

Suivi		
Événements	Entourer	Précisions
Médicaments	Oui Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires		

Suivi des séances

Exemple de remplissage

Séance X					
Date	12 / 12 / 2024				
Mesures auto-rapportées					
EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>				
	Aucune Douleur	-----			Douleur Maximale Imaginable
10 min : Massage / mobilisation 5 min : Échauffement sur ergomètre 30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous) 15 min : Physiothérapie antalgique					
Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)
1A	Canne anglaise				10
2B	Chaise et ballon pour travail de flexion		5	10	10
2E	Sur table		4	10	10
RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :				
	Réponse :	8			
Remarques générales (séance)	Exo supplémentaire (Moyen fessier) en abduction en decubitus sur table (10kg de charge, 4 séries de 10 reps)				

Séance 1 : début du programme (évaluations + contenu)

Date	____ / ____ / ____		
Mesures cliniques			
		Côté blessé	Côté sain
Amplitude articulaire (°)	Flexion		
	Extension		
Volume du genou (cm)	Milieu patella		
	Bord sup + 7 cm		
	Bord sup + 15 cm		
Mesures auto-rapportées			
SANE	À combien évaluez-vous votre genou <u>aujourd'hui</u> sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal) Réponse <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>		
EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>		
	Aucune Douleur	<input style="width: 500px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/>	Douleur Maximale Imaginable

Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code



Cahier de suivi			
Événements	Entourer		Précisions
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Echelle HAD (*Hospital Anxiety and Depression*)

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps 3
- Souvent 2
- De temps en temps 1
- Jamais 0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant 0
- Pas autant 1
- Un peu seulement 2
- Presque plus 3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement 3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave 2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas 1
- Pas du tout 0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé 0
- Plus autant qu'avant 1
- Vraiment moins qu'avant 2
- Plus du tout 3

5. Je me fais du souci

- Très souvent 3
- Assez souvent 2
- Occasionnellement 1
- Très occasionnellement 0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais 3
- Rarement 2
- Assez souvent 1
- La plupart du temps 0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive 0
- Oui, en général 1
- Rarement 2
- Jamais 3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours 3
- Très souvent 2
- Parfois 1
- Jamais 0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais 0
- Parfois 1
- Assez souvent 2
- Très souvent 3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout 3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais 2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention 1
- J'y prête autant d'attention que par le passé 0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas 3
- Un peu 2
- Pas tellement 1
- Pas du tout 0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant 0
- Un peu moins qu'avant 1
- Bien moins qu'avant 2
- Presque jamais 3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent 3
- Assez souvent 2
- Pas très souvent 1
- Jamais 0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent 0
- Parfois 1
- Rarement 2
- Très rarement 3

Echelle KOOS (*Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*)

INSTRUCTIONS

Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptômes

Ces questions concernent vos symptômes au cours des **huit derniers jours**.

S1. Est-ce que votre genou gonfle?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

S2. Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S3. Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S4. Pouvez-vous étendre votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

S5. Pouvez-vous plier votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des **huit derniers jours**.

La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S6. Le matin au réveil, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

S7. Après être resté(e) assis(e), couché(e), ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais	Une fois par mois	Une fois par semaine	Tous les jours	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P3. En étendant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P4. En pliant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P7. Au lit la nuit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P9. En restant debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A2. Monter les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A3. Vous relever d'une position assise

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A4. Rester debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A6. Marcher sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A7. Monter ou descendre de voiture

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A8. Faire vos courses

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A10. Sortir du lit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A14. Rester assis(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols,...)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière,...).
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Activités, sport et loisirs

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

- SP1. Rester accroupi(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP2. Courir
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP3. Sauter
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP5. Rester à genoux
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Qualité de vie

- Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jamais | Une fois par mois | Une fois par semaine | Tous les jours | Tout le temps |
| <input type="checkbox"/> |
- Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Extrêmement |
| <input type="checkbox"/> |

Exercices de référence

Quadriceps 	15RM											
	Type de résistance											
	Remarques											
Ischio-Jambiers 	15RM											
	Type de résistance											
	Remarques											
RPE	<p>Pouvez-vous indiquer l'effort que vous a demandé la séance :</p>											
	<table border="1"> <tr><td>0 aucun effort</td></tr> <tr><td>1 très très facile</td></tr> <tr><td>2 très facile</td></tr> <tr><td>3 facile</td></tr> <tr><td>4 effort modéré</td></tr> <tr><td>5 effort moyen</td></tr> <tr><td>6 un peu dur</td></tr> <tr><td>7 dur</td></tr> <tr><td>8 très dur</td></tr> <tr><td>9 très très dur</td></tr> <tr><td>10 maximal</td></tr> </table>	0 aucun effort	1 très très facile	2 très facile	3 facile	4 effort modéré	5 effort moyen	6 un peu dur	7 dur	8 très dur	9 très très dur	10 maximal
0 aucun effort												
1 très très facile												
2 très facile												
3 facile												
4 effort modéré												
5 effort moyen												
6 un peu dur												
7 dur												
8 très dur												
9 très très dur												
10 maximal												

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Séance 2

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 3

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 4

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 5

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

Remarques
générales
(séance)

Séance 6

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 7

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

Remarques
générales
(séance)

Séance 8

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 9

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 10 : passage à la phase 2 (évaluations + contenu)

Date	____ / ____ / ____	
-------------	--------------------	--

Mesures cliniques			
		Côté blessé	Côté sain
Amplitude articulaire (°)	Flexion		
	Extension		
Volume du genou (cm)	Milieu patella		
	Bord sup + 7 cm		
	Bord sup + 15 cm		

Mesures auto-rapportées				
SANE	<p>À combien évaluez-vous votre genou <u>aujourd'hui</u> sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal)</p> <p>Réponse <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/></p>			
EVA	<p>Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 15%; padding: 5px; text-align: center;">Aucune Douleur</td> <td style="width: 70%;"></td> <td style="width: 15%; padding: 5px; text-align: center;">Douleur Maximale Imaginable</td> </tr> </table>	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable
Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable		

Vidéos explicatives des mesures accessibles via le
QR Code



Cahier de suivi			
Événements	Entourer		Précisions
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Echelle HAD (*Hospital Anxiety and Depression*)

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps	3
- Souvent	2
- De temps en temps	1
- Jamais	0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant	0
- Pas autant	1
- Un peu seulement	2
- Presque plus	3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement	3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave	2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas	1
- Pas du tout	0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé	0
- Plus autant qu'avant	1
- Vraiment moins qu'avant	2
- Plus du tout	3

5. Je me fais du souci

- Très souvent	3
- Assez souvent	2
- Occasionnellement	1
- Très occasionnellement	0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais	3
- Rarement	2
- Assez souvent	1
- La plupart du temps	0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive	0
- Oui, en général	1
- Rarement	2
- Jamais	3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours	3
- Très souvent	2
- Parfois	1
- Jamais	0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais	0
- Parfois	1
- Assez souvent	2
- Très souvent	3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout	3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais	2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention	1
- J'y prête autant d'attention que par le passé	0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas	3
- Un peu	2
- Pas tellement	1
- Pas du tout	0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant	0
- Un peu moins qu'avant	1
- Bien moins qu'avant	2
- Presque jamais	3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent	3
- Assez souvent	2
- Pas très souvent	1
- Jamais	0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent	0
- Parfois	1
- Rarement	2
- Très rarement	3

Echelle KOOS (*Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*)

INSTRUCTIONS

Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptômes

Ces questions concernent vos symptômes au cours des **huit derniers jours**.

S1. Est-ce que votre genou gonfle?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

S2. Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S3. Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S4. Pouvez-vous étendre votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

S5. Pouvez-vous plier votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des **huit derniers jours**.

La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S6. Le matin au réveil, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

S7. Après être resté(e) assis(e), couché(e), ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais	Une fois par mois	Une fois par semaine	Tous les jours	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P3. En étendant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P4. En pliant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P7. Au lit la nuit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P9. En restant debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A2. Monter les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A3. Vous relever d'une position assise

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A4. Rester debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A6. Marcher sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A7. Monter ou descendre de voiture

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A8. Faire vos courses

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A10. Sortir du lit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A14. Rester assis(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols,...)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière,...).
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Activités, sport et loisirs

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

- SP1. Rester accroupi(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP2. Courir
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP3. Sauter
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP5. Rester à genoux
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Qualité de vie

- Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jamais | Une fois par mois | Une fois par semaine | Tous les jours | Tout le temps |
| <input type="checkbox"/> |
- Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Extrêmement |
| <input type="checkbox"/> |

Exercices de référence

Quadriceps 	15RM											
	Type de résistance											
	Remarques											
Ischio-Jambiers 	15RM											
	Type de résistance											
	Remarques											
RPE	<p>Pouvez-vous indiquer l'effort que vous a demandé la séance :</p>											
	<table border="1"> <tr><td>0 aucun effort</td></tr> <tr><td>1 très très facile</td></tr> <tr><td>2 très facile</td></tr> <tr><td>3 facile</td></tr> <tr><td>4 effort modéré</td></tr> <tr><td>5 effort moyen</td></tr> <tr><td>6 un peu dur</td></tr> <tr><td>7 dur</td></tr> <tr><td>8 très dur</td></tr> <tr><td>9 très très dur</td></tr> <tr><td>10 maximal</td></tr> </table>	0 aucun effort	1 très très facile	2 très facile	3 facile	4 effort modéré	5 effort moyen	6 un peu dur	7 dur	8 très dur	9 très très dur	10 maximal
0 aucun effort												
1 très très facile												
2 très facile												
3 facile												
4 effort modéré												
5 effort moyen												
6 un peu dur												
7 dur												
8 très dur												
9 très très dur												
10 maximal												

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Séance 11

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 12

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 13

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 14

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 15

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 16

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 17

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 18

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 19 : passage à la phase 3 (évaluations + contenu)

Date	____ / ____ / ____		
Mesures cliniques			
		Côté blessé	Côté sain
Amplitude articulaire (°)	Flexion		
	Extension		
Volume du genou (cm)	Milieu patella		
	Bord sup + 7 cm		
	Bord sup + 15 cm		
Mesures auto-rapportées			
SANE	À combien évaluez-vous votre genou <u>aujourd'hui</u> sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal)		
	Réponse		
EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>		
	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable

Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code



Cahier de suivi			
Événements	Entourer		Précisions
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Echelle HAD (*Hospital Anxiety and Depression*)

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps 3
- Souvent 2
- De temps en temps 1
- Jamais 0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant 0
- Pas autant 1
- Un peu seulement 2
- Presque plus 3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement 3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave 2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas 1
- Pas du tout 0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé 0
- Plus autant qu'avant 1
- Vraiment moins qu'avant 2
- Plus du tout 3

5. Je me fais du souci

- Très souvent 3
- Assez souvent 2
- Occasionnellement 1
- Très occasionnellement 0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais 3
- Rarement 2
- Assez souvent 1
- La plupart du temps 0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive 0
- Oui, en général 1
- Rarement 2
- Jamais 3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours 3
- Très souvent 2
- Parfois 1
- Jamais 0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais 0
- Parfois 1
- Assez souvent 2
- Très souvent 3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout 3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais 2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention 1
- J'y prête autant d'attention que par le passé 0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas 3
- Un peu 2
- Pas tellement 1
- Pas du tout 0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant 0
- Un peu moins qu'avant 1
- Bien moins qu'avant 2
- Presque jamais 3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent 3
- Assez souvent 2
- Pas très souvent 1
- Jamais 0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent 0
- Parfois 1
- Rarement 2
- Très rarement 3

Echelle KOOS (*Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*)

INSTRUCTIONS

Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptômes

Ces questions concernent vos symptômes au cours des **huit derniers jours**.

S1. Est-ce que votre genou gonfle?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

S2. Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S3. Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S4. Pouvez-vous étendre votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

S5. Pouvez-vous plier votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des **huit derniers jours**.

La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S6. Le matin au réveil, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

S7. Après être resté(e) assis(e), couché(e), ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais	Une fois par mois	Une fois par semaine	Tous les jours	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P3. En étendant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P4. En pliant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P7. Au lit la nuit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P9. En restant debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A2. Monter les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A3. Vous relever d'une position assise

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A4. Rester debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A6. Marcher sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A7. Monter ou descendre de voiture

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A8. Faire vos courses

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A10. Sortir du lit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A14. Rester assis(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols,...)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière,...).
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Activités, sport et loisirs

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

- SP1. Rester accroupi(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP2. Courir
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP3. Sauter
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP5. Rester à genoux
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Qualité de vie

- Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jamais | Une fois par mois | Une fois par semaine | Tous les jours | Tout le temps |
| <input type="checkbox"/> |
- Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Extrêmement |
| <input type="checkbox"/> |

Exercices de référence

Quadriceps 	15RM											
	Type de résistance											
	Remarques											
Ischio-Jambiers 	15RM											
	Type de résistance											
	Remarques											
RPE	<p>Pouvez-vous indiquer l'effort que vous a demandé la séance :</p>											
	<table border="1"> <tr><td>0 aucun effort</td></tr> <tr><td>1 très très facile</td></tr> <tr><td>2 très facile</td></tr> <tr><td>3 facile</td></tr> <tr><td>4 effort modéré</td></tr> <tr><td>5 effort moyen</td></tr> <tr><td>6 un peu dur</td></tr> <tr><td>7 dur</td></tr> <tr><td>8 très dur</td></tr> <tr><td>9 très très dur</td></tr> <tr><td>10 maximal</td></tr> </table>	0 aucun effort	1 très très facile	2 très facile	3 facile	4 effort modéré	5 effort moyen	6 un peu dur	7 dur	8 très dur	9 très très dur	10 maximal
0 aucun effort												
1 très très facile												
2 très facile												
3 facile												
4 effort modéré												
5 effort moyen												
6 un peu dur												
7 dur												
8 très dur												
9 très très dur												
10 maximal												

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Séance 20

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)
9_A			10	2	
9_B			10	2	
9_C			10	2	
9_D			10	2	
9_E			10	2	
9_F			10	2	
9_G			10	2	

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

**Remarques
générales
(séance)**

Séance 21

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>	
	Aucune Douleur	

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)
9_A			10	2	
9_B			10	2	
9_C			10	2	
9_D			10	2	
9_E			10	2	
9_F			10	2	
9_G			10	2	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :		
	Réponse :		

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 22

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>	
	Aucune Douleur	Douleur Maximale Imaginable

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)
9_A			10	2	
9_B			10	2	
9_C			10	2	
9_D			10	2	
9_E			10	2	
9_F			10	2	
9_G			10	2	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :	
	Réponse :	

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 23

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>	
	Aucune Douleur	Douleur Maximale Imaginable

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)
9_A			10	2	
9_B			10	2	
9_C			10	2	
9_D			10	2	
9_E			10	2	
9_F			10	2	
9_G			10	2	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :	
	Réponse :	

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 24

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>	
	Aucune Douleur	Douleur Maximale Imaginable

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)
9_A			10	2	
9_B			10	2	
9_C			10	2	
9_D			10	2	
9_E			10	2	
9_F			10	2	
9_G			10	2	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :	
	Réponse :	

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 25

Date	___ / ___ / ___	
-------------	-----------------	--

Mesures auto-rapportées

EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>	
	Aucune Douleur	Douleur Maximale Imaginable

10 min : Massage / mobilisation
 5 min : Échauffement sur ergomètre
30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)
 15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)
9_A			10	2	
9_B			10	2	
9_C			10	2	
9_D			10	2	
9_E			10	2	
9_F			10	2	
9_G			10	2	

RPE	Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :	
	Réponse :	

Remarques générales (séance)	
-------------------------------------	--

Séance 26

Date

___ / ___ / ___

Mesures auto-rapportées

EVA

Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur.
Tracez, s'il vous plaît un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez maintenant

Aucune
Douleur

Douleur
Maximale
Imaginable

10 min : Massage / mobilisation

5 min : Échauffement sur ergomètre

30 min : Entraînement conventionnel (détail ci-dessous)

15 min : Physiothérapie antalgique

Exercice (code)	Matériel utilisé	Intensité	Nb répétitions	Nb séries	Durée (min)
9_A			10	2	
9_B			10	2	
9_C			10	2	
9_D			10	2	
9_E			10	2	
9_F			10	2	
9_G			10	2	

RPE

Indiquer le niveau d'effort perçu juste après la séance :

Réponse :

Remarques
générales
(séance)

Séance 27 : évaluations + contenu

Date	____ / ____ / ____		
Mesures cliniques			
		Côté blessé	Côté sain
Amplitude articulaire (°)	Flexion		
	Extension		
Volume du genou (cm)	Milieu patella		
	Bord sup + 7 cm		
	Bord sup + 15 cm		
Mesures auto-rapportées			
SANE	À combien évaluez-vous votre genou <u>aujourd'hui</u> sur une échelle de 0 à 100 ? (100 = un état normal)		
	Réponse		
EVA	Ceci est une échelle pour évaluer l'intensité de votre douleur. Tracez, s'il vous plait un trait vertical au niveau qui correspond à la douleur que vous ressentez <u>maintenant</u>		
	Aucune Douleur		Douleur Maximale Imaginable

Vidéos explicatives des mesures accessibles via le QR Code



Cahier de suivi			
Événements	Entourer		Précisions
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non
Commentaires			

Echelle HAD (*Hospital Anxiety and Depression*)

L'échelle HAD est un instrument qui permet de dépister les troubles anxieux et dépressifs. Elle comporte 14 items cotés de 0 à 3. Sept questions se rapportent à l'anxiété (total A) et sept autres à la dimension dépressive (total D), permettant ainsi l'obtention de deux scores (note maximale de chaque score = 21).

1. Je me sens tendu(e) ou énervé(e)

- La plupart du temps	3
- Souvent	2
- De temps en temps	1
- Jamais	0

2. Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois

- Oui, tout autant	0
- Pas autant	1
- Un peu seulement	2
- Presque plus	3

3. J'ai une sensation de peur comme si quelque chose d'horrible allait m'arriver

- Oui, très nettement	3
- Oui, mais ce n'est pas trop grave	2
- Un peu, mais cela ne m'inquiète pas	1
- Pas du tout	0

4. Je ris facilement et vois le bon côté des choses

- Autant que par le passé	0
- Plus autant qu'avant	1
- Vraiment moins qu'avant	2
- Plus du tout	3

5. Je me fais du souci

- Très souvent	3
- Assez souvent	2
- Occasionnellement	1
- Très occasionnellement	0

6. Je suis de bonne humeur

- Jamais	3
- Rarement	2
- Assez souvent	1
- La plupart du temps	0

7. Je peux rester tranquillement assis(e) à ne rien faire et me sentir décontracté(e)

- Oui, quoi qu'il arrive	0
- Oui, en général	1
- Rarement	2
- Jamais	3

8. J'ai l'impression de fonctionner au ralenti

- Presque toujours	3
- Très souvent	2
- Parfois	1
- Jamais	0

9. J'éprouve des sensations de peur et j'ai l'estomac noué

- Jamais	0
- Parfois	1
- Assez souvent	2
- Très souvent	3

10. Je ne m'intéresse plus à mon apparence

- Plus du tout	3
- Je n'y accorde pas autant d'attention que je devrais	2
- Il se peut que je n'y fasse plus autant attention	1
- J'y prête autant d'attention que par le passé	0

11. J'ai la bougeotte et n'arrive pas à tenir en place

- Oui, c'est tout à fait le cas	3
- Un peu	2
- Pas tellement	1
- Pas du tout	0

12. Je me réjouis d'avance à l'idée de faire certaines choses

- Autant qu'avant	0
- Un peu moins qu'avant	1
- Bien moins qu'avant	2
- Presque jamais	3

13. J'éprouve des sensations soudaines de panique

- Vraiment très souvent	3
- Assez souvent	2
- Pas très souvent	1
- Jamais	0

14. Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une bonne émission de radio ou de télévision

- Souvent	0
- Parfois	1
- Rarement	2
- Très rarement	3

Echelle KOOS (*Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score*)

INSTRUCTIONS

Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptômes

Ces questions concernent vos symptômes au cours des **huit derniers jours**.

S1. Est-ce que votre genou gonfle?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

S2. Ressentez-vous des ou entendez-vous des craquements ou n'importe quel autre type de bruit en bougeant le genou?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S3. Est-ce que votre genou accroche ou se bloque en bougeant?

Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
<input type="checkbox"/>				

S4. Pouvez-vous étendre votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

S5. Pouvez-vous plier votre genou complètement?

Toujours	Souvent	Parfois	Rarement	Jamais
<input type="checkbox"/>				

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des **huit derniers jours**.

La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S6. Le matin au réveil, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

S7. Après être resté(e) assis(e), couché(e), ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est:

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais	Une fois par mois	Une fois par semaine	Tous les jours	Tout le temps
<input type="checkbox"/>				

Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P3. En étendant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P4. En pliant complètement le genou

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P7. Au lit la nuit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

P9. En restant debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire. Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A2. Monter les escaliers

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A3. Vous relever d'une position assise

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A4. Rester debout

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A6. Marcher sur un terrain plat

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A7. Monter ou descendre de voiture

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A8. Faire vos courses

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A10. Sortir du lit

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)

Absente	Légère	Modérée	Forte	Extrême
<input type="checkbox"/>				

- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A14. Rester assis(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols,...)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière,...).
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Activités, sport et loisirs

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités. Au cours des **huit derniers jours**, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

- SP1. Rester accroupi(e)
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP2. Courir
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP3. Sauter
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |
- SP5. Rester à genoux
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Absente | Légère | Modérée | Forte | Extrême |
| <input type="checkbox"/> |

Qualité de vie

- Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Jamais | Une fois par mois | Une fois par semaine | Tous les jours | Tout le temps |
| <input type="checkbox"/> |
- Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Totalement |
| <input type="checkbox"/> |
- Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas du tout | Un peu | Modérément | Beaucoup | Extrêmement |
| <input type="checkbox"/> |

Echelle SPTS (*Sensitivity to Pain Traumatization*)

	Mauvais	Assez bon	Bon	Très bon	Excellent
Facilité des procédures administratives	<input type="checkbox"/>				
Courtoisie et capacité à aider des personnels administratifs	<input type="checkbox"/>				
Simplicité de programmation du premier rendez-vous	<input type="checkbox"/>				
Capacité du kinésithérapeute à vous mettre à l'aise et à vous rassurer	<input type="checkbox"/>				
Explications sur ce qui sera fait durant le traitement	<input type="checkbox"/>				
Qualité de l'information reçue en ce qui concerne le futur	<input type="checkbox"/>				
Sentiment de sécurité durant le traitement	<input type="checkbox"/>				
Niveau de perception sur l'adaptation du traitement à votre pathologie	<input type="checkbox"/>				
Facilité d'accès aux soins de kinésithérapie	<input type="checkbox"/>				
Informations pour vous aider à vous orienter dans le cabinet/clinique de soins	<input type="checkbox"/>				
Confort de la pièce	<input type="checkbox"/>				
Atmosphère calme et relaxante de la pièce	<input type="checkbox"/>				
Vos soins de kinésithérapie en général	<input type="checkbox"/>				
	Certainement pas	Probablement pas	Pas certain	Probablement	Certainement
Recommanderiez-vous ce cabinet/clinique à des personnes de votre entourage ?	<input type="checkbox"/>				

Exercices de référence

Quadriceps 	15RM											
	Type de résistance											
	Remarques											
Ischio-Jambiers 	15RM											
	Type de résistance											
	Remarques											
RPE	<p>Pouvez-vous indiquer l'effort que vous a demandé la séance :</p>											
	<table border="1"> <tr><td>0 aucun effort</td></tr> <tr><td>1 très très facile</td></tr> <tr><td>2 très facile</td></tr> <tr><td>3 facile</td></tr> <tr><td>4 effort modéré</td></tr> <tr><td>5 effort moyen</td></tr> <tr><td>6 un peu dur</td></tr> <tr><td>7 dur</td></tr> <tr><td>8 très dur</td></tr> <tr><td>9 très très dur</td></tr> <tr><td>10 maximal</td></tr> </table>	0 aucun effort	1 très très facile	2 très facile	3 facile	4 effort modéré	5 effort moyen	6 un peu dur	7 dur	8 très dur	9 très très dur	10 maximal
0 aucun effort												
1 très très facile												
2 très facile												
3 facile												
4 effort modéré												
5 effort moyen												
6 un peu dur												
7 dur												
8 très dur												
9 très très dur												
10 maximal												

Vidéo explicative de la mesure de la 15-RM accessible via le QR code



Suivi post-opératoire

Recommandations pour le suivi de la rééducation post-opératoire

Objectifs de la rééducation post-opératoire

Références : Filbay & Grindem (2019) *Best Prac Res Clin Rheum* ; Kotsifaki et al (2023) *Brit J Sport Med* ; van Melick et al (2016) *Brit J Sport Med* ; Shaarani et al (2013) *Am J Sport Med*

3 phases de rééducation :

- Phase 1 : (J1 à J14) suites chirurgicales
- Phase 2 : (J15 à M6) récupérer les capacités
- Phase 3 : (M6 à ...) retrouver les activités + prévenir long-terme

Dates et délais sont des repères

Approche personnalisée, et selon les besoins

Le passage d'une phase à l'autre : correspond à des critères fonctionnels

Activités clés (post-opératoire)

Reprise de la conduite automobile

- Capacité à appuyer sur la pédale de frein, en situation d'urgence sans douleur
- Validation médicale
- Délai approximatif après chirurgie :
 - Côté droit : 4–6 semaines
 - Côté gauche : 2–3 semaines

Reprise de la course à pied

- Mobilité de genou : 95% en flexion, 100% en extension
- Pas d'épanchement du genou
- Limb symmetry index (côté blessé vs sain) > 80% pour la force du Q
- Pas de douleur, lors d'un saut unipodal
- Course sans douleur en conditions allégées (si test préalable : Alter-G, Balnéothérapie...)
- Délai approximatif après chirurgie : ~ 12 semaines

Retour au sport

- Mobilité de genou : 100% flexion, 100% extension
- Pas de douleur, pas d'épanchement
- Fonctions (motrices, mentales) normales
- Limb symmetry index (côté blessé vs sain) > 90% pour la force du Q ; 100% (isokinetic concentric 60°/sec) pour les sports/sollicitations importantes ; proche pré-opératoire (avant blessure, si références connues)
- Genou stable (Lachman, ou test de laxité instrumenté)
- Délai approximatif après chirurgie : indéterminé, individuel, avec reprise partielle et programmée/progressive

Éléments clés de la rééducation post-opératoire

Phase aigüe (j 1 – j 7)	
Objectifs principaux	Gérer la douleur et l'épanchement Augmenter l'amplitude de mobilité (flexion/extension) Augmenter la force musculaire Retrouver des capacités à se déplacer (marche, avec aide technique) Education thérapeutique
Modalités	Gestion de la charge, cryothérapie Mobilisation du genou, travail cicatriciel et circulaire Exercices de mobilisations passifs et actifs (e.g., quadriceps isométrie, active straight leg raise, prone hang, and heel slides, "écrase cousin", posture de genou) Neuromuscular electrical stimulation (NMES) + contraction volontaire Education et travail de l'appui en charge, du cycle de marche
Phase aigüe (j 7 – j 14)	
Objectifs principaux	Gérer la douleur et l'épanchement Retrouver les amplitudes articulaires : extension 100%, flexion à 110° Intensifier le travail neuromusculaire Marche indépendante
Modalités	<i>Précédent</i> + mobilisations (patella, tibio-fémorale) Travail en chaîne cinétique fermée 0-45° Travail en chaîne cinétique ouverte 90°-60° (e.g., minisquats, quadriceps/hamstring co-contraction, hamstring curls (standing and prone), multi-hip machine, leg-press or inclined sled) Travail de transfert d'appui (en bipodal) Exercices cardiorespiratoires (membres supérieurs, cycloergomètre avec sur-utilisation/compensation controlatéral ++) Augmenter le périmètre de marche sans créer de douleur/épanchement, sevrage progressif des aides techniques
Repère	Un manque de progression (en particulier en extension) une laxité importante, peuvent nécessiter de discuter avec le chirurgien.
Phase intermédiaire (semaines 3-4)	
Objectifs principaux	Contrôler / éviter la douleur et l'épanchement Mobilité du genou : flexion à 125° Intensifier le travail neuromusculaire (e.g. Blow Flow Restriction) Intensifier le travail cardiorespiratoire Débuter le travail d'équilibre/proprioception

	Marche physiologique
Modalités	<p><i>Précédent +</i></p> <p>Travail isométrique à différents angles (90°, 60°, 30°)</p> <p>Heel rise / toe raise</p> <p>Exercices en chaîne cinétique fermée : mini-squats (augmenter le secteur de 20°-70 à 0-90°)</p> <p>Exercices bilatéraux (chaise contre le mur...)</p> <p>Equilibre et proprioception : contrôle moteur du mouvement/appui (balance board bilatéral, appui unipodal) sur une surface ferme; pas chassés/fentes dans l'axe (eg, avec des cônes : en avant, en arrière, sur le côté)</p> <p>Exercices cardiorespiratoires (membres supérieurs, cycloergomètre en utilisant le côté opéré dès retour à 110° flexion, pas/peu de résistance)</p> <p>Balnéothérapie & marche</p>
Phase intermédiaire (semaines 5-6)	
Objectifs principaux	<p>Contrôler / éviter la douleur et l'épanchement</p> <p>Mobilité du genou : flexion à 135°</p> <p>Intensifier le travail neuromusculaire (e.g. endurance)</p> <p>Intensifier le travail cardiorespiratoire</p> <p>Intensifier le travail d'équilibre/proprioception</p>
Modalités	<p><i>Précédent +</i></p> <p>Augmenter le nombre : reps/résistance/séries pour le travail isométrique, heel/toe raises, hamstring curls, knee extension (90 à 60°), wall-sits, mini-squats, multi-hip machine, leg press or inclined-sled (70-10°)</p> <p>Exercices en chaîne cinétique ouverte : secteur 90°-45°</p> <p>Equilibre et proprioception : Double et simple appui, surface ferme</p> <p>Marche physiologique sans compensations</p>
Phase intermédiaire (semaines 7-8)	
Objectifs principaux	<p>Contrôler / éviter la douleur et l'épanchement</p> <p>Mobilité du genou : physiologique</p> <p>Intensifier le travail neuromusculaire</p> <p>Intensifier le travail cardiorespiratoire</p> <p>Intensifier le travail d'équilibre/proprioception</p> <p>~ 20 minutes de marche (dans le quotidien) sans douleur</p>
Modalités	<p><i>Précédent</i></p> <p>+ progression dans les reps/résistance/séries</p> <p>Hamstring curls, knee extension (90°-60°), Leg press (70°-10°), multi-hip machine, lateral step-ups et exercices en chaîne cinétique fermée</p> <p>Equilibre et proprioception : Balance board, single-leg, marche avec résistance (eg bande/élastique), jeté de ballon...</p>

	Augmenter le travail cardiorespiratoire, en particulier le cycloergomètre
Phase intermédiaire (semaines 9-12)	
Objectifs principaux	Activités de la vie quotidienne : indépendance Augmenter les gains de force maximale, et en endurance + en équilibre/proprioception + cardiorespiratoires + adaptations selon les besoins/activités individuelles du patient
Modalités	Exercices de mobilité Renforcement musculaire: continuer + progressions en résistance, reps et séries. Equilibre et proprioception: travail unipodal, trampoline ... Exercices cardiorespiratoires : précédents + marche (avant/arrière) + sur tapis
Repère	En fin de phase : considérer s'il est possible ou non de débiter la course à pied dans l'axe (cf critères)
Phase intermédiaire (mois 3 à mois 6)	
Objectifs principaux	Augmenter les gains de force maximale, et en endurance + en équilibre/proprioception + cardiorespiratoires Débiter les exercices en chaîne cinétique ouverte, vers l'extension complète Préparer au retour au sport Individualiser
Modalités	Renforcement musculaire: continuer + progressions en résistance, reps et séries. Equilibre et proprioception Débiter la course à pied : augmenter progressivement en vitesse et distance (1/2, 3/4, vitesse normale; 1/2, 1, 1.5 km) Débiter des mouvements pivots, selon ce qui est approprié (lateral running, figure 8s) Exercices pliométriques, selon ce qui est approprié (capacités de force maximale nécessaires): hop, jump, box hops, burpees... Mouvements sportifs : selon le sport et exigences / patient + demandes athlétiques
Phase tardive (mois 6 à mois 12)	
Objectifs principaux	Augmenter les gains de force maximale, et en endurance + en équilibre/proprioception + cardiorespiratoires Retour au sport
Modalités	Renforcement musculaire: continuer + progressions en résistance, reps et séries. Equilibre et proprioception Course à pied : interval running (tempo 3:1), course en marche arrière Intensifier les exercices pliométriques : unilateral hopping, jumping, box hops, depth jumps, leap frogs, burpees... Mouvements sportifs : selon le sport et exigences / patient + demandes athlétiques
Milestone	Considérer la reprise du sport (cf critères) Réathlétisation et progressivité dans la reprise du sport

Suivi post-opératoire : J7

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 30

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 60

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 90

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 120

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 150

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 180

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 210

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 240

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 270

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 300

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 330

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Suivi post-opératoire : J 360

Date				____ / ____ / ____
Événements	Entourer		Précisions	
Médicaments	Oui	Non	Type et dose journalière :	
Appareillage (béquilles, orthèse)	Oui	Non	Type (et utilisation) :	
Reprise du travail	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Conduite (auto, moto...)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (en kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Course à pied (<u>hors</u> kiné)	Oui	Non	Si oui, date de reprise :	
Pratique sportive	Oui	Non	Si oui, date de reprise : Si oui, au niveau antérieur blessure : oui / non	
Commentaires				

Titre : Création et mise en place d'un programme d'entraînement contre résistance, en rééducation pre opératoire, des suites d'une rupture du ligament croisé antérieur en vue d'une intervention chirurgicale

Mots clés : Hypertrophie musculaire - Force maximale - Kinésithérapie

Résumé : La force maximale des muscles extenseurs du genou (*quadriceps*) est « le » paramètre prédictif de l'évolution du patient après une rupture du ligament croisé antérieur (LCA). Si la rééducation débute de manière précoce en soins primaires en kinésithérapie pre opératoire, le protocole de rééducation optimal pour obtenir des gains significatifs de force maximale, performances motrices, reste à déterminer. Au travers de cette thèse nous avons donc i) développé une méthode d'imagerie innovante d'échographie 3D afin d'imager les volumes musculaires des muscles de la cuisse ii) mis en place un programme d'entraînement pensé pour des patients auprès

de sujets sains afin d'observer les variations en force maximale en flexion et extension de genou et les liens avec l'hypertrophie mesurées par échographie 3D, puis iii) proposé un programme d'entraînement pre opératoire novateur au sein d'un réseau pluriprofessionnel auprès de patient atteints d'une rupture du LCA. Cette dernière étude atteste d'une bonne faisabilité d'un programme d'entraînement contre résistance en pre opératoire afin d'améliorer la force maximale et le volume des extenseurs et fléchisseurs du genou. Les résultats à venir permettront d'en confirmer l'efficacité.

Title : Creation and implementation of a prehabilitation resistance training programme, following a rupture of the anterior cruciate ligament before surgery

Keywords : Hypertrophy - Maximal Strength - Physiotherapy

Abstract : The maximum strength of the knee extensor muscles (*quadriceps*) is 'the' parameter that predicts a patient's progress after a rupture of the anterior cruciate ligament (ACL). Although rehabilitation begins early in primary care with pre-operative physiotherapy, the optimal rehabilitation protocol for obtaining significant gains in maximum strength and motor performance has yet to be determined. In this thesis, we therefore i) developed an innovative 3D ultrasound imaging method to image muscle volumes in the thigh muscles ii) set up a training programme designed for patients with ACL.

of healthy subjects in order to observe variations in maximum strength in knee flexion and extension and the links with hypertrophy measured by 3D ultrasound, then iii) proposed an innovative preoperative training programme within a multi-professional network for patients with an ACL rupture. This latest study demonstrates the feasibility of a pre-operative resistance training programme to improve the maximal strength and volume of the knee extensors and flexors. Future results will confirm its effectiveness.