



HAL
open science

Intérêt de l'entraînement sous restriction du flux sanguin après reconstruction chirurgicale du ligament croisé antérieur : une revue de littérature

Camille Groll

► **To cite this version:**

Camille Groll. Intérêt de l'entraînement sous restriction du flux sanguin après reconstruction chirurgicale du ligament croisé antérieur : une revue de littérature. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04760409

HAL Id: dumas-04760409

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04760409v1>

Submitted on 29 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.

**AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE**

**INTERET DE L'ENTRAINEMENT SOUS
RESTRICTION DU FLUX SANGUIN APRES
RECONSTRUCTION CHIRURGICALE DU
LIGAMENT CROISE ANTERIEUR : UNE REVUE
DE LITTERATURE**

GROLL Camille

Directeur de mémoire : M. RUBATTAZ Baptiste

REMERCIEMENTS

Je remercie mon directeur de mémoire, Monsieur Baptiste RUBATTAZ, pour son soutien, son implication, ses conseils avisés et sa grande disponibilité tout au long de la réalisation de cette revue de littérature.

Je souhaite aussi remercier le corps enseignant de l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Marseille ainsi que tous les professionnels de santé rencontrés sur mes terrains de stage pour la transmission de leur savoir.

Je remercie Monsieur David ORTS ainsi que les kinésithérapeutes de la clinique Saint Martin Sport de m'avoir permis d'assister à des séances de Blood Flow Restriction (BFR) et de le tester sur moi-même. Je les remercie pour le temps qu'ils m'ont accordé et leur retour d'expérience. Je remercie également les patients de m'avoir permis de prendre des photos et pour les informations clefs qu'ils m'ont données de leur expérience de rééducation avec le BFR.

Je tiens également à remercier Monsieur Rafael Francisco Vieira de Melo, auteur d'un des essais inclus dans cette revue, pour sa disponibilité et le temps consacré pour répondre à mes questions.

Un grand merci à mes parents et mon frère pour leur implication sans faille dans ma future vie professionnelle, leur encouragement et le temps dévoué aux relectures de mes devoirs.

Enfin, je souhaite remercier mes amis de promotion avec qui j'ai partagé ces quatre belles années d'études.

Table des matières

1	Introduction.....	1
1.1	Contexte et données épidémiologiques.....	1
1.2	Les facteurs de risques.....	2
1.2.1	Modifiables.....	2
1.2.2	Non modifiables.....	2
1.3	Rappels anatomiques de la région concernée.....	3
1.3.1	Rappels généraux anatomiques et biomécaniques sur le genou [12–14]	3
1.3.2	Eléments passifs de stabilisation du genou [12–14]	4
1.3.3	Eléments actifs de stabilisation du genou	6
1.4	Le ligament croisé antérieur	7
1.4.1	Composition du LCA.....	7
1.4.2	Vascularisation et innervation du LCA.....	8
1.4.3	Anatomie et biomécanique du LCA	8
1.4.4	Fonction et capacité de résistance du LCA	10
1.5	Lésion du LCA et prise en charge	11
1.5.1	Mécanismes lésionnels à l’origine de la rupture	11
1.5.2	Diagnostic de rupture du LCA.....	12
1.5.3	Conséquences biomécaniques de la rupture et décision d’intervention.....	13
1.5.4	Réparation chirurgicale	14
1.5.5	Altérations retrouvées après reconstruction du LCA	15
1.6	Le Blood Flow Restriction.....	16
1.6.1	Histoire de la technique [37]	16
1.6.2	Mécanismes physiologiques [37–39]	17
1.6.3	Modalités d’application	20
1.7	Intérêt de cette revue de littérature.....	23
2	Méthode.....	25
2.1	Critère d’éligibilité des études pour cette revue	25
2.2	Schéma d’étude :	25
2.2.1	Population.....	26
2.2.2	Intervention	26
2.2.3	Comparateur.....	26
2.2.4	Critères de jugement	26

2.3	Méthodologie de recherche des études :	27
2.3.1	Sources documentaires investiguées :	27
2.3.2	Equations de recherche utilisées :	27
2.4	Méthode de sélection des études.....	28
2.5	Méthode d'extraction et d'analyse des données	29
2.6	Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées	29
2.7	Méthode de synthèse des résultats.....	30
3	Résultats	31
3.1	Sélection des études : Diagramme de flux.....	31
3.2	Etudes exclues de la revue.....	32
3.2.1	Etudes exclues après lecture du titre	32
3.2.2	Etudes exclues après suppression des doublons et des articles non disponibles.....	32
3.2.3	Etudes exclues après lecture de l'abstract	32
3.2.4	Etudes exclues après lecture intégrale.....	33
3.3	Etudes incluses dans la revue	33
3.4	Extraction des données des articles étudiés.....	34
3.5	Evaluation de la qualité méthodologique des études	41
3.6	Effets de l'intervention sur les critères de jugements choisis	42
3.7	Synthèse des résultats	42
3.7.1	Résultats pour le critère de jugement force.....	44
3.7.2	Résultats pour le critère de jugement douleur articulaire	46
3.7.3	Résultats pour le critère de jugement douleur musculaire.....	47
3.7.4	Résultats pour le critère de jugement fonction physique	47
4	Discussion	48
4.1	Analyse des résultats	48
4.1.1	Analyse de la population	48
4.1.2	Analyse du protocole expérimental et contrôle.....	50
4.1.3	Analyse des critères de jugement et des outils de mesures	52
4.1.4	Analyse des résultats des études.....	53
4.2	Applicabilité des résultats en pratique clinique.....	59
4.3	Qualité des preuves	60
4.3.1	Niveau de preuve de la HAS [103].....	60
4.3.2	Niveau de preuve du système GRADE [103].....	60
4.4	Biais de la revue de littérature.....	61

4.4.1	Biais propres à chaque étude	61
4.4.2	Biais généraux de cette revue	62
4.5	Conflits d'intérêts.....	64
5	Conclusion	65
5.1	Implication pour la pratique clinique.....	65
5.2	Implication pour la recherche.....	65
6	Bibliographie.....	67
	Table des annexes	75

Table des figures

Figure 1: Schéma de la face antéro latérale du genou.....	3
Figure 2: Schéma illustrant la contraction agoniste antagoniste [3].....	6
Figure 3 : Schéma de la structure du LCA [19]	7
Figure 4: Schéma illustrant le changement d'orientation des faisceaux du LCA [3].....	9
Figure 5: Histogramme illustrant la force (en Newton) s'exerçant sur le LCA lors des différents angles de flexion (en degrés) [3]	10
Figure 6 : Schéma illustrant l'axe de rotation du genou lorsque le LCA est sain vs rompu [3]	13
Figure 7 : Histogramme indiquant les déplacements (en mm) de la translation tibiale antérieure à une charge rotatoire de 10 N.m de valgus et 4 N.m de couple tibial interne à différents degrés de flexion [32]	13
Figure 8 : Histogramme indiquant les déplacements (en mm) de la translation tibiale antérieure à une charge antérieure de 134N à différents degrés de flexion [32]	13
Figure 9 : Schéma illustrant le rôle du stress métabolique induit par l'entraînement à la restriction du flux sanguin, conduisant à la stimulation anabolique et la réponse inflammatoire pour améliorer les adaptations musculaires. [37]	19
Figure 10 : Exemple d'équipement	21
Figure 11 : Exemple d'équipement	21
Figure 12 : Exemple d'équipement	22
Figure 13 : Exemple d'équipement	22

Table des tableaux

Tableau I : Les muscles associés aux fonctions stabilisatrices du genou	6
Tableau II : Equations de recherche sur les moteurs de recherche Pubmed, PEDro et Cochrane Library	28
Tableau III : Arguments d'exclusion et nombre d'études exclues après lecture du titre	32
Tableau IV : Argument d'exclusion et nombre d'études exclues après lecture de l'abstract.....	32
Tableau V : Etudes exclues et argument d'exclusion après lecture intégrale.....	33
Tableau VI Etudes incluses dans la revue de littérature	34
Tableau VII : Tableau récapitulatif des études incluses partie 1	38
Tableau VIII : Tableau récapitulatif des études incluses partie 2	40
Tableau IX : Evaluation de la qualité méthodologique des études avec l'échelle PEDro.....	41
Tableau X : Tableau des biais rencontrés ou non dans les études incluses	42
Tableau XI : Tableau des résultats du critère de jugement « force ».....	45
Tableau XII : Tableau des résultats du critère de jugement « douleur articulaire »	46
Tableau XIII : Tableau des résultats du critère de jugement « douleur musculaire ».....	47
Tableau XIV : Tableau des résultats du critère de jugement « fonction physique ».....	47
Tableau XV : Niveau de preuve d'une revue de littérature selon le système GRADE.....	61
Tableau XVI : Evaluation de la qualité méthodologique de la revue de littérature : l'échelle AMSTAR-2 [59]	63

Liste des abréviations

AMSTAR : A MeaSurement Tool to Assess systematic Reviews

BFR : Blood Flow Restriction / restriction du flux sanguin

DIDT : Droit Interne Demi Tendineux

DOMS : Delayed Onset Muscle Soreness

EVA : Echelle Visuelle Analogique

GH : Growth Hormone / hormone de croissance

GRADE : Grading of Recommendations Assessment Development and Evaluation

H+ : Proton

HAS : Haute Autorité de Santé

HL-BFR : High Load Blood Flow Restriction / Entraînement à haute intensité avec BFR

HL-RT : High Load Resistance Training / entraînement en résistance à charge élevé ou haute intensité

IC95 : Intervalle de Confiance à 95%

IGF : Insulin-like-Growth-Factor / Facteur de croissance analogue à l'insuline

IKDC : International Knee Documentation Committee

IL-6 : InterLeukines 6

IMC : Indice de Masse Corporelle

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

KJ : Kenneth-Jones

KOOS : Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score

LCA : Ligament Croisé Antérieur

LL-BFR : Low Load Blood Flow Restriction / Entraînement à faible intensité avec BFR

LL-RT : Low Load Resistance Training / entraînement en résistance à faible charge ou faible intensité

LOP : Limb Occlusion Pressure / Pression d'occlusion des membres

Mesh : Medical Subject Headings

MK : Masso-Kinésithérapeute

Mtor : Mammalian Target Of Rapamycin

MVIC : Maximum Voluntary Isometric Contraction / contraction isométrique volontaire maximale

DMCI : Différence Minimale Cliniquement Importante

N : Newton

PEDro : Physiotherapy Evidence Database

Pi : Phosphate inorganique

PRISMA : Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

RM : Résistance Maximale

RTA : Return To Activity / Retour à l'activité

RTC : Return To Competition / Retour à la compétition

RTP : Return To Play / Retour au jeu

TFL : Tenseur du Fascia Lata

VO2max : Consommation maximale d'oxygène

VS : Versus

1 Introduction

Au cours de mes différents stages effectués, dans le cadre de ma formation professionnelle, mais également dans mon entourage proche, j'ai très souvent rencontré des patients atteints de rupture du ligament croisé antérieur. Nous savons combien cette rupture est redoutée des sportifs, notamment à cause de la **longue durée d'arrêt d'indisponibilité** qu'elle impose. Elle correspond à une période aux **conséquences physiologiques et psychologiques non négligeables**. Ces blessures peuvent également mettre fin à une carrière d'athlète. Nous savons que la récupération est longue et qu'une prise en charge optimale est nécessaire afin de retrouver ses activités et ses performances sportives antérieures le plus rapidement possible. Cette pathologie représente par ailleurs **un problème de santé publique majeur**. En effet, les coûts liés à cette lésion sont importants. Les arrêts de travail et soins associés représentent un coût sociétal considérable.

De nos jours, il n'existe **pas de norme universelle pour la rééducation** après reconstruction du ligament croisé antérieur. Cela met en lumière la nécessité de mener des études poussées pour évaluer les meilleures techniques de rééducation pour les patients ainsi que l'efficacité des nouveaux outils conçus pour améliorer leur rééducation.

J'ai donc choisi d'effectuer ce travail sur une technique dont on entend de plus en plus parler ces dernières années : **la technique de Blood Flow Restriction**. Le mécanisme physiologique et les potentielles améliorations qu'elle permettrait d'obtenir sont des sujets qui me semblent intéressants à étudier pour cette pathologie.

1.1 Contexte et données épidémiologiques.

Les ruptures du ligament croisé antérieur (LCA) représentent **une des blessures les plus courantes du genou**. **Plus de deux millions d'atteintes** du ligament croisé antérieur sont recensées **chaque année dans le monde**. [1]

Malgré les progrès des chercheurs et cliniciens en termes de connaissances et de préventions des risques de cette blessure, nous remarquons que le nombre de lésions ne cesse d'augmenter. D'après une étude réalisée par Sanders et al, **l'incidence annuelle** globale de lésion du LCA était de **68,6 pour 100 000 personnes années**. [2]

Selon la Société française d'arthroscopie, le nombre de reconstructions du ligament croisé antérieur entre 1996 et 2010 a plus que doublé passant de 15 000 à plus de 35 000 en France. [3]

D'après la Haute Autorité de Santé (HAS), tous les ans, en France, les reconstructions du LCA représentent **90% des ligamentoplasties du genou**. [4] En 2005, 32 333 reconstructions du LCA ont été effectuées et en 2006, 35 501. [5] Ces chiffres ne cessent de croître. En effet, des données épidémiologiques plus récentes rapportent qu'en **2019**, il y a eu **42 250 reconstructions du LCA en France**.¹

Plus de **250 000 lésions du LCA** surviennent **chaque année aux Etats-Unis**. [6] Cela représente un problème de santé publique majeur et un coût sociétal important. En effet, il faut compter **13 000 dollars par chirurgie**. [7]

¹<https://www.isa-orthopedie-marseille.fr/fr/actualites-isam/id-14-rupture-du-ligament-croise-anterieur>
(Consulté le 20/10/2023)

1.2 Les facteurs de risques

1.2.1 Modifiables

Parmi les facteurs de risques modifiables, on retrouve des facteurs intrinsèques qui sont, par définition, propres à l'individu et extrinsèques qui ne le sont pas : [8]

- **Facteurs intrinsèques** : **Un déficit d'activation** ou **de force** des muscles ischio-jambiers ainsi qu'une **fatigue musculaire** provoquant une altération du contrôle neuromusculaire constituent un risque. Un **déséquilibre** entre quadriceps et ischio-jambiers peut également augmenter le risque de blessures.
- **Facteurs extrinsèques** :
 - **Les conditions environnementales** : Le type de chaussures utilisé, leur adaptation au terrain et le type de terrain peuvent constituer un risque de rupture du LCA.
 - **La pratique sportive** : 90% des ruptures du LCA surviennent au cours d'une activité physique.
 - En termes de **temps de pratique** : Le risque augmente avec le niveau de compétition [9], particulièrement en sports collectifs. On remarque que chaque année 3% des athlètes amateurs se blessent contre 15% pour les athlètes élités. [10]
 - En termes du **type de sport** : Les athlètes âgés de 15 à 40 ans qui participent à des sports impliquant des mouvements de pivotement ou des changements de direction tels que, le football, le handball, le basketball, la crosse et le ski semblent présenter un taux plus élevé de blessures du LCA. Les sports individuels comme le tennis ou le ping pong sont quant à eux moins à risque. [10,11]

La pratique sportive fait partie des facteurs de risques modifiables mais rappelons que le but n'est pas de changer le sport pratiqué.

1.2.2 Non modifiables

Les facteurs de risques non modifiables correspondent à des facteurs intrinsèques à la personne. On en dénombre plusieurs : [8]

- **Le sexe** : Bien que l'incidence générale des lésions du LCA soit plus importante chez les hommes en raison de leur participation accrue aux sports les plus à risque, le risque de ces lésions est de **2 à 8 fois supérieur** chez les **femmes**. [7] Cette différence est attribuable à différents facteurs : anatomiques, mécaniques, biologiques et hormonaux (laxité). [10]
- **L'âge** : Environ 25% des lésions surviennent chez les enfants de moins de 18 ans. [7] Le taux de blessures du LCA diminue avec l'âge chez les hommes tandis qu'il reste relativement constant chez les femmes. Le **pic de lésions** chez les **femmes** est entre **14 et 18 ans** tandis que chez les **hommes** celui-ci se situe entre **19 et 25 ans**.²
- **Les facteurs anatomiques** :
 - Au niveau du bassin : Un **bassin plus large** est un facteur de risque d'antétorsion fémorale exagérée (rotation interne excessive du fémur).
 - Au niveau de la hanche : **Une antétorsion fémorale importante** provoque une incapacité du moyen fessier à conserver une abduction de hanche suffisante en

² <https://www.irbms.com/rupture-du-ligament-croise-du-genou-la-prevention/> (Consulté le 30/10/2023)

dynamique et donc potentiellement une instabilité du genou en **valgus** (déviation anormale en adduction et rotation interne de fémur, translation antérieure et rotation externe de tibia).

- Au niveau du genou : La présence d'un **recurvatum** (angle d'extension du genou au-delà de 0°), d'une étroitesse de l'échancrure intercondyloïde, d'une **pente postérieure exagérée du plateau tibial latéral**, d'un **valgus** sont des facteurs de risques de lésions du LCA. Aussi, plus l'**angle Q** (angle entre la ligne passant par l'épine iliaque antéro-supérieure et le milieu de la patella et celle rejoignant la tubérosité tibiale antérieure à la patella) est **grand** plus la pression est appliquée sur la face médiale du genou. [Annexe 1] [Annexe 2]
 - Au niveau du pied : Une **pronation excessive** du **médio-pied** et/ou un **valgus** important de l'**arrière-pied** encouragent la rotation externe du tibia sous le fémur.
- **Antécédents de blessures** : 3 à 22% des athlètes sont victimes d'une deuxième rupture après reconstruction du LCA et 3 à 24 % se rompent le LCA controlatéral au cours des cinq ans qui suivent la reconstruction. [10]

Bien qu'un lien de cause à effet a été établi entre les différents facteurs cités ci-dessus et un risque d'être victime d'une rupture du LCA, la blessure peut survenir même en l'absence de ceux-ci.

1.3 Rappels anatomiques de la région concernée.

1.3.1 Rappels généraux anatomiques et biomécaniques sur le genou [12–14]

Le genou est l'une des articulations **les plus complexes**. Articulation **intermédiaire** entre la hanche et la cheville, elle permet d'ajuster la longueur du membre inférieur. Elle met en relation **trois pièces osseuses** : l'extrémité inférieure du fémur, l'extrémité supérieure du tibia et la face postérieure de la patella.

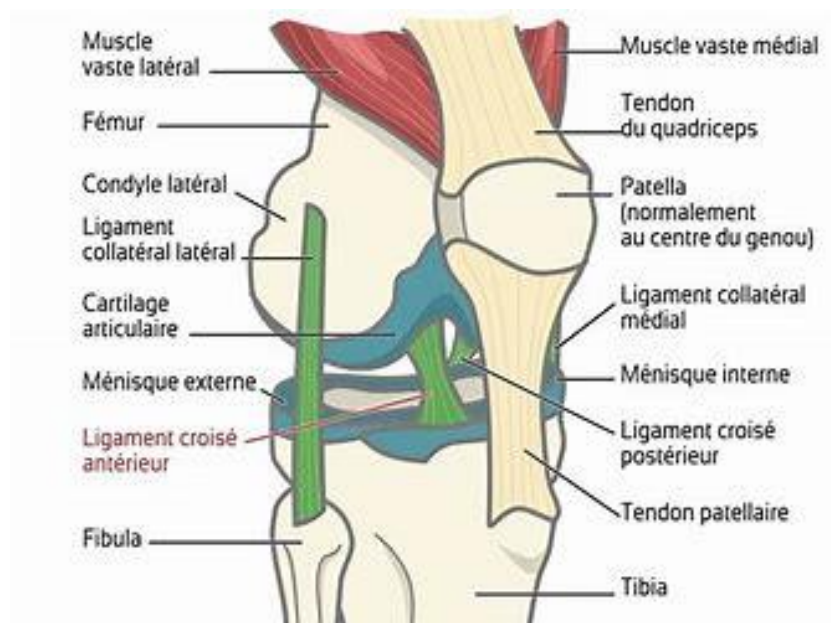


Figure 1: Schéma de la face antéro latérale du genou³

³ <https://www.chirurgie-orthopedique.fr/genou/anatomie-du-genou/> (Consulté le 20/10/2023)

Les surfaces articulaires en présence ne sont **ni congruentes ni concordantes** bien que ce soit une articulation **très sollicitée en charge**. Le genou est composé de **deux articulations indissociables** autant anatomiquement que fonctionnellement au sein d'une même poche capsulaire.

Il y a, d'une part, **l'articulation fémoro-patellaire** avec un seul degré de liberté. Il s'agit d'une articulation ginglyme c'est-à-dire une articulation en forme de poulie pleine dans une poulie creuse.

D'autre part, se trouve **l'articulation fémoro-tibiale** qui comprend un compartiment médial de stabilité et un latéral de mobilité. C'est une articulation bi-condyloïde. Elle est donc l'association de deux ellipsoïdes solidaires mécaniquement et a deux degrés de liberté. Pour rappel, l'articulation tibio-fibulaire supérieure bien que présente dans la région du genou est mécaniquement liée à la cheville.

L'articulation du genou permet donc des mouvements de **flexion, d'extension et de rotation**.

Le mouvement de **flexion** associe un roulement du fémur vers l'arrière suivi d'un glissement vers l'avant. Lors de ce mouvement le LCA s'horizontalise et le ligament croisé postérieur (LCP) se verticalise. L'amplitude moyenne de flexion se situe aux alentours de 140°.

Le mouvement d'**extension** ou plutôt le retour d'extension associe un roulement vers l'avant du fémur suivi d'un glissement vers l'arrière. Lors de ce mouvement le LCA se verticalise et le LCP s'horizontalise. L'extension est théoriquement nulle. Les personnes laxes peuvent cependant avoir un recurvatum.

Les mouvements de **rotations** ne sont possibles qu'en flexion. Lors d'une rotation médiale, le condyle fémoral latéral recule et le médial avance. Le mécanisme est inversé au cours d'une rotation latérale. En conditions physiologiques nous possédons 20 à 40 degrés de rotation médiale et 40 à 50 degrés de rotation latérale.

Plusieurs moyens d'union viennent s'ajouter à l'articulation. **La stabilité du genou est due à la stabilité passive, à la stabilité active et à la proprioception** (perception que l'on a de la position de l'articulation en statique, statesthésie, et en dynamique, kinesthésie). [15]

1.3.2 Eléments passifs de stabilisation du genou [12–14]

1.3.2.1 Les ligaments

Le système de **pivot central** est constitué de deux ligaments :

- **Le LCA** s'insère dans la surface pré-spinale entre les deux cornes méniscales. Il se dirige en haut en arrière et en dehors pour se terminer sur la face médiale du condyle latéral du fémur dans sa partie postéro-supérieure.
- **Le LCP** s'insère dans la surface rétro-spinale et déborde sur la face postérieure de l'extrémité supérieure du tibia. Il se dirige en haut en avant et en dedans pour se terminer sur la face latérale du condyle médial. Celui-ci est **plus fort que le LCA**.

Ces deux ligaments participent ensemble au système de pivot central. Ils se croisent tous les deux dans le plan sagittal et dans le plan frontal. En revanche, ils ne se croisent pas dans le plan horizontal. Ils ont environ 1cm de section. Ces deux ligaments sont composés de **deux faisceaux** : un faisceau **antéro-médial** et un faisceau **postéro-latéral**. Ils sont formés d'une succession de fibres dotées d'un **aspect torsadé**. De plus, les fibres ne sont pas toutes de la même longueur. Cela permet une mise en tension

progressive quel que soit le secteur angulaire. Il n'y a **jamais de relâchement complet** des deux ligaments croisés. Le LCA limite le tiroir antérieur (avancée du tibia sous le fémur) et le LCP limite le tiroir postérieur (recul du tibia sous le fémur). Nous y reviendrons ultérieurement.

Le **système collatéral** est, lui aussi, constitué de deux ligaments. Il permet de stabiliser le genou dans le plan frontal en luttant contre les mouvements de latéralité. Il y a :

- **Le ligament collatéral tibial** (médial) s'insère sur la moitié inférieure de l'épicondyle médial. Il se dirige en bas en avant et en dehors et se termine sur la partie supérieure de la face antéro-médiale du tibia.
- **Le ligament collatéral fibulaire** (latéral) s'insère sur la moitié inférieure de l'épicondyle latéral. Il se dirige en bas en arrière et en dehors et se termine sur le versant postéro-latéral de la tête de la fibula.

Le **système sagittal** est constitué du **ligament patellaire** qui s'étend de la pointe de la patella à la tubérosité tibiale antérieure du tibia. Il est indissociable du tendon patellaire. Ce dernier permet avec une contraction musculaire de réaliser une extension de genou. Il y a aussi le **ligament poplité oblique** et le **ligament poplité arqué** reliant respectivement les coques condyliennes et la fabella au tibia et à l'apex fibulaire. Ils renforcent la partie postérieure de l'articulation.

A cela, s'ajoute les **réтинaculum patellaires**, médial (plus important) et latéral, qui lient la patella aux condyles fémoraux. Ils permettent de stabiliser la rotule.

1.3.2.2 Les ménisques

Le **ménisque médial** et le **ménisque latéral** enveloppent les condyles fémoraux. Ils ont pour rôle de **diminuer les pressions** sur la glène tibiale en augmentant les surfaces d'appui et en absorbant les pressions dues au poids du corps. Le médial a une forme de « C » alors que le latéral une forme de « O ». Ils sont reliés entre eux et à leurs structures environnantes (fémur, tibia, patella, capsule, ligament collatéral fibulaire, muscles postérieurs) par de nombreux ligaments.

1.3.2.3 Le cartilage

Le cartilage du genou recouvre les surfaces osseuses en présence. Il permet d'amortir les chocs et de diminuer les forces exercées sur l'os.

1.3.2.4 La capsule articulaire

La capsule articulaire englobe l'ensemble de l'articulation du genou. Elle donne une certaine stabilité à l'articulation. Les coques condyliennes sont un épaississement de la capsule qui la rend très solide. C'est un élément « passif » qui nous permet de tenir debout sans dépense énergétique.

1.3.2.5 La membrane synoviale

La membrane synoviale tapisse la face profonde de la capsule. Elle présente plusieurs replis. Le plus important intéresse la tente des ligaments croisés au cœur de la fosse intercondyloire. Cette membrane est responsable de la sécrétion du liquide synovial. Celui-ci a un rôle lubrificateur permettant une facilitation des mouvements.

1.3.3 Éléments actifs de stabilisation du genou

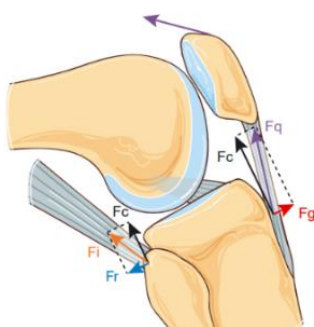
Les éléments de stabilisation actifs sont constitués des **muscles** et de leur **tendon** [Annexe 3] [Annexe 4]. Grâce à leur travail synergique, ils permettent de contrôler les mouvements de l'articulation. Dans le tableau ci-dessous, nous retrouvons les muscles intervenant dans les différentes fonctions stabilisatrices du genou. Certains muscles ne s'insèrent pas sur le genou mais sont inscrits car grâce à leurs fonctions musculaires ils luttent contre les déviations en valgus ou en varus. [13,14]

FONCTIONS STABILISATRICES	MUSCLES
Lutte contre le tiroir antérieur	Muscles ischio-jambiers : semi-tendineux, semi-membraneux, biceps fémoral Muscles de la patte d'oie : sartorius, semi-tendineux et gracile
Lutte contre le tiroir postérieur	Muscles du quadriceps : vaste médial, vaste latéral, vaste intermédiaire et droit fémoral Muscles gastrocnémiens : gastrocnémien médial et latéral Muscle poplité [16]
Lutte contre le valgus (déviation anormale en adduction et rotation interne de fémur, translation antérieure et rotation externe de tibia)	Moyen fessier, muscles de la patte d'oie, vaste médial, faisceau superficiel du grand fessier, pelvitrochantériens et poplité
Lutte contre le varus (déviation anormale en abduction et rotation externe de fémur, translation postérieure et rotation interne de tibia)	Tenseur du fascia lata (TFL), biceps fémoral, vaste latéral et long adducteur

Tableau 1 : Les muscles associés aux fonctions stabilisatrices du genou

Un déséquilibre entre le TFL et le gracile peut aussi être à l'origine d'un valgus ou d'un varus. En effet, on peut avoir un valgus si le TFL n'est pas assez fort par rapport au gracile et un varus le cas contraire.

La **poussée** postériorisante du **quadriceps**, principal extenseur de genou, sur la patella est **équilibrée** par la **poussée** antagoniste des **gastrocnémiens**, fléchisseurs du genou, sur les condyles fémoraux. Cela permet de **protéger les ligaments croisés**. C'est également le cas pour le tendon patellaire en avant et les ischios jambiers, principaux fléchisseurs du genou, en arrière. [14]



Ci-contre est illustré la contraction statique simultanée du **quadriceps** et des **ischios jambiers**. La composante de glissement antérieur (Fg) générée par le quadriceps est **équilibrée** par la composante de glissement postérieure (Fr) générée par les ischios jambiers. [3]
(Fq : force de contraction du quadriceps ; Fc : composante de coaptation ; Fi : force de contraction des ischios-jambiers)

Figure 2: Schéma illustrant la contraction agoniste antagoniste [3]

Afin que les muscles contribuent à la stabilisation de l'articulation, une information proprioceptive est nécessaire. Le LCA, grâce à sa composition, a une fonction proprioceptive importante.

1.4 Le ligament croisé antérieur

La connaissance de la contribution du ligament croisé antérieur à la fonction physiologique du genou est nécessaire afin de comprendre l'évolution clinique d'un genou déficitaire de ce ligament.

Nous allons donc revenir, de façon plus précise, sur l'anatomie et la fonction du ligament croisé antérieur déjà évoquée précédemment.

1.4.1 Composition du LCA

Le LCA a une microstructure proche de celle des autres tissus conjonctifs mous (tendons, ligaments, etc.). Il est composé de nombreux **fascicules** dont l'unité de base est le **collagène**. Ils sont composés de 3 à 20 sous fascicules. Les sous fascicules sont constitués d'unités sous fasciculaires composées de fibres de collagène elles-mêmes composées de fibrilles de collagène. [17,18]

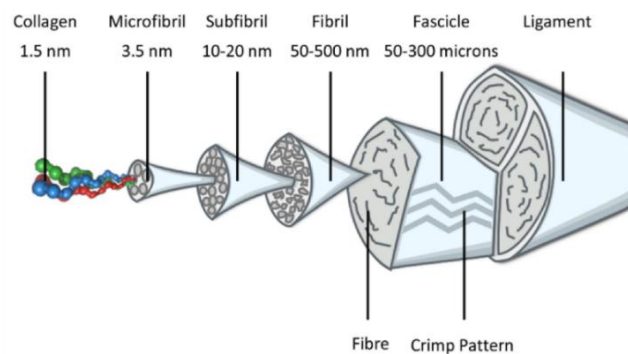


Figure 3 : Schéma de la structure du LCA [19]

Les fibrilles de collagène du LCA s'organisent de façon **atypique** associant des ondes planes et hélicoïdales. Cette organisation a été interprétée comme un **modèle de « frisure » et « recrutement »**. L'aspect ondulé des fibrilles de collagène « frisure », présent en l'absence de charge, disparaît lors de la mise en charge légère. Au départ aucune modification de longueur n'apparaît, puis, lorsque la charge augmente, les fibres s'allongent jusqu'à une certaine limite. À mesure que la déformation en traction augmente, on observe qu'un nombre croissant de fibrilles devient porteur « recrutement » donnant ainsi une protection supplémentaire à l'articulation. [17,18]

Les fibroblastes constituent les composants cellulaires intégrés dans la matrice du LCA. On retrouve 4 composants dans celle-ci : [18]

- **Le collagène.** Le LCA est constitué à **70% de son poids sec** par des faisceaux de fibres de collagène. Il est constitué de plusieurs types de collagène. De façon simplifiée, on considère qu'il est composé à **90% de collagène de type I** et à 10% de collagène de type III. [20] Les fibrilles de collagène de type I ont une orientation parallèle à l'axe longitudinal du ligament. Elles permettent la résistance à la traction du ligament. [21]
- **Les glycosaminoglycanes :** Le **poids humide total** du LCA est constitué de **60 à 80% d'eau**. Elle est surtout liée à la substance fondamentale, une partie du tissu conjonctif composée de

protéoglycanes et de glycosaminoglycanes jouant un rôle attracteur de l'eau. Le LCA possède donc une fonction d'absorption des chocs.

- **Les glycoconjugués** (laminine, fibronectine, etc.) : Leur rôle est d'attirer et de lier les composants essentiels des tissus normaux qu'ils soient en cours de guérison ou de croissance.
- **Les composants élastiques** (fibres élastiques et membranes élastiques, etc.) : Ils permettent des variations de longueur pendant le mouvement.

Grâce à sa composition, le LCA peut donc résister à des contraintes multiaxiales et à différentes tractions.

1.4.2 Vascularisation et innervation du LCA

1.4.2.1 Vascularisation du LCA [17,18,20]

Le ligament croisé antérieur est alimenté en sang et en nutriments par des vaisseaux issus de **l'artère géniculée moyenne** provenant de l'artère poplitée, elle-même issue de l'artère fémorale. La vascularisation est plus importante dans la partie fémorale du ligament que dans son tiers moyen et tibial. Les branches artérielles géniculées inférieures latérales et médiales vascularisent un peu la partie tibiale du LCA. Cependant, cette **faible vascularisation** associée à la présence de fibrocartilage dans cette zone constitue une des raisons pour laquelle le **potentiel de cicatrisation du LCA est faible**.

1.4.2.2 Innervation du LCA [18]

Le LCA est innervé par des fibres nerveuses provenant des **branches articulaires postérieures du nerf tibial**. La majorité de ces fibres nerveuses a une fonction vasomotrice (capacité à modifier le calibre des vaisseaux), cependant, certaines petites fibres nerveuses myélinisées (mécanorécepteurs) et non myélinisées (nocicepteurs) agissent de manière indépendante des vaisseaux.

Ces fibres nerveuses possèdent des **mécanorécepteurs**, contribuant à la fonction **proprioceptive** du LCA :

- Les récepteurs **de Ruffini**, sensibles à l'étirement. Ils sont en grande partie localisés au niveau du fémur, lieu où les déformations sont les plus importantes.
- Les récepteurs **tendineux de Golgi**, sensibles à la pression et à la tension. Ils sont localisés au niveau des attaches du LCA.
- Les récepteurs **de Pacini**, sensibles aux mouvements rapides. Ils sont localisés au niveau des attaches du LCA.

A cela s'ajoutent des **terminaisons nerveuses libres**. Elles agissent comme des **nocicepteurs** mais elles ont aussi la capacité d'agir comme des effecteurs locaux en libérant des neuropeptides à fonction vasoactive. De cette façon, elles pourraient exercer une influence modulatrice sur l'homéostasie tissulaire normale et sur le remodelage du greffon.

1.4.3 Anatomie et biomécanique du LCA

Le LCA, anciennement appelé antéro-externe, est **une bande de tissu fibreux** située en plein **centre de l'articulation**. Il est enveloppé dans la membrane synoviale mais demeure **extrasynovial** car il est isolé par un repli synovial propre. [20]

Le LCA prend son origine sur le tibia au niveau de **l'aire intercondyloire antérieure** dans la surface préspinale, en avant des épines tibiales, contre le frein du ménisque médial. Cette zone d'insertion,

osseuse et périostée, s'apparente à une surface ovale dans le plan horizontal dont les dimensions sont de 10mm sur 30mm. [20]

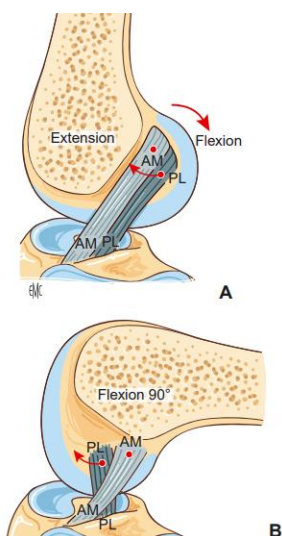
Il se dirige en haut en arrière ainsi qu'en dehors. La **longueur** du LCA varie de 31mm à 38mm avec une moyenne de **32mm**. La **largeur** varie de 10 mm à 12mm avec une moyenne de **11mm**. [11,17] A titre indicatif les faisceaux antéro-médial et postéro-latéral mesurent environ 7 et 6mm de largeur respectivement. [11]

Sa terminaison se trouve sur la partie postéro-supérieure de la **face médiale du condyle latéral du fémur**. L'empreinte de l'insertion est en forme de croissant et mesure 20mm sur 10mm. [20] L'empreinte fémorale des deux faisceaux est constante. En revanche, il existe des variations concernant l'empreinte tibiale. [11]

Le ligament est plus **étroit** au niveau de son **insertion fémorale** puis **s'élargit** en éventail à mesure qu'il s'approche de son **insertion tibiale**. [17] En effet, la surface transversale est de 34mm² au niveau du fémur contre 42mm² au niveau du tibia. [20]

Comme dit précédemment, le ligament est composé d'un faisceau de fibres antéro-latéral et d'un faisceau de fibres postéro-latéral nommés par leur site d'insertion tibiale. Cette différenciation reste controversée par de nombreux auteurs. Certaines études montrent l'existence d'un faisceau intermédiaire qui fonctionnerait d'une manière similaire au faisceau antéro-médial. D'autres rapportent que certains genoux auraient un LCA à faisceau unique [16]. Néanmoins **le modèle à deux faisceaux reste largement accepté**. [11,20,22]

- Le faisceau antéro-médial provient de la partie la plus postérieure et proximale de l'attache fémorale et rejoint la partie antéro médiale de l'attache tibiale. [18,20]
- Le faisceau postéro-latéral provient de la partie postérieure et distale de l'attache fémorale et s'attache à la partie postéro latérale de l'attache tibiale. [18,20]



Les deux faisceaux **changent d'orientation** lors des mouvements de **flexion / extension du genou** : [11]

- A 0°, les deux faisceaux sont orientés verticalement et sont **parallèles** (A).
- A 90° de flexion, le faisceau antéro-médial (AM) tourne postéro-inférieurement à son insertion fémorale alors que le faisceau postéro-latéral (PL) tourne de façon antéro-supérieure. Ils sont donc **croisés** (B).

Figure 4: Schéma illustrant le changement d'orientation des faisceaux du LCA [3]

Lors d'un mouvement de **flexion**, le **faisceau antéro-médial** s'**allonge** et se **resserre** tandis que le **faisceau postéro-latéral** se **raccourcit** et se **relâche**. [17]

Lors d'un mouvement d'**extension** du genou, le **faisceau postéro-latéral** s'**allonge** et se **resserre** tandis que le **faisceau antéro-médial** demeure **tendu** mais moins que le faisceau postéro-latéral. En effet lors d'une extension complète, le faisceau antéro-médial mesure 34mm alors que le postéro-latéral en mesure 22,5. [17]

La rotation tibiale n'aurait, quant à elle, pas d'effet significatif sur la longueur des fibres mais la rotation interne les allongerait davantage que la rotation externe. [17] Le recurvatum et l'hyperextension accentuent la tension sur ces deux faisceaux. En hyper flexion les deux faisceaux se retendent.

1.4.4 Fonction et capacité de résistance du LCA

Le rôle du LCA est essentiel dans la cinématique du genou. Comme dit précédemment, il **contrôle** principalement le **tiroir antérieur du tibia** (il absorbe en charge 85% des contraintes de tiroir antérieur appliquées sur le tibia) et les **charges rotationnelles**. En d'autres termes, il doit **lutter contre l'avancée du tibia sous le fémur** et s'opposer également à **sa rotation sous le fémur**. Le LCA pourrait également être un **frein** à l'angulation en **varus-valgus** en conjonction avec les structures environnantes. [20]. Les ligaments collatéraux, les points d'angle postéro-médial et latéral ainsi que les ménisques renforcent son action. [3]

La **translation tibiale antérieure** est principalement **limitée** par le **faisceau antéro-médial** sur genou **fléchi** et par le **faisceau postéro-latéral** sur genou proche de l'**extension**. [3,20] Lorsque le genou est en extension la translation tibiale antérieure est inférieure à 5mm. Elle est maximale de **15° à 40°** de flexion de genou. [11,20]

L'histogramme ci-dessous représente les **amplitudes des forces in situ** qui s'exercent sur le LCA non endommagé et sur ses deux faisceaux pour un tiroir antérieur de 134 N entre 0° et 120°. Le faisceau **postéro-latéral** subit des **contraintes plus importantes** proche des amplitudes d'**extension** (de 0 à 15°) **contrairement au faisceau antéro-médial** (60 à 90°). L'astérisque indique une différence significative.

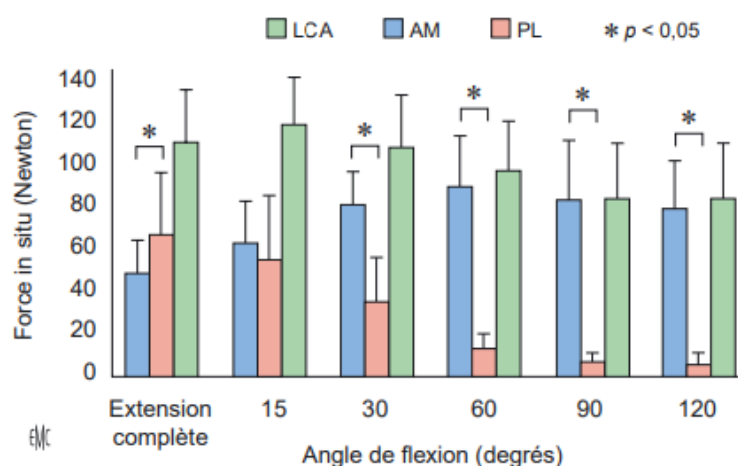


Figure 5: Histogramme illustrant la force (en Newton) s'exerçant sur le LCA lors des différents angles de flexion (en degrés). [3]

La stabilité **rotationnelle** est surtout **assurée** par le **faisceau postéro-latéral** notamment lorsque le genou est en **extension**. Le LCA freine principalement la rotation interne mais aussi la rotation externe. [3]

Une étude effectuée par Woo et al [23] a montré que, **entre 22 et 35 ans**, la **charge de traction ultime** était de **2160 N ± 157 N**. Elle était de **658 ± 129 N entre 60 et 97 ans**. En effet, sa résistance à la traction diminue d'un facteur de 2,5 à mesure que l'âge croît. [11]

Les charges quotidiennes que subit le LCA ne correspondent au maximum qu'à environ **20%** de sa capacité de défaillance. A titre indicatif la marche exerce une traction de 150N et la course à pied de 450 N. [17]

La **force musculaire** du **quadriceps augmente** le niveau de **tension** dans le ligament ainsi que la **translation antérieure du tibia**. Elle peut entraîner jusqu'à 4% de tension dans le LCA en quasi-extension. Celle-ci diminue lors d'une flexion. L'activation des **ischio-jambiers** a l'**effet opposé**. Ainsi, les ischio-jambiers ont le potentiel d'annuler les tensions accrues dans le LCA causées par l'activité du quadriceps. [11]

Le LCA a donc un **rôle mécanique** mais aussi **proprioceptif**. En effet, il forme un réseau d'écoute indispensable à la boucle sensori-motrice permettant une protection de l'articulation.

1.5 Lésion du LCA et prise en charge

Malgré une possible sous-estimation, nous considérons que 10 à 28% des lésions du LCA sont des ruptures partielles. [24] Nous nous intéresserons exclusivement aux **ruptures complètes** autrement dit à la déchirure totale des fibres du LCA correspondant au grade 3. [20]

1.5.1 Mécanismes lésionnels à l'origine de la rupture

Bien que la prévention prenne désormais une place importante, la fréquence des blessures du LCA reste élevée. Le ligament croisé antérieur est le plus faible du pivot central. C'est celui qui cède dans **75%** des cas. Le mécanisme n'est souvent **pas violent** hormis chez les gymnastes.

Sa lésion peut survenir lors : [20,25]

- D'un **contact direct (25%)**. Une force externe est appliquée directement sur le genou et représente la cause du traumatisme.
- D'un **contact indirect (5%)**. Une force externe, pas directement sur le genou blessé, a été appliquée dans le mécanisme du traumatisme mais n'en n'était probablement pas la cause.
- D'**absence de contact (70%)**. Aucun contact avec un tiers n'était appliqué au moment de la blessure. Cette dernière résulte d'un propre mouvement de la personne. La plupart des lésions se font sans contact, notamment dans les sports collectifs et pivots.

Une lésion du LCA peut survenir au cours d'un **changement de direction**, d'un **saut** ou d'un **arrêt brutal** avec une **décélération** ou une **accélération** du genou.

Les principaux mécanismes lésionnels sont produits lors d'un : [26]

- Traumatisme en **flexion, rotation externe** de tibia associé à un **valgus**. [6]
- Traumatisme en **varus, légère flexion** et **rotation interne** de tibia. [8]
- Traumatisme en **hyperextension** provoquant sa lésion par rétrécissement de l'échancrure intercondylienne. (Ex : un shoot dans le vide ou lors d'une réception d'un saut).
- Traumatisme en **hyperflexion** par suite d'une chute en position accroupie. La contraction du quadriceps lors du redressement à partir d'une position fléchie vers l'arrière peut être source de lésion.

Lors d'une mise en charge rapide le LCA aura tendance à se déchirer au milieu alors que lors d'une mise en charge lente il se déchirera préférentiellement au niveau de son insertion tibiale ou fémorale.

1.5.2 Diagnostic de rupture du LCA

Le diagnostic de rupture du ligament croisé repose sur : [6]

- **L'anamnèse** : Les signes alertants sont les suivants : craquement, dérobement, instabilité du genou, difficulté à le fléchir et à le tendre, douleur majorée lors de l'appui du pied au sol, gonflement dans les minutes et hémarthrose dans les heures qui ont suivi le traumatisme. [27]
- **L'examen clinique** : [28] L'explication de la réalisation des tests figure en annexe. [Annexe 5]
 - La **manceuvre de Lachman** (sensibilité 85%, spécificité 94%) est le test de diagnostic clinique le plus précis. [29]
 - Le **test du tiroir antérieur** (sensibilité 49% et spécificité 58% en période aiguë, sensibilité 92%, spécificité 91% en période chronique).
 - Le **jerk test de Hughston**, pivot-shift ou ressaut rotatoire (sensibilité 24%, spécificité 98%).
 - Le **signe de levier ou test de Lelli** [30]
- **L'imagerie** : Le diagnostic peut être confirmé par Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) (sensibilité 86%, spécificité 95%) ou arthroscanner (sensibilité 92 à 100% et spécificité 95 à 100%) si contre-indication à l'IRM. [29]

Il faut toujours veiller à écarter une éventuelle fracture. Pour cela, la règle d'Ottawa doit être appliquée après un traumatisme aigu du genou en tant qu'outil de diagnostic différentiel. Une radiographie peut aussi être effectuée. Lors d'un épanchement important il faut aussi exclure une luxation de rotule. Enfin, il faut vérifier l'intégrité des structures environnantes : ligaments, cartilages et ménisques. [6]

La présence d'une **fracture de Segond**, visible sur une radiographie, est considérée comme un **signe indirect d'une rupture du LCA**. En 1879, le Docteur Segond, a démontré qu'une rotation interne et une contrainte en varus provoquait la mise en tension d'une bande de tissu résistante (actuel LCA) dans le compartiment latéral du genou. La lésion par traction de celle-ci entraînerait une avulsion corticale du plateau tibial proximal latéral. En effet, une **association forte** serait présente puisque dans **75 à 100%** des cas elle serait associée à une rupture du LCA. [31]

1.5.3 Conséquences biomécaniques de la rupture et décision d'intervention

Une rupture ne signifie pas qu'il n'y a plus aucune stabilité. En revanche, la **cinématique du genou** se trouve **modifiée**. Comme vu précédemment, la stabilité de l'articulation est due à une stabilisation passive, active et à la proprioception. La rupture du LCA entraîne une **altération de la stabilisation passive et du retour proprioceptif nécessaire à l'activation musculaire**. [21]

Lorsque le LCA est intact, l'**axe de rotation** du genou est normalement **centré** sur le plateau tibial. Une contrainte en rotation médiale induit une avancée du plateau tibial latéral équivalente au recul du plateau tibial médial. [3]

En revanche, lors d'une rupture du LCA, l'axe de rotation subit une **translation sur le bord médial du plateau tibial médial**. Donc, une même contrainte en rotation médiale est responsable d'un déplacement plus important du plateau tibial latéral, d'une augmentation de la translation tibiale antérieure et d'une rotation médiale tibiale accrue. [3]

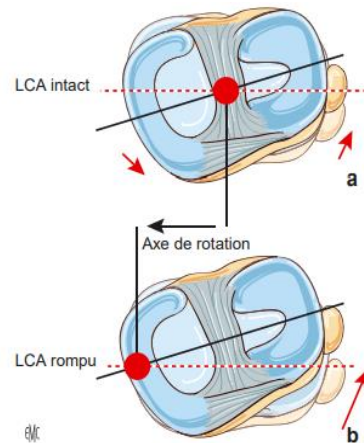


Figure 6: Schéma illustrant l'axe de rotation du genou lorsque le LCA est sain vs rompu [3]

Les figures ci-dessous indiquent les déplacements en mm de la translation tibiale antérieure avec un LCA intact, une rupture de celui-ci ou d'un de ses faisceaux dans diverses amplitudes en réponse à des charges données. Les différences statistiquement significatives sont notées d'un astérisque (*) [32].

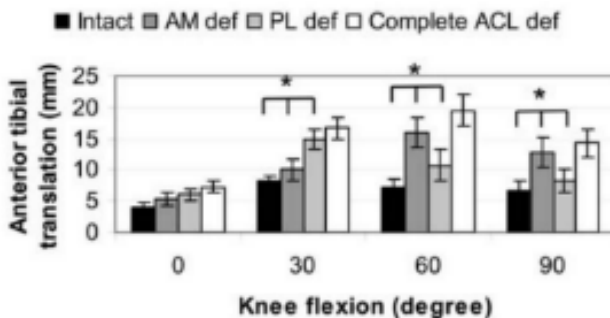


Figure 8: Histogramme indiquant les déplacements (en mm) de la translation tibiale antérieure à une charge antérieure de 134N à différents degrés de flexion [32]

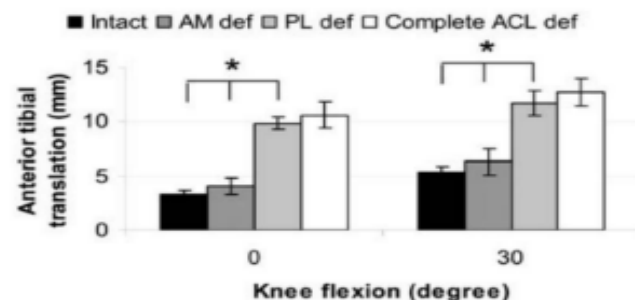


Figure 7: Histogramme indiquant les déplacements (en mm) de la translation tibiale antérieure à une charge rotatoire de 10 N.m de valgus et 4 N.m de couple tibial interne à différents degrés de flexion [32]

L'**objectif** après diagnostic est donc de **restaurer la fonction du genou** du patient, d'anticiper d'autres blessures, de diminuer le risque d'arthrose par une charge articulaire trop importante et d'optimiser la qualité de vie du patient au long cours. Une intervention chirurgicale est souvent nécessaire. [6]

Lorsqu'un ligament est rompu une décision de **réparation chirurgicale** est prise si le patient présente une **laxité clinique**, une **instabilité fonctionnelle** (avec déroboements), **une gêne** à la pratique sportive surtout dans des sports pivots et une douleur. La décision est donc appréhendée sous **deux angles** : **symptomatique** (instabilité) et **anatomique** (le devenir du genou).

La chirurgie du LCA permet de restaurer la stabilité de l'articulation et d'éviter l'apparition prématurée de lésions dégénératives (lésions cartilagineuses ou méniscales, sources d'arthrose). La décision dépend de **nombreux critères** : l'âge (les jeunes sont souvent opérés), le sport pratiqué, la profession, l'ancienneté de la lésion, l'importance de la laxité, la présence ou non de lésions associées. [3,5]

Aucune étude ne fait état d'un seuil de score fonctionnel en dessous duquel il conviendrait d'effectuer une intervention chirurgicale. Il est préférable d'attendre et de réaliser de la kinésithérapie préopératoire avant d'effectuer une reconstruction du LCA afin de diminuer les séquelles dues à celle-ci.

1.5.4 Réparation chirurgicale

L'**arthroscopie** est généralement la **technique de choix** utilisée pour effectuer une ligamentoplastie du LCA. Elle permet une récupération plus rapide et diminue également la morbidité. En 2008, **79%** des interventions étaient effectuées sous arthroscopie. [4]

Les techniques de reconstruction ont beaucoup évolué grâce aux connaissances accrues sur la biomécanique du LCA. Auparavant seul le faisceau antéro-médial était reconstruit mais une instabilité persistait chez beaucoup de patients.

Le greffon utilisé pour reconstruire le LCA peut être prélevé des tissus du patient, provenir d'un donneur décédé ou être un matériau synthétique.

Les différentes techniques d'**autogreffes** sont : [3]

- Technique de Kenneth-Jones (KJ) ou Bone Patellar Tendon Bone (BPTB): Le greffon est constitué du tiers central du tendon rotulien et de ses attaches osseuses rotulienne et tibiale. [Annexe 6]
- Technique DI-DT (droit interne (gracile) et demi tendineux (semi tendineux)) : Le greffon correspond au tendon du gracile et du semi tendineux pliés en deux afin de créer un ligament à 4 brins. [Annexe 7]
- Technique DT4 : Le greffon est constitué du semi tendineux, lui-même replié en 4.
- Tendon quadricipital (TQ) : Le greffon est constitué des deux couches superficielles du tendon quadricipital. Il est possible d'inclure une pastille osseuse présente sur la base de la patella.
- Technique de Macintosh : Le greffon est constitué du fascia lata auquel on peut ajouter le gracile.
- Plastie à double faisceau : Cette technique de reconstruction se rapproche le plus de la physiologie du LCA par la présence de deux faisceaux. Le gracile est utilisé pour le faisceau postéro-latéral et le semi tendineux pour le faisceau antéro-médial. Pour cette technique il y a donc deux tunnels tibiaux et deux tunnels fémoraux.

La technique d'**allogreffe** consiste à prélever un greffon provenant d'un tendon du **donneur** (Achille, tibia antérieur, tibia postérieur...) et permet de parer aux séquelles du site de prélèvement.

Quelle que soit la technique utilisée, un **tunnel tibial** et **fémoral** sera créé à l'aide d'un **foret**. Ils permettront de faire passer le greffon au cœur de l'articulation et de le placer au bon endroit. Ce greffon sera ensuite fixé au niveau des tunnels au moyen d'une vis d'interférence, d'un système transfixiant, d'agrafes, d'un système endobouton et du système TLS (Tape Locking Screw). [Annexe 8]

Toutes les techniques présentées ci-dessus présentent des avantages et des inconvénients. Si bien qu'aucune d'elles ne présente une efficacité supérieure. Le choix de la technique est **multifactoriel**.

A l'issue de l'intervention chirurgicale, un processus de **ligamentisation** va être mis en place. Au cours de celui-ci, le **greffon se « transforme » en ligament** en modifiant sa structure.

Il est composé de **trois phases** et dure environ un à trois ans : [3,6]

- 1) **Phase précoce** : cicatrisation du greffon, nécrose centrale du greffon et hypo cellularité, absence de revascularisation du tissu greffé et désorganisation des fibres de collagène
- 2) **Phase de prolifération** : remodelage collagénique et revascularisation significatifs
- 3) **Phase finale** : caractéristiques du greffon se rapprochent de celle du LCA sain

Il faudra donc faire attention à la **fragilité du greffon** et veiller à ne pas le surcharger au cours de la rééducation. En revanche, **appliquer des contraintes** sur celui-ci sera nécessaire afin de lui permettre d'avoir une bonne cicatrisation. [3]

1.5.5 Altérations retrouvées après reconstruction du LCA

Après reconstruction du ligament croisé antérieur le patient présente à la fois des **déficiences dues à la rupture** du ligament mais également des **déficiences dues à sa reconstruction**.

Le patient peut alors présenter les altérations suivantes : [6,27]

- Une **douleur** au niveau du site donneur
- Au niveau cutané, un **œdème** et des **adhérences** cicatricielles
- Une **raideur** articulaire avec limitation des amplitudes articulaires
- Une **altération** de la **sensibilité superficielle** et de la **proprioception**
- Un **déficit de force**, de **volume** et d'**endurance** du **quadriceps** et des **ischios jambiers** (conséquence précoce et inévitable). Une **réduction** de la **force neurologique** de ces muscles est fréquente par **ralentissement de la transmission des signaux**.

En post chirurgie, l'œdème ainsi que l'inflammation sont responsables d'une altération du message nerveux transmis aux mécanorécepteurs. Les patients peuvent rencontrer une difficulté ou une incapacité à recruter efficacement les unités motrices du quadriceps nécessaire à son activation motrice. C'est un processus de réaction du corps à la chirurgie appelé **inhibition arthrogénique**. Il y a une diminution des informations envoyées au cortex frontal. De plus, les tendons de reconstruction sont moins riches en propriocepteurs que le ligament natif. Le feedback peut donc être altéré. [33]

L'immobilisation, nécessaire à la protection du greffon, la douleur et l'inactivité relative entraînent une **perte rapide de la masse maigre**. [34]. Parfois, cette immobilisation est supprimée par certains chirurgiens pour diminuer l'amyotrophie et la raideur du genou. En effet, **l'atrophie musculaire est corrélée à une diminution de force dont le témoin est une diminution de la section transversale du muscle**. [35] Encore **6 à 12 mois après reconstruction** on observe un **déficit d'environ 7%** du volume total du quadriceps dans le membre opéré par rapport au côté sain. A noter qu'une baisse de la force quadricipitale entraîne une surcharge articulaire laquelle peut être source d'arthrose.

Plusieurs études ont mis en avant le développement d'une stratégie de hanche (activation majoritaire des ischios jambiers) chez les patients après reconstruction du LCA. Les ischios jambiers sont également impactés par l'intervention et l'immobilisation. Cependant ils sont soumis à une inhibition arthrogénique moindre favorisant une asymétrie quadriceps/ ischios jambiers. [11]

L'importance de l'atteinte des ischios-jambiers et du quadriceps varie aussi en fonction du site donneur.

La perturbation des schémas de mouvements naturels peut provoquer des difficultés dans le contrôle musculaire et dans la coordination pouvant être dangereux à terme. [35,36]

Il n'existe pas de protocole de rééducation type. La rééducation doit s'adapter au patient, aux délais et dépend de nombreux autres facteurs. En revanche, **certaines étapes clefs** doivent être **respectées** pour permettre une **récupération optimale** et une **protection du greffon**. C'est une rééducation longue s'étalant sur **6 à 9 mois en moyenne**. En annexe, est fourni le protocole dit « classique » validé par la HAS. [Annexe 9]

1.6 Le Blood Flow Restriction

1.6.1 Histoire de la technique [37]

Le **blood flow restriction**, renforcement en « restriction du flux sanguin » de son ancien nom **KAATSU**, est une technique inventée au Japon en **1966** par le **Docteur Yoshiaki Sato**. L'étymologie vient de KA qui signifie « supplémentaire » et ATSU qui signifie « pression ». Elle s'est d'abord développée aux Etats-Unis et tente désormais de se faire une place parmi les méthodes de renforcement connues en Europe. Elle est relativement **récente en France**. Des études de plus haute preuve sont nécessaires pour standardiser son utilisation. D'abord elle fut utilisée dans le domaine de la **musculature** et du **culturisme**. Désormais cette technique s'étend à la **kinésithérapie du sport** comme **outil de rééducation** après blessure.

Cette technique consiste à **occlure totalement le flux veineux** et **partiellement le flux artériel**. Elle se fera au moyen d'un **brassard gonflable** ou d'une **bande de restriction** appliqué le plus proche possible de la **racine du membre**. Dans le cas d'une atteinte au genou il sera donc dans la **partie haute** de la **cuisse**. Afin d'éviter un risque de compression nerveuse nous ne les mettrons jamais sur la partie distale du membre.

Cela paraît étonnant de vouloir bloquer la circulation veino-artérielle dans un membre pendant la réalisation d'exercices mais nous verrons ci-après les mécanismes mis en jeu et les bénéfices que cette technique peut apporter.

1.6.2 Mécanismes physiologiques [37–39]

1.6.2.1 Rappels généraux sur le muscle, la force et l'hypertrophie

La diminution de la douleur et la récupération de la fonction physique après une blessure sont une préoccupation majeure dans le projet du patient et du thérapeute. Comme dit précédemment, les déficits musculaires et principalement du quadriceps sont quasiment permanents après reconstruction du LCA et impactent la qualité de vie du patient à court, moyen et long terme.

Les objectifs du renforcement musculaire sont un **gain de force** et de **volume musculaire**. Ce gain peut s'obtenir via : le recrutement neuro-musculaire, la réponse hormonale à l'effort, les adaptations cardio-respiratoires, vasculaires et structurelles.

Pour rappel, le muscle est constitué de **faisceaux musculaires** eux-mêmes organisés en **fibres musculaires** contenant un certain nombre de cellules musculaires striées squelettiques appelés **rhabdomyocytes**. Le **sarcomère** est l'**unité contractile** du rhabdomyocyte. Les sarcomères s'attachent entre eux pour former des **myofibrilles**. Ces dernières sont constituées de **myofilaments** constitués de **filament fin d'actine** et **épais de myosine** (protéines musculaires). C'est le glissement des myofilaments fins le long des myofilaments épais qui permet la contraction musculaire par raccourcissement du sarcomère. [40]

Selon Gilles **Cometti**, le développement de la force dépend :

- **Des facteurs structuraux** : L'hypertrophie, les fibres sollicitées, l'augmentation des sarcomères.
- **Des facteurs nerveux** : Ils permettent un développement de la force grâce à un meilleur recrutement des fibres, une meilleure synchronisation des unités motrices et une meilleure coordination intermusculaire.
- **De l'étirement** : Un muscle ayant été préalablement étiré sera responsable d'un développement de force supérieur.

Une méta analyse rapporte que l'utilisation du BFR entraîne un **gain de force** au cours des **deux premières semaines grâce à l'hypertrophie** donc aux **facteurs structuraux** et non aux facteurs nerveux qui rentreraient en jeu ultérieurement contrairement à ce qui est communément admis au cours d'un renforcement musculaire classique. Des **gains hypertrophiques** seraient significatifs dès la **troisième semaine d'entraînement**. [41]

Il existe **3 modes de travail** pour développer de la **force musculaire** d'après **les travaux de Zatsiorski** [42]:

- **L'effort maximal**, le plus efficace à minimum 80% de la résistance maximale (RM)
- **L'effort répété**, jusqu'à épuisement musculaire inférieur à 80% de la RM
- **L'effort dynamique**, à vitesse maximale inférieur à 80% de la RM

Lorsque l'on travaille la force, on travaille **inéluçtablement** l'hypertrophie et inversement.

Effectivement l'**hypertrophie** correspond à :

- Une **croissance des myofibrilles** par addition des sarcomères (lorsque la synthèse protéique : **anabolisme** dépasse la dégradation : **catabolisme**)
- Un **développement des éléments non contractiles** (sarcoplasmiques)

- Une **augmentation de la vascularisation**.

Rien, à ce jour, a été validé chez l'Homme, concernant l'augmentation du nombre de fibres musculaires appelée hyperplasie.

L'hypertrophie induit une **augmentation de la taille des tissus musculaires** (élargissement des éléments contractiles et développement de la matrice extracellulaire). A noter que l'hypertrophie sarcoplasmique peut entraîner une plus grande masse musculaire sans augmentation concomitante de la force.

1.6.2.2 *Les mécanismes clefs de l'hypertrophie et BFR*

Trois mécanismes clefs contribuent au développement des myofibrilles et donc de l'hypertrophie : les lésions musculaires, le stress mécanique et le stress métabolique.

Le **stress mécanique** est en lien avec la répétition des efforts de contractions. La tension se rapportant au raccourcissement des myofibrilles est un facteur majeur dans la croissance musculaire. La filière énergétique sollicitée est la **filière anaérobie créatine phosphate**. Des mécanismes cellulaires de transduction convertissent l'énergie mécanique de traction au niveau des membranes des cellules musculaires en un signal chimique : la mécano-transduction. Cette dernière participe à la genèse de protéines impliquées dans la croissance du muscle. Ce signal entraîne la production d'insuline, la libération de monoxyde d'azote et la stimulation de la voie mTOR (mammalian Target Of Rapamycin). Il s'agit d'une protéine sérine/thréonine-kinase. Il provoque une **stimulation de cellules satellites**, d'**hormones de croissance**, de **testostérone** et une **synthèse protéique de myofilaments**.

Bien qu'il soit communément considéré comme le principal responsable de la réponse hypertrophique, de nouvelles études se penchent davantage sur l'effet du stress métabolique notamment dans l'utilisation du BFR.

Le **stress métabolique** représente le stress **le plus sollicité** lors de l'utilisation de la **technique de restriction du flux sanguin** pour induire une hypertrophie musculaire et un gain de force. En effet, l'occlusion crée une **ischémie tissulaire**. L'absence relative d'oxygène dans les muscles crée un **environnement hypoxique** intra musculaire. Il y a une accumulation de métabolites : lactates, ion phosphates inorganiques (Pi) et protons (H+) dans les cellules musculaires engendrant une **acidose métabolique locale**. La filière énergétique sous-jacente est la **filière anaérobie glycolyse**. Cette modification de l'homéostasie provoque une **croissance de l'endothélium vasculaire**, un **gonflement cellulaire**, une **réponse inflammatoire** et un **stress métabolique important** qui est à l'origine de la production d'**hormones anabolisantes**.

L'accumulation de métabolites provoque une augmentation de testostérone, de l'hormone de croissance (Growth Hormone ou GH) qui elle entraîne une augmentation de l'Insuline-like Growth Factor (IGF). Ce dernier est responsable de la prolifération de cellules satellites, de la **synthèse des protéines**, de l'**augmentation du trophisme musculaire**, de la **section transversale** et de la **force**. A cela s'ajoute des espèces réactives à l'oxygène qui stimulent l'anabolisme.

L'accumulation de lactate induite par la glycolyse anaérobie encourage le gonflement cellulaire. Celui-ci stimule la synthèse des protéines et diminue leur dégradation. Les lactates activent aussi les interleukines 6 (IL-6) ; les neutrophiles et les macrophages. Les interleukines (myokines) induisent des

modifications de l'endothélium vasculaire et activent le complexe mTORc1, un des deux complexes de l'enzyme mTOR, qui contrôle la synthèse protéique, la prolifération cellulaire et la croissance. Les interleukines, les neutrophiles, les macrophages et l'enzyme mTOR interagissent directement avec les cellules satellites en les activant, les différenciant et en favorisant leur prolifération.

Ainsi, cette réponse inflammatoire ainsi que les autres mécanismes mis en jeu permettent un **remodelage du muscle squelettique** avec un recrutement plus important des fibres **musculaires de type II** principalement (à contraction rapide). Il y a une **diminution des myokines catabolisantes** (par exemple la myostatine) et une **augmentation des myokines anabolisantes** ainsi qu'un **recrutement plus important des fibres**. [43].

Il semblerait que le stress métabolique créé par l'utilisation de la restriction du flux sanguin ait un effet de **potentialisation du stress mécanique**, les deux étant intimement liés. Il peut compenser une faible tension mécanique pour induire un gain de force. La diminution du flux sanguin apporté au membre entraîne une modification de la demande énergétique laquelle entraîne une fatigue plus rapide et donc un recrutement plus important d'unités motrices et de fibres de type II.

Ci-dessous voici sous une forme simplifiée un schéma de cette cascade métabolique

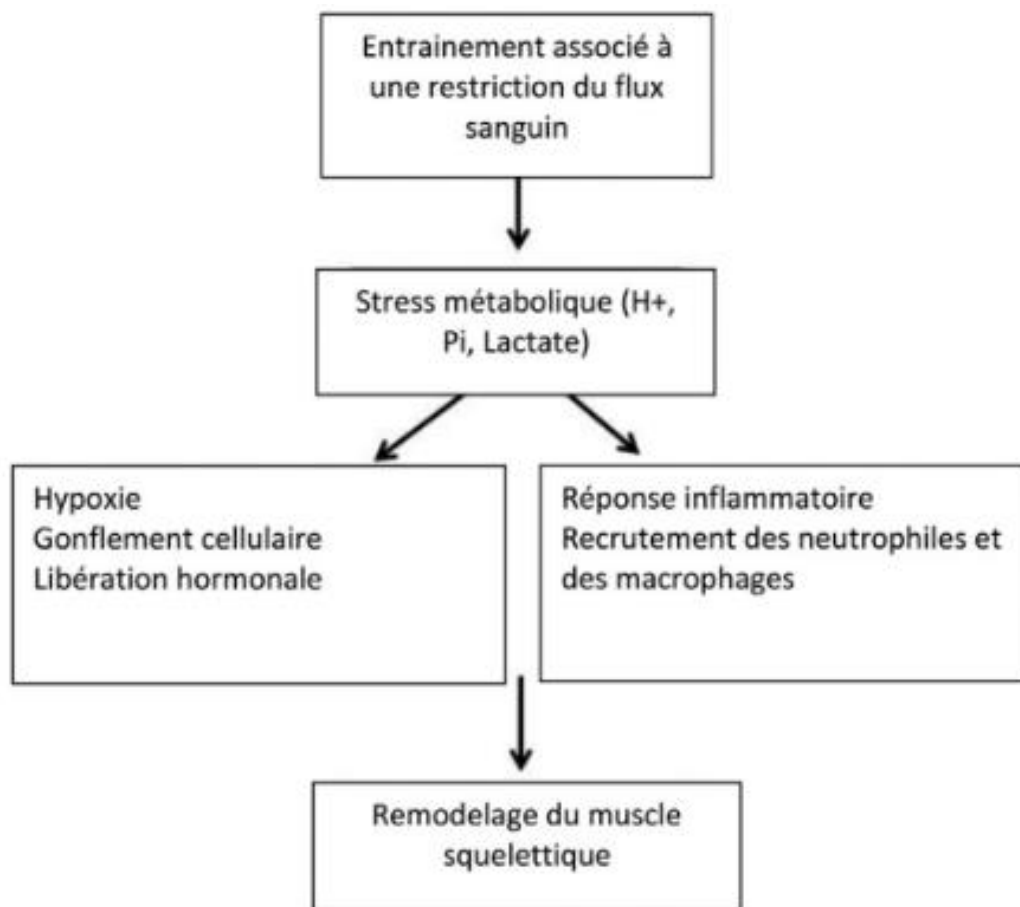


Figure 9 : Schéma illustrant le rôle du stress métabolique induit par l'entraînement à la restriction du flux sanguin, conduisant à la stimulation anabolique et la réponse inflammatoire pour améliorer les adaptations musculaires. [37]

Les **lésions musculaires** surviennent lorsque les sarcomères ne parviennent pas à contrer la résistance. Cela provoque des **microlésions des sarcomères / fibres musculaires**. Les lésions se produisent lors d'un **effort intense** en intensité et force et **souvent** lors d'un **travail excentrique**. L'étirement forcé des fibres musculaires provoque alors des dommages musculaires (catabolisme) réparables et une inflammation réactionnelle. De nouvelles protéines musculaires sont synthétisées (anabolisme) grâce à l'activation de cellules satellites et d'hormone de croissance après nettoyage des dommages cellulaires. **Ce processus n'est que peu sollicité lors de l'utilisation de la technique BFR associée à des exercices à faible intensité**. En effet, les lésions musculaires resteraient **mineures** lors de l'utilisation de cette technique. [44,45]

Cependant les exercices sources de lésions musculaires sont bien connus pour activer des cytokines pro-inflammatoires et des cellules immunitaires. Or, nous remarquons qu'il y a une réponse inflammatoire (IL-6, macrophages, neutrophiles). Plusieurs théories permettent de justifier la présence d'IL-6 notamment la filière anaérobie glycolyse et l'épuisement du glycogène et l'hypoxie intramusculaire. De même, l'hypoxie, les médiateurs métaboliques et l'IL-6 médiés par le BFR pourraient expliquer le recrutement des macrophages et des neutrophiles participant à l'amélioration du remodelage des muscles squelettiques. Ainsi, il y aurait un lien entre ces différentes théories et la réponse inflammatoire sans pour autant qu'il y ait de lésions musculaires significatives. [46]

Lorsque l'on cherche à solliciter le stress **mécanique** on réalisera plutôt des **séries courtes à charges élevés** avec un temps de repos **élevé**. En revanche, lorsque l'on cherche à solliciter le stress **métabolique**, les séries seront plutôt à **charge faibles** avec des **faibles** temps de repos. Elles seront **longues**, parfois jusqu'à l'épuisement du muscle appelé « **échec musculaire** ». Cela correspond au moment où une répétition supplémentaire est impossible.

Ainsi, le BFR agit comme un **accélérateur bio-physiologique**, déclenchant une série de réponses métaboliques visant à augmenter **la force et l'hypertrophie musculaire** en intensifiant la production hormonale, la croissance musculaire, les adaptations physiologiques et en stimulant les fibres musculaires de type II. Tous ces mécanismes ne sont encore, à ce jour, pas totalement expliqués. En parallèle, elle permettrait une **amélioration de la VO2max** [47] et **de la densité osseuse** [48]. Elle vise à augmenter le potentiel hypertrophique **sans forcément utiliser de charges lourdes et donc sans augmenter les contraintes mécaniques** sur le système musculo-tendineux car cela peut nuire en post chirurgie et être douloureux. [34,49] En effet, elle permettrait de réduire les contraintes mécaniques et les dommages musculaires par rapport à d'autres techniques de rééducation.

1.6.3 Modalités d'application

1.6.3.1 La pression d'occlusion [44,50]

La pression d'occlusion du membre, ou Limb Occlusion Pressure (**LOP**), représente la **pression minimale nécessaire** pour réaliser une occlusion complète. La pression choisie doit être suffisamment importante pour **occlure le retour veineux** du muscle mais assez faible afin de **conserver l'afflux artériel** à l'intérieur de celui-ci. Elle sera prise en position couchée ou en position d'exercice et mesurée avec une sonde DOPPLER, un oxymètre de pouls ou directement par l'appareil BFR.

Le principal risque qui ternit la réputation du BFR repose sur le fait d'utiliser des bandes de compression sans avoir de contrôle précis sur le pourcentage d'occlusion appliqué. En effet, dans la

littérature, il est fréquent d'utiliser la même pression d'occlusion pour chaque patient sans tenir compte de leurs différences. La pression choisie doit prendre en compte à la fois **la taille du membre** et **la taille du brassard**. Un membre plus volumineux nécessite probablement une pression plus importante. Plus le brassard est large moins une pression élevée est nécessaire. De plus, une **étroitesse trop importante** des bandes peut entraîner des **contraintes localisées** et compromettre la transmission de la pression. Dans ces cas-là, l'efficacité de la technique peut être altérée et la sécurité impactée.

Pour pallier ce problème, et prendre en considération les différences entre les patients, il est préférable de prendre un **pourcentage** de cette occlusion artérielle. Il est alors admis que l'entraînement doit se situer dans les plages de pression allant de **60 à 80% de la LOP** pour les membres **inférieurs** afin de **maximiser le recrutement des fibres musculaires à contraction rapide** (de type 2) et de **maximiser les adaptations musculaires**.

1.6.3.2 Les différents matériels de restriction du flux sanguin

Il existe différents équipements pour induire une restriction du flux sanguin. Rappelons que peu importe la technique, le temps d'application ne devra pas excéder **30 min par demi-journée**. [37] De nouveaux appareils permettent un **calcul automatique de la LOP** et même parfois un **ajustement permanent** de la pression d'occlusion pendant l'exercice grâce à un système de calibrage par l'intermédiaire de **capteurs**. Voici-ci-dessous les modèles les plus retrouvés dans la littérature ou la pratique ainsi que leurs caractéristiques (avantages, inconvénients). Il en existe d'autres.



Figure 10 : Exemple d'équipement

Ce système possède un manomètre permettant de mesurer la pression artérielle. Il se compose d'une poire et d'une valve qui libère la pression dans la bande. Ces bandes contiennent des déflecteurs ainsi qu'une chambre à air extensible qui se gonfle de façon uniforme et comprime le membre. Elles sont peu onéreuses.⁴



Figure 11 : Exemple d'équipement

Ce système dispose de manchons de diverses tailles. Il s'agit d'un système de compression personnalisé et automatique conçu pour calculer la LOP de façon rapide et sécuritaire. La pression est ensuite réglée de façon automatique et s'affiche à l'écran permettant un feedback. C'est une technique précise permettant un ajustement de la LOP. Inéluctablement elle est plus onéreuse que la précédente.⁵

⁴ <https://occlusioncuff.com/> (Consulté le 19/11/2023)

⁵ <https://www.delfimedical.com/pts-tourniquet-system/> (Consulté le 19/11/2023)



Figure 12 : Exemple d'équipement

Cette technique est presque identique à la précédente. Cependant elle utilise une application téléphonique connectée via un système Bluetooth à un appareil de compression. Elle permet aussi de mesurer automatiquement la LOP du patient mais ne s'ajuste pas au cours de l'entraînement. Le système Bluetooth permet une simplification de l'utilisation par absence de fil. Elle est moins onéreuse.⁶



Figure 13 : Exemple d'équipement

Le système est capable d'effectuer une analyse physiologique et d'adapter la pression d'occlusion au membre du patient et de l'ajuster. Il est doté d'un système de feedback permettant de voir la pression appliquée ainsi que d'autres paramètres du protocole d'exercices mis en place. Il existe plusieurs tailles de manchons. C'est une technique précise, permettant un contrôle et une adaptation au cours de l'exercice. Inéluctablement cette technologie est onéreuse.⁷

1.6.3.3 Association de cette technique à la rééducation [51]

Le patient suit un **programme d'exercices en parallèle**. Il y a un **manque de normalisation** dans les **protocoles BFR**. Les exercices sont souvent réalisés entre **20 et 40% de leur résistance maximale** avec **4 séries** composées de **30 répétitions pour la première** et **15 répétitions pour les suivantes** (dû à la fatigue provoquée par l'accumulation de métabolites) avec un **temps de repos faible de 30 secondes** permettant une potentialisation du stress métabolique. [1] Le délai de restriction sera compris entre 5 à 10 minutes par exercice avec une reperfusion entre les exercices. La vitesse d'exécution sera de 1 à 2 secondes en concentrique et en excentrique. Des études indiquent que les gains de force et de trophicité s'obtiennent avec des entraînements à raison de deux à trois fois par semaine et non plus, avec un repos de 48 heures minimum entre les séances afin de faciliter les adaptations moléculaires nécessaires à l'hypertrophie et au gain de force. [Annexe 10] Beaucoup d'exercices peuvent être réalisés. Ils doivent être spécifiques au patient et adaptés à sa compréhension et ses capacités. Ceux les plus retrouvés dans la littérature sont : les extensions de genou à partir de la position assise, la presse à jambes, la chaise à ischios, les squats... [37]

Ils devront donc calculer la résistance maximale autrement dit la charge que nous pouvons soulever qu'une seule fois pour ensuite travailler en pourcentage de cette RM. La formule la plus connue permettant de calculer la 1RM est celle d'Epley : $1RM = \text{Poids soulevé} \times (1 + \text{nombre de répétition} / 30)$.

1.6.3.4 Les contre-indications [52]

La littérature n'est pas encore formelle sur les patients ne pouvant pas pratiquer cette technique. Il n'existe **pas de recommandations de bonnes pratiques** pour les Masso-Kinésithérapeutes, en France. La balance bénéfique / risque doit être étudiée au cas par cas. Un **avis médical** peut être exigé. Une étude caractérisant les effets indésirables survenus recense les **contre-indications** suivantes :

⁶ <https://airbandsbfr.com/> (Consulté le 19/11/2023)

⁷ <https://mad-up.com/fr/> (Consulté le 19/11/2023)

antécédent de thrombose veineuse profonde, d'embolie pulmonaire, de troubles cardiaques, de troubles de la coagulation (prise de médicaments anticoagulants) et d'hypertension artérielle. Les patients sont souvent **contre-indiqués à l'application de ce type de protocole** s'ils présentent : Un âge supérieur à 60 ans, une grossesse, un tabagisme, une obésité (IMC>30), un mauvais système circulatoire, un diabète, un état infectieux, une maladie génétique des globules rouges, une atteinte rénale, un cancer, une blessure ouverte, une greffe vasculaire ou cutanée et une fragilité cutanée pouvant être aggravée par un frottement des bandes.

Cette technique n'est **pas sans risque (risque de lésion cutanée, nerveuse, artérielle et veineuse, risque de rhabdomyolyse, d'ischémie, de thrombose veineuse profonde, de brûlure, d'engourdissement, et d'évanouissement)**. Cependant ils sont **presque exclusivement** dus à une **mauvaise application** de la technique : non-respect des contre-indications, temps d'application supérieur à 30 min, mauvais placement et mauvaise taille du brassard ou défaut de réglage de la pression.

Comme dit précédemment chaque patient à sa propre pression d'occlusion maximale. C'est pourquoi il est important **d'individualiser les réglages de l'appareil de BFR** afin d'obtenir une LOP adaptée à chaque patient. Il faut veiller à bien expliquer aux patients l'intérêt de la technique, ses modalités d'application, son fonctionnement et le ressenti qu'il doit avoir. En cas de sensation de fourmillements, le réglage doit être revu car une compression nerveuse peut en être responsable. Veillez à ce que le patient ressente bien la différence entre une compression nerveuse et la sensation due au stress métabolique.

1.7 Intérêt de cette revue de littérature

Comme évoqué antérieurement, la rupture et la reconstruction du LCA est un évènement qui touche une **population très large** et nombreuse. Après reconstruction, les patients présentent inéluctablement des **douleurs** et des **déficits de force et de trophicité** musculaire notamment du quadriceps ayant un effet négatif sur **leur fonction** et sur le **retour au sport**. La diminution du volume musculaire du quadriceps peut atteindre **33%** et l'atrophie peut se manifester en seulement une semaine. **Six mois** après la chirurgie, nous notons encore une perte de force du quadriceps pouvant atteindre **30%** et **10 à 15 %** à **un an**. [53] Une méta analyse effectuée sur des patients ayant subi une reconstruction du LCA rapporte que 82% d'entre eux ont repris le sport, 63% sont revenus à leur niveau avant blessure, 44% sont retournés au sport de compétition et 85% ont atteint une fonction normale de genou lorsqu'ils ont été évalués après l'opération à l'aide du questionnaire International Documentation of the Knee sur un suivi moyen de 41,5 mois. [54] Même si l'absence de retour au sport ou la réduction de l'activité est souvent due à une appréhension ; une fonction altérée peut en être l'unique raison. La qualité de vie des patients se trouve atteinte, c'est pourquoi nous avons un rôle à jouer très important. La **prise en charge** est **longue** s'étalant sur **6 à 9 mois** de rééducation en moyenne à raison de **2 à 3 séances par semaine** [Annexe 9].

Il a été démontré que la **rééducation de la fonction du quadriceps diminue la douleur et améliore la fonction du genou**. [49] En effet, comme vu précédemment le quadriceps a une fonction primordiale de stabilisateur actif du genou.

L'entraînement avec des **charges élevées** (70% de la RM), un **faible nombre de répétitions**, de **longs intervalles de repos** (2 à 3 minutes) entraîne une plus **grande tension mécanique**. Il a donc fait ses

preuves dans **l'augmentation de la force** [55] et de **l'hypertrophie du quadriceps** chez des patients ayant une perte de force de celui-ci et cela dès trois semaines d'entraînement. [56]

Cependant ce type d'entraînement, malgré ses qualités, engendre des douleurs chez les patients ayant subi une reconstruction du LCA car le stress mécanique est parfois trop important pour être supporté par le genou. De plus, les Delayed Onset muscle Soreness (DOMS), plus communément appelées courbatures, sont plus souvent rapportées lors d'un entraînement à charges élevées chez des personnes âgées et non entraînées et lorsque l'on va jusqu'à l'échec.[45]

En effet, certains patients ne peuvent pas tolérer les requis nécessaires pour stimuler une croissance musculaire. Cela peut être attribuable à de nombreuses raisons : une **douleur**, une **appréhension**, une **faible tolérance** à l'effort, une **faible capacité des tissus**, une **diminution** ou une **absence d'appui**, une **précaution liée à la charge** ou une **contre-indication** formelle du chirurgien pendant une certaine période pour protéger le greffon par exemple.

Or, l'entraînement avec des **charges faibles** (20 à 30% de la RM), un **nombre modéré de répétitions**, **plusieurs séries et des faibles temps de repos stimule davantage le stress métabolique** et donc **l'hypertrophie**. Il stimule de façon moindre la force musculaire surtout s'il n'est pas effectué de manière répétée (jusqu'à la fatigue) ou à vitesse maximale. [57]

En association avec la **restriction du flux sanguin**, ces exercices de **faible intensité** (30% de la RM) pourraient permettre une **amélioration de force et de trophicité plus importante** que les exercices de faible intensité seuls. [57] Effectivement, par son mécanisme physiologique, l'effet obtenu pourrait se **rapprocher** de celui obtenu avec des **exercices à haute intensité** (70% de RM). [58]

De plus, le stress métabolique induit par la restriction du flux sanguin aurait un effet de **potentialisation** du stress mécanique. Il pourrait donc être intéressant de l'utiliser pour des patients après reconstruction du LCA. Il a l'avantage d'offrir **moins de contraintes articulaires, tissulaires et mécaniques** et permettrait une **diminution de la douleur** articulaire souvent retrouvée chez les patients en rééducation de cette pathologie.

Pour rappel, **la douleur**, d'après l'association internationale pour l'étude de la douleur, est une « expérience sensorielle et émotionnelle désagréable associée à une lésion tissulaire réelle ou potentielle ou décrite comme telle »⁸. Elle est donc importante à prendre en compte bien que subjective. De même, **la fonction physique** du patient c'est-à-dire, ses symptômes et ses activités sont des critères **non négligeables dans la rééducation**.

Nous pourrions également nous demander ce que permettrait d'obtenir le BFR lorsqu'il s'additionne à des exercices de haute intensité sur ces mêmes critères chez des patients ayant eu une reconstruction du ligament croisé antérieur et ne présentant pas d'obstacle à son exécution.

Notre hypothèse est donc la suivante : **L'entraînement sous restriction du flux sanguin ou Blood Flow restriction (BFR) a un intérêt dans la prise en charge de la force, de la douleur et de la fonction physique du patient ayant subi une reconstruction chirurgicale du ligament croisé antérieur.**

⁸ <https://sante.gouv.fr/soins-et-maladies/prises-en-charge-specialisees/douleur/article/la-douleur> (Consulté le 17/11/2023)

2 Méthode

La méthode a été rédigée avant la réalisation de la revue ce qui explique le temps utilisé.

2.1 Critère d'éligibilité des études pour cette revue

Nous suivrons les **lignes directrices PRISMA** (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) pour la réalisation de cette revue de littérature. Il s'agit d'une **revue thérapeutique** car elle cherche à évaluer **l'efficacité, l'intérêt ou non** d'un traitement sur une pathologie spécifiée. Effectivement, elle a pour objectif de rechercher l'efficacité de la thérapie par restriction du flux sanguin ou Blood Flow Restriction associée à des exercices dans la prise en charge des patients ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.

2.2 Schéma d'étude :

Pour une revue thérapeutique, le type d'étude ayant le **niveau de preuve le plus important** est **l'essai clinique randomisé**. Ainsi, afin de mener de la meilleure des façons la réalisation de cette revue, nous sélectionnerons exclusivement des essais cliniques randomisés. Un essai clinique randomisé est un essai dans lequel la sélection des participants a été effectuée préalablement au moyen de **critères d'inclusion et d'exclusion et l'attribution dans les groupes** (minimum deux) est ensuite faite de façon **aléatoire**. L'un recevant par exemple le traitement l'autre un placebo ou un autre traitement.

La randomisation peut être :

- **Simple** : L'attribution dans les groupes se fait avec un « pile ou face » de manière numérique. En cas d'échantillon de petite taille il se peut qu'il y ait une inégalité entre les groupes.
- **Par bloc** : On divise en minimum deux blocs l'échantillon total grâce à un logiciel. Les blocs peuvent donc être égaux.

Dans notre revue, nous **accepterons les deux situations** présentées ci-dessus.

Les essais cliniques randomisés peuvent être :

- **A deux** (trois ou plus) bras : un patient appartient à un groupe et ne change pas.
- **Croisés** : les patients des deux groupes reçoivent le traitement. Chaque individu est comparé à lui-même en recevant une fois le traitement et une fois le placebo.
- **Corps divisés** : les patients reçoivent le traitement sur une partie de leur corps et le placebo sur une autre.

Dans notre revue, nous **n'utiliserons que des essais cliniques randomisés à bras**.

Concernant la randomisation, les essais cliniques peuvent donc être :

- **En double aveugle** : Ni l'administrateur ni le patient n'a connaissance du groupe auquel il appartient.
- **En simple aveugle** : L'administrateur ou le patient a connaissance du groupe auquel il appartient.
- **Ouverts** : Ni l'administrateur ni le patient sont en aveugles.

Dans notre revue, nous **accepterons les trois situations** présentées ci-dessus bien que cela puisse constituer un biais. Nous le prendrons en considération par la suite.

2.2.1 Population

La population comportera **des hommes et des femmes**. Nous n'incluons **pas** d'études portant **uniquement** sur des enfants (âge inférieur à 18 ans) afin de minimiser les relations avec la croissance ou l'anatomie infantile.

Les hommes et les femmes pourront être des athlètes élités, amateurs ou même ne pratiquer aucune activité physique. Ils devront avoir subi une **chirurgie de reconstruction du ligament croisé antérieur**. Aucune restriction ne sera appliquée quant à la technique de chirurgie choisie. Ils ne devront pas présenter de pathologies pouvant compromettre l'utilisation du BFR (cf. § 1.6.3.4)

2.2.2 Intervention

L'intervention sera l'**application de la technique de restriction du flux sanguin associée à des exercices de rééducation**. Le type d'exercice associé, leur d'exécution, le nombre de séries, de répétitions et le temps de repos sera **propre** à chaque essai.

De même, la durée d'application et le nombre de séances seront **propres** à chaque essai clinique.

2.2.3 Comparateur

Les comparateurs pouvant être inclus dans la revue seront soit **le même traitement en l'absence de BFR soit un autre traitement**.

Dans le cas d'un même traitement, les patients effectueront les **mêmes exercices** que ceux faisant partie du groupe expérimental mais **sans restriction du flux sanguin**.

Dans le cas d'un autre traitement, l'étude comparera l'intervention (BFR associé à des exercices à faible intensité) à des patients effectuant des **exercices à haute intensité sans BFR**.

2.2.4 Critères de jugement

Nous choisirons d'étudier **quatre** critères de jugement.

Le **critère de jugement principal** sera la **force musculaire**. Elle représente un des piliers du retour au sport. Elle sera mesurée par un **dynamomètre (isocinétique ou isométrique)**. Il permet une évaluation quantitative précise. Nous ajouterons lorsque les données nous le permettent la force **1RM** ou **10RM**.

Les **3 critères de jugements secondaires** seront la **douleur articulaire, la douleur musculaire et la fonction physique**.

La **douleur articulaire** sera évaluée par la sous échelle douleur **du questionnaire KOOS** (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score) (9 items avec 5 niveaux de douleur ou de fréquence), (coté de 0 à 100 où « 0 » correspond à une douleur intense et « 100 » une absence de douleur), [Annexe 11], ou **l'échelle de la douleur de Borg** (cotée de 0 à 10 où « 0 » représente une perception nulle et « 10 » très forte) ou encore **l'EVA** (échelle visuelle analogique) (cotée de 0 à 10 où « 0 » correspond à une absence de douleur et « 10 » représente une douleur intense).

La douleur musculaire sera aussi évaluée grâce à **l'échelle de Borg**.

Ce sont des évaluations subjectives mais importantes car elles permettent d'étudier des notions de la qualité de vie des patients.

La **fonction physique** sera évaluée par le **questionnaire IKDC** (International Knee Documentation Committee) [Annexe 12]. C'est un questionnaire subjectif d'autoévaluation comportant plusieurs items portant sur les symptômes, la fonction et l'activité sportive. Le score est exprimé en pourcentage où « 100 » correspond à une absence de restriction et de douleur.

2.3 Méthodologie de recherche des études :

2.3.1 Sources documentaires investiguées :

Pour la réalisation de cette revue nous réaliserons des recherches d'essais cliniques randomisés à partir de **septembre 2023 et jusqu'au 28 janvier 2024**. Nous utiliserons différentes bases de données : **Pubmed, Physiotherapy Evidence Database (PEDro) et Cochrane** majoritairement.

- **Pubmed** : principal moteur de recherche de données bibliographiques couvrant le domaine biomédical. Il offre un accès gratuit à MEDLINE, une base de données bibliographiques qui contient plus de 36 millions citations et compte rendus d'articles.⁹
- **PEDro** (Physiothérapie Evidence Database) : base de données électronique recensant plus de 60 000 essais, revues et recommandations cliniques qui étudient des interventions exclusivement dans le champ de la kinésithérapie.¹⁰
- La **Cochrane Library** est une bibliothèque qui recense trois bases de données : Cochrane Database of Systematic Reviews, Cochrane central Register of Controlled Trials-Clinical Trials et Cochrane Clinical Answers. Elle couvre le domaine de la médecine et de la santé. Elle est régulièrement actualisée et propose plus de 7 000 revues Cochrane et pas loin de 2 000 protocoles de revue en cours.¹¹

Nous réaliserons également des recherches complémentaires dans les références bibliographiques de revues ou d'articles. Nous nous servirons aussi de l'espace numérique et de livres mis à notre disposition.

2.3.2 Equations de recherche utilisées :

Sur les différentes bases de données les équations de recherches seront en **anglais**. Elles ne seront constituées que de mots clefs auxquels nous ajouterons un maximum de synonymes en accord avec les éléments PICO (population, intervention, comparateur, outcome) déterminés ci-dessus.

- Les mots clefs utilisés pour définir la pathologie seront les suivants :

((acl) OR (anterior cruciate ligament) OR (cruciate ligament) OR (cranial cruciate ligament) OR (anterior cruciate ligament reconstruction) OR (ACL reconstruction))

⁹<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?fbclid=IwAR1N8bCuUlrSHaTwrN2PVO0dtnHbN6ZRi1VXUAhH4KekyK9slzz628d1Ba> (Consulté le 17/11/2023)

¹⁰<https://pedro.org.au/french/?fbclid=IwAR25OydlWGiabtQ0ovk28NmDAVe4wjWkmaMjSW2LSGIO9Ibl0dEwZb5EMCa> (Consulté le 17/11/2023)

¹¹https://france.cochrane.org/cochrane-library?fbclid=IwAR1KJm0wa_o-kryvZmL6Bw5732uA2UGUgsCPD-5SwnL12R-y1RMtwjs7qTU (Consulté le 17/11/2023)

- Les mots clefs utilisés pour définir le traitement par restriction du flux sanguin seront les suivants :

((blood flow restriction) OR (restriction of blood flow) OR (blood flow therapy) OR (blood flow exercise) OR (blood flow restricted exercise) OR (pneumatic brace) OR (pneumatic cuff) OR (vascular occlusion))

Nous n'utiliserons pas de mot clef supplémentaire concernant la population. Nous n'ajouterons pas non plus de comparateur dans notre équation de recherche. Nous ferons ce choix afin de ne pas créer trop de « silence » et nous lierons et trierons les articles par la suite.

Nous avons utilisé les **termes MeSH** (Medical Subject Headings) afin de trouver des synonymes aux mots clefs. Nous avons également pris ceux inclus dans les articles ou revues.

Les équations de recherches diffèrent légèrement en fonction des bases de données utilisées.

Afin de faciliter la lecture nous recensons dans le tableau ci-dessous les équations de recherche correspondant aux différents moteurs de recherche utilisés.

MOTEURS DE RECHERCHE	EQUATIONS DE RECHERCHE
PUBMED	(((((blood flow restriction) OR (blood flow therapy)) OR (blood flow exercise)) OR (blood flow restricted exercise)) OR (pneumatic brace)) OR (pneumatic cuff) OR (vascular occlusion)) AND (((acl) OR (anterior cruciate ligament)) OR (cruciate ligament)) OR (cranial cruciate ligament)) OR (anterior cruciate ligament reconstruction)) OR (ACL reconstruction))
PEdro	<p><u>Recherche simple</u> : « blood flow restriction »</p> <p><u>Recherche avancée</u> :</p> <p>Abstract & Title : blood flow restriction</p> <p>Therapy : strength training</p> <p>Body Part : lower leg or knee</p> <p>Subdiscipline : orthopaedics</p>
Cochrane Library	((blood flow restriction) OR (restriction of blood flow) OR (blood flow therapy) OR (blood flow exercise) OR (blood flow restricted exercise) OR (pneumatic brace) OR (pneumatic cuff) OR (vascular occlusion)) AND ((acl) OR (anterior cruciate ligament) OR (cruciate ligament) OR (cranial cruciate ligament) OR (anterior cruciate ligament reconstruction) OR (ACL reconstruction))

Tableau II : Equations de recherche sur les moteurs de recherche Pubmed, PEDro et Cochrane Library

2.4 Méthode de sélection des études

Après avoir renseigné nos équations de recherches ou mots clefs dans les diverses bases de données, nous sélectionnerons les études incluses dans cette revue de littérature à l'issue de plusieurs étapes :

- Sélection des études après lecture du titre
- Suppression des doublons obtenus sur les différentes bases utilisées
- Sélection des études après lecture de l'abstract
- Sélection des études après lecture de l'intégralité de l'étude

Nous n'appliquerons pas de restriction sur la langue ou l'année de l'étude. Nous présenterons les études incluses dans la revue sous la forme d'un **diagramme de flux** qui illustrera ce cheminement.

Les études incluses dans notre revue devront répondre à différents critères, appelés **critères d'inclusion** :

- Un essai clinique randomisé à bras. Le processus de randomisation peut être simple ou par bloc.
- Une population comportant des majeures (âge supérieur ou égal à 18 ans)
- Des patients ayant subi une reconstruction du LCA après rupture
- L'utilisation de la restriction du flux sanguin (BFR) dans la prise en charge rééducative
- La présence d'un comparateur : un autre traitement ou le même que l'intervention sans BFR
- Une étude ayant pour critère de jugement la force musculaire et / ou la fonction physique et / ou la douleur articulaire et musculaire
- Un score de qualité PEDro supérieur ou égal à **4** (nous y reviendrons ci-après)

En revanche, les études ne devront pas présenter les caractéristiques suivantes, appelés **critères d'exclusion** :

- Une absence de randomisation
- Une population ne comportant que des mineures (âge strictement inférieur à 18 ans)
- L'application du BFR à une LOP autre que celle recommandée
- La présence de pathologies contraignant l'utilisation du BFR
- Une étude n'ayant pas les critères de jugement faisant partie de ceux étudiés
- Un score de qualité PEDro inférieur ou égal à 3 (nous y reviendrons ci-après)

2.5 Méthode d'extraction et d'analyse des données

Pour obtenir une représentation complète des études incluses dans la revue et afin de faciliter leur analyse et leur mutualisation, nous établirons un tableau qui sera disponible en annexe récapitulant les points essentiels propres à chaque étude. Dans ce tableau seront indiquées les données suivantes :

- Le titre, la date de publication et le nom des auteurs
- Le schéma d'étude, le type de randomisation, le score PEDro
- Les informations relatives à la population
- Le protocole d'intervention mis en place
- Le comparateur utilisé et le protocole si différent de l'intervention
- Les critères de jugements étudiés
- Les résultats soulevés dans l'étude.

Des tableaux récapitulatifs seront également présentés dans la partie résultat.

2.6 Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

Pour les études thérapeutiques deux échelles peuvent être utilisées pour évaluer leur qualité méthodologique : PEDro et RiskofBiais Tool.

Nous choisirons **l'échelle PEDro**. Chaque étude incluse sera soumise à une évaluation de sa qualité par l'échelle PEDro. Cette échelle est composée de **11 items** qui sont détaillés en annexe. [Annexe 13]

L'échelle est **graduée de 0 à 10** où **0** correspond à une **qualité méthodologique** jugée « **nulle** » et **10** « **parfaite** ». Chaque item, sauf le premier non comptabilisé, rapporte un point lorsque sa condition est remplie et 0 lorsqu'elle ne l'est pas.¹²

Nous rechercherons les **biais de sélection, confusion, performance, détection, suivi, attrition et évaluation**.

2.7 Méthode de synthèse des résultats

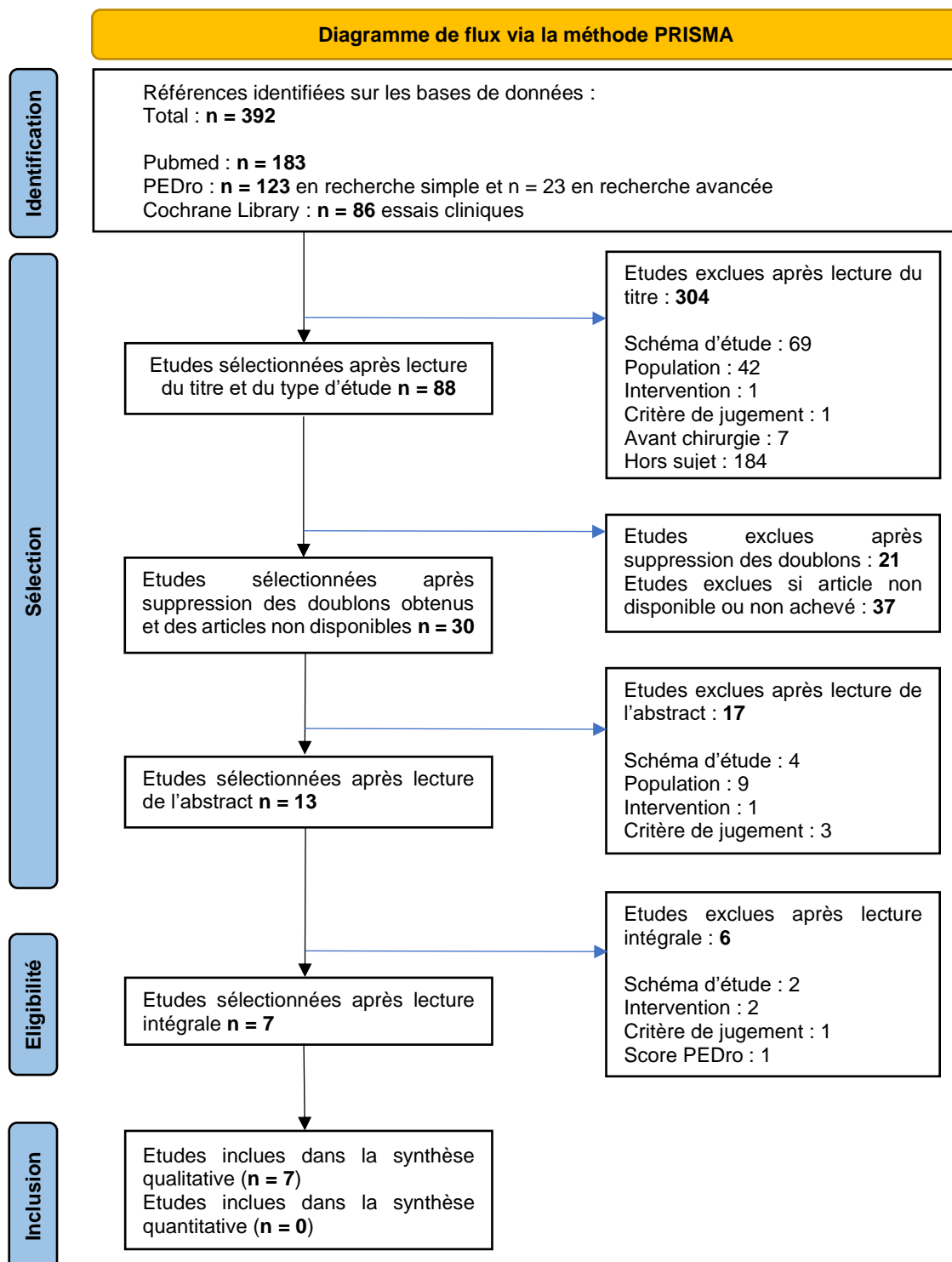
Pour chaque étude incluse, nous présenterons les données à la fin du traitement sous forme de moyenne et écart type pour chacun des groupes. Nous y ajouterons des indicateurs de la significativité statistique et de la significativité clinique. Lorsque des données nécessaires à certains calculs ne seront pas disponibles dans l'étude nous contacterons les auteurs. Nous présenterons ces résultats dans des tableaux par critère de jugement. Nous interprétons les résultats en tenant compte de la qualité méthodologique des études, des biais et incertitudes que nous aurons expliqués. Nous analyserons les études de façon comparative et qualitative. Nous réaliserons une analyse quantitative uniquement si les données le permettent et si cela est pertinent. Enfin, nous déterminerons le niveau de preuve de cette revue systématique à l'aide du système de recommandations de la HAS et du système GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) ainsi que ses biais en s'appuyant sur l'échelle AMSTAR-2 (A Measurement Tool to Assess systematic Reviews). [59,60]

¹² <https://pedro.org.au/french/resources/pedro-scale/> (Consulté le 20/11/2023)

3 Résultats

La recherche bibliographique a été effectuée à partir d'octobre 2023 et jusqu'au 28/01/2024 afin d'éviter de passer à côté d'articles nouveaux pouvant potentiellement être publiés au cours de l'année. De plus, 23 mails ont été envoyés auprès d'auteurs ayant initié des essais cliniques portant sur le sujet étudié mais n'ayant pas été publié en intégralité. Cela correspondait à des études trouvées sur la base de données Cochrane Library. Malheureusement, les 4 retours obtenus n'ont pas permis d'inclure de nouveaux articles. Voici-ci-dessous le cheminement de sélection des études.

3.1 Sélection des études : Diagramme de flux



3.2 Etudes exclues de la revue

En insérant les équations de recherche, présentées dans le tableau II, dans les différentes bases de données, nous avons obtenu un total de **392** études en date du 28 janvier 2024. (183 sur Pubmed, 123 sur PEDro et 86 sur Cochrane).

3.2.1 Etudes exclues après lecture du titre

A l'issue de la première phase d'exclusion, concernant le titre et le schéma d'étude (lorsque celui-ci était notifié dans le titre ou dans la catégorie de recherche), nous avons exclu un total de **304** études. Les raisons de ces exclusions sont nombreuses et apparaissent dans le tableau ci-dessous.

Argument d'exclusion	Nombre d'article exclu
Schéma d'étude (protocole, revue, étude de cas, commentaire, guide de pratique)	69 (Pubmed : 25 ; PEDro : 41 ; Cochrane : 3)
Population	42 (Pubmed : 0 ; PEDro : 41 ; Cochrane : 1)
Intervention	1 (Pubmed : 0 ; PEDro : 0 ; Cochrane : 1)
Critère de jugement	1 (Pubmed : 0 ; PEDro : 1 ; Cochrane : 0)
Uniquement avant chirurgie	7 (Pubmed : 2 ; PEDro : 1 ; Cochrane : 4)
Hors sujet (Au minimum mauvaise intervention et population)	184 (Pubmed : 133 ; PEDro : 26 ; Cochrane : 25)

Tableau III : Arguments d'exclusion et nombre d'études exclues après lecture du titre

Après cette sélection il nous reste **88** études (23 sur Pubmed, 13 sur PEDro et 52 sur Cochrane).

3.2.2 Etudes exclues après suppression des doublons et des articles non disponibles

La suppression des articles non disponibles concerne exclusivement la base de recherche Cochrane avec **37** études non disponibles ou non achevées.

Nous avons exclu **21** doublons également sur les diverses bases de données, nous laissant donc **30** études.

3.2.3 Etudes exclues après lecture de l'abstract

La lecture de l'abstract nous a permis d'extraire **17** études dont les raisons figurent dans le tableau ci-dessous.

Argument d'exclusion	Nombre d'article exclu
Schéma d'étude	4
Population	9
Intervention	1
Critère de jugement	3

Tableau IV : Argument d'exclusion et nombre d'études exclues après lecture de l'abstract

Nous avons donc sélectionné **13** études pour la lecture intégrale.

3.2.4 Etudes exclues après lecture intégrale

La lecture intégrale nous a permis d'exclure les **6 études** présentées dans le tableau ci-dessous.

Titre des études exclues	Auteur principal et date	Raison
Biomechanical effects of blood flow restriction training after acl reconstruction [61]	Scott Telfer, 2021	Pas les bons critères de jugement
Exercise with blood flow restriction to improve quadriceps function long after ACL reconstruction [62]	Matthew A Kilgas, 2019	Etude de cohorte
Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture [63]	Alan Kacin, 2021	Intervention effectuée uniquement avant la chirurgie de reconstruction
Side effects and patient tolerance with the use of blood flow restriction training after acl reconstruction in adolescents : a pilot study [64]	Jennifer Prue, 2022	Etude de cohorte et sur la tolérance
Short-term preconditioning with blood flow restricted exercise preserves quadriceps muscle endurance in patients after anterior cruciate ligament reconstruction [65]	Tina Zargi, 2018	Intervention effectuée uniquement avant la chirurgie de reconstruction
Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction [66]	Haruyasu Ohta, 2003	Score PEDro trop bas

Tableau V : Etudes exclues et argument d'exclusion après lecture intégrale

3.3 Etudes incluses dans la revue

Les études incluses dans la revue de littérature sont des essais cliniques randomisés portant sur l'intérêt de la restriction du flux sanguin associée à des exercices sur la force, la douleur et la fonction dans la rééducation postopératoire du LCA.

En accord avec tous nos critères préalablement établis, nous avons obtenus **7 essais cliniques** représentés dans le tableau ci-dessous.

Titre des études incluses	Auteur principal	Année
Comparing the effectiveness of blood flow restriction and traditional heavy load resistance training in the post surgery rehabilitation of anterior Cruciate ligament reconstruction patients : a UK national health service randomized controlled trial [67]	Luke Hughes et al	2019a
Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients : A UK national Health service trial [68]	Luke Hughes et al	2019b
Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior curciate ligament reconstruction patients and non-injured populations [69]	Luke Hughes et al	2018
Comparison of quadriceps and hamstring muscle strength after exercises with and without blood flow restriction following anterior cruciate ligament surgery : a randomized controlled trial [70]	Rafael Francisco Vieira De Melo et al	2022
Blood Flow restriction training applied with high intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction : a randomized controlled trial [71]	Michael T Curran et al	2020
Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction : a randomized controlled external pilot study [1]	Xuefeng Li et al	2023
Influence of blood flow restriction training on knee pain after anterior cruciate ligament reconstruction : a double blinded randamized controlled trial [72]	Ahmed A Khalil et al	2023

Tableau VI Etudes incluses dans la revue de littérature

3.4 Extraction des données des articles étudiés

En annexe est présent, pour chacun des 7 articles inclus dans la revue, un tableau dans lequel figurent les éléments essentiels. [Annexe 15-21]

Ci-dessous, afin de faciliter la lecture et permettre une mise en relation plus aisée nous avons synthétisé les éléments essentiels des articles dans un tableau unique. Nous avons donc noté des éléments relatifs à la population, l'intervention, le comparateur, le protocole et les critères de jugements étudiés dans la revue.

A l'issue de ce tableau un second tableau a été réalisé pour indiquer les différentes échéances des évaluations sur les critères de jugements sélectionnés ainsi que la façon dont ceux-ci ont été évalués. Les âges et poids sont présentés sous forme de moyennes et écart type (moyenne ± écart type).

Auteur	Population	Intervention	Comparateur	Protocole	Critère de jugement
<p>Luke Hughes et al [67]</p> <p>2019a</p>	<p>N=24</p> <p>Groupe expérimental : 7 hommes, 5 femmes ; âge moyen : 29 ± 7 ans ; poids moyen : 75,8 ± 15,1kg</p> <p>Groupe contrôle : 10 hommes, 2 femmes ; âge moyen : 29 ± 7 ans ; poids moyen : 79,2 ± 15,2kg</p> <p>Autogreffe des ischios jambiers</p>	<p><u>Groupe expérimental</u> : 12</p> <p>- 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes</p> <p>- BFR à 80% de la LOP (en moyenne 150 ± 3mmhg pour le membré lésé): 4 séries (30,15,15,15 répétitions) de presse unilatérale à 30% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine</p> <p>En parallèle d'un programme de réadaptation standard qui est effectué 3 jours par semaine au domicile</p> <p>Matériel d'occlusion : Brassard avec système de garrot personnalisé automatique (Delfi Medical) de 11,5 cm de largeur et 5 mm d'épaisseur</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 12</p> <p>- 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes</p> <p>- Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse unilatérale à 70% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine</p> <p>En parallèle d'un programme de réadaptation standard qui est effectué 3 jours par semaine au domicile</p>	<p>8 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine avec minimum 48heures entre les séances. A partir de la 2ème semaine postopératoire et lorsqu'ils remplissaient les conditions, ils ont assisté au premier test postopératoire (semaine 0).</p> <p>Délais entre la chirurgie et les premiers tests post-chirurgicaux : 23 ± 2 jours et 24 ± 1 jours dans le groupe BFR et contrôle respectivement</p>	<p>Force isocinétique des extenseurs et fléchisseurs (couple de force maximal) et 10 RM</p> <p>Douleur articulaire : KOOS</p> <p>Fonction physique : IKDC</p>
<p>Luke Hughes et al [68]</p> <p>2019b</p>	<p>N=24</p> <p>Groupe expérimental : 7 hommes, 5 femmes ; âge moyen : 29 ± 7 ans ; poids moyen : 75,8 ± 15,1kg</p> <p>Groupe contrôle : 10 hommes, 2 femmes ; âge moyen : 29 ± 7 ans ; poids moyen : 79,2 ± 15,2kg</p> <p>Autogreffe des ischios jambiers</p>	<p><u>Groupe expérimental</u> : 12</p> <p>- 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes</p> <p>- BFR à 80% de la LOP (en moyenne 150 ± 3mmhg pour le membré lésé): 4 séries (30,15,15,15 répétitions) de presse unilatérale à 30% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine</p> <p>En parallèle d'un programme de réadaptation standard qui est effectué 3 jours par semaine au domicile</p> <p>Matériel d'occlusion : Brassard avec système de garrot personnalisé automatique (Delfi Medical) de 11,5 cm de largeur et 5 mm d'épaisseur</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 12</p> <p>- 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes</p> <p>- Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse unilatérale à 70% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine</p> <p>En parallèle d'un programme de réadaptation standard qui est effectué 3 jours par semaine au domicile</p>	<p>8 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine avec minimum 48heures entre les séances. A partir de la 2ème semaine postopératoire et lorsqu'ils remplissaient les conditions, ils ont assisté au premier test postopératoire (semaine 0).</p> <p>Délais entre la chirurgie et les premiers tests post-chirurgicaux : 23 ± 2 jours et 24 ± 1 jour dans le groupe BFR et contrôle respectivement</p>	<p>Douleur articulaire : Borg</p> <p>Douleur musculaire : Borg</p>

<p>Luke Hughes et al [69]</p> <p>2018</p>	<p>N= 20</p> <p>Groupe expérimental : 6 hommes, 4 femmes ; âge moyen : 29 ± 5 ans ; poids moyen : 82,6 ± 13,4kg</p> <p>Groupe contrôle : 7 hommes, 3 femmes ; âge moyen : 31 ± 7 ans ; poids moyen : 80,7 ± 12,3kg</p> <p>Autogreffe des ischios jambiers</p>	<p><u>Groupe expérimental</u> : 10</p> <p>- 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes</p> <p>- BFR à 80% de la LOP (en moyenne 150 ± 3mmhg pour le membré lésé): 4 séries (30,15,15,15 répétitions) de presse unilatérale à 30% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine avec 1 seconde en concentrique et 1 seconde en excentrique</p> <p>Matériel d'occlusion : Brassard avec système de garrot personnalisé automatique (Delfi Medical) de 11,5 cm de largeur et 5 mm d'épaisseur</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 10</p> <p>- 5 min sur vélo+ 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids</p> <p>- Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse unilatérale à 70% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine</p>	<p>Une unique séance expérimentale à la suite d'un examen de santé et d'une séance de familiarisation à partir de la 2ème semaine postopératoire et lorsqu'ils remplissaient les conditions</p> <p>Délais entre la chirurgie et familiarisation : 22 ± 2 jours et 21 ± 3 jours dans le groupe BFR et contrôle respectivement</p>	<p>Douleur articulaire : Borg</p> <p>Douleur musculaire : Borg</p>
<p>Rafael Francisco Vieira De Melo et al [70]</p> <p>2022</p>	<p>N=24</p> <p>Groupe expérimental : 8 hommes, 4 femmes ; âge moyen : 41,1 ± 9,8 ans ; poids moyen : 73,1 ± 13,9kg</p> <p>Groupe contrôle : 9 hommes, 3 femmes ; âge moyen : 39,6 ± 10,8 ans ; poids moyen : 68,6 ± 10,4kg</p> <p>Autogreffe des ischios jambiers</p>	<p><u>Groupe expérimental</u> : 12</p> <p>- BFR à 80% de LOP : 4 séries (30, 15, 15,15) de presse à jambe unilatérale et chaise à ischios (d'abord jambe blessée ensuite l'autre) à 30% de la RM avec 2 secondes de concentrique et 2 secondes d'excentrique et 30 secondes de repos entre les séries avec 5min brassard dégonflé entre les deux exercices.</p> <p>Matériel d'occlusion : manomètres de 10x 80 cm de largeur et un sac pneumatique de 7 x 52 cm (Cuff Scientific Leg). LOP déterminée par Doppler</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 12</p> <p>- Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale et chaise à ischios (d'abord jambe blessée ensuite l'autre) à 70% de la RM avec 2 secondes de concentrique et 2 secondes d'excentrique et 30 secondes de repos entre les séries et 5 min entre les deux exercices</p>	<p>12 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine à partir de la sortie d'hôpital</p>	<p>Force isométrique (dynamomètre) des fléchisseurs et extenseurs</p> <p>Douleur articulaire : KOOS</p> <p>Fonction physique : IKDC</p>

<p>Michael T Curran et al [71]</p> <p>2020</p>	<p>N=34</p> <p>Groupe expérimental : 10 hommes, 8 femmes ; âge moyen : 15,7 ± 1,3 ans ; poids moyen : 73,5kg</p> <p>Groupe contrôle : 5 hommes, 11 femmes ; âge moyen : 17,4 ± 3,5 ans ; poids moyen : 72,8kg</p> <p>Autogreffe : BPTB : 13 expérimental et 12 contrôle ; DIDT : 3 expérimental et 3 contrôle, TQ: 2 expérimental et 1 contrôle</p>	<p><u>Groupe expérimental</u> : 18</p> <ul style="list-style-type: none"> - N=9 : BFR à 80% de la LOP + 70% de la RM en excentrique et 20% en concentrique - N=9 : BFR à 80% de la LOP + 70% de la RM en concentrique et 20% en excentrique <p>1 série d'échauffement puis 4 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale (60 à 20° de flexion de genou) que sur le membre opéré avec 2 minutes de repos brassard dégonflé entre les séries</p> <p>Matériel d'occlusion : Système de garrot personnalisé automatique PTS (Delfi Medical)</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 16</p> <ul style="list-style-type: none"> - N=8 : Sans BFR, 70% de la RM en excentrique et 20% en concentrique - N=8 : Sans BFR, 70% de la RM en concentrique et 20% en excentrique <p>1 série d'échauffement puis 4 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale (60 à 20° de flexion de genou) que sur le membre opéré avec 2 minutes de repos entre les séries</p>	<p>8 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine à partir de la 10^{ème} semaine postopératoire</p>	<p>Force isocinétique et isométrique du quadriceps, force isométrique volontaire maximale et 1RM</p> <p>Fonction physique : IKDC</p>
<p>Xuefeng Li et al [1]</p> <p>2023</p>	<p>N= 14</p> <p>Groupe expérimental : âge moyen : 30,50 ± 5,26 ; poids moyen : 79,13 ± 12,78kg</p> <p>Groupe contrôle : âge moyen : 28.33 ± 5.19 ; poids moyen : 74,67 ± 23,09kg</p> <p>Autogreffe dont l'origine n'est pas précisée</p>	<p><u>Groupe expérimental à 80% de la LOP</u> : 8</p> <p>- 10 minutes d'échauffement de marche puis deux exercices d'entraînement du quadriceps, 4 séries (30 répétitions pour la première et 15 pour les 3 autres avec 30 secondes de pause entre les séries à 30% de RM puis étirement après chaque séance</p> <p>Matériel d'occlusion : AirBands</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 6</p> <p>Idem sans BFR à 30% de RM</p>	<p>8 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine à partir de minimum 8 semaines après la chirurgie</p>	<p>Force d'extension isocinétique maximale du genou à 60°/s et 180°/s</p> <p>Fonction physique : IKDC</p>

<p>Ahmed A Khalil et al [72] 2023</p>	<p>N= 36</p> <p>Groupe expérimental : 15 hommes, 3 femmes ; âge moyen : 23,78 ± 3,934 ; IMC : 26,213 ± 3,9471kg/m²</p> <p>Groupe contrôle : 16 hommes, 2 femmes ; âge moyen : 25.22 ± 4.76 ; IMC : 25,359 ± 2,1013kg/m²</p> <p>Autogreffe du semi tendineux</p>	<p><u>Groupe expérimental</u> : 18</p> <p>- Semaine 1 : Traitement standard</p> <p>- Semaine 2 à 6 : Neuro-Electro-Myo-Stimulation (NMES) (10 min), mobilisation, étirements (mollet) (3 x 15s). Entraînement à l'équilibre et proprioceptif, transfert de poids sur bosu, maintien sur une jambe 30-60s, mobilisation active (30 répétitions) et cryothérapie (10 min).</p> <p>- Semaine 7 à 12 : NMES (10min), vélo (10-15min), entraînement proprioceptif, neuromusculaire et de stabilité. Transfert de poids sur bosu (30 répétitions), maintien debout sur une jambe yeux ouverts et fermés, mini squat statique (3 x 30s) avec co-contraction des ischios et du quadriceps (30 répétitions). Mobilisations, étirements. Presse à jambe avec élastique (3x10-3x15 répétitions), fentes arrière (3 x 10 répétitions), flexion plantaire (3 x 10 répétitions), vélo (10-15min)</p> <p>Matériel d'occlusion non précisé ; LOP déterminée par Doppler. Il est mis en place avec la NMES et pendant les exercices à 70% de RM avec une LOP à 80%</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 18</p> <p>Idem sans BFR à 70% de RM</p>	<p>12 semaines d'entraînement à raison de 3 fois par semaine à partir de la 1^{ère} semaine postopératoire mais BFR que à partir de la 7^{ème} semaine</p>	<p>Douleur articulaire au genou : EVA</p>
---	---	--	--	--	--

Tableau VII : Tableau récapitulatif des études incluses partie 1

Auteur	Evaluations des critères de jugement étudiés
<p>Hughes et al, 2019a</p>	<p>Echéance des évaluations : Evaluation initiale de tous les critères en préopératoire et à la fin de la 8^{ème} semaine d'intervention. En postopératoire (semaine 0) et à la fin de la 4^{ème} semaine d'intervention pour tous sauf la force isocinétique.</p> <p>Force isocinétique des fléchisseurs et extenseurs : Mesurée par un dynamomètre isocinétique Biodex System 4 après un échauffement sous maximal suivi de 3 minutes de repos. Le test consiste à effectuer 5 répétitions d'effort maximal en flexion et en extension à 60 et 150° /s et 10 répétitions d'effort maximal en flexion et en extension (0 à 90°) à 300°/s avec 20 secondes de repos entre les différentes vitesses.</p> <p>Force 10 RM : Evaluée sur une presse pour jambe MED après un échauffement de 5 minutes sur vélo ainsi que 10 répétitions de presse unilatérale à un poids autosélectionné. La 10 RM a été atteint en 5 essais avec ajout de 5 kg entre chaque essais et 3 minutes de repos entre ceux-ci afin d'assurer une récupération musculaire complète.</p> <p>Douleur articulaire : Evaluée à l'aide de l'échelle KOOS graduée de 0 à 100 où 100 témoigne d'une absence de douleur.</p> <p>Fonction physique : Evaluée grâce à l'échelle IKDC graduée de 0 à 100 où 100 représente une fonction optimale du genou.</p>
<p>Hughes et al, 2019b</p>	<p>Echéance des évaluations : Evaluation après chaque série d'exercice ce qui a permis d'avoir une moyenne au cours de chaque séance et 24 heures après chaque séance.</p> <p>Douleur articulaire en séance et 24h après la séance : Evaluée grâce à l'échelle de douleur de Borg graduée de 0 à 10 où 10 représente une douleur aigüe.</p> <p>Douleur musculaire en séance : Evaluée grâce à l'échelle de douleur de Borg graduée de 0 à 10 où 10 représente une douleur aigüe.</p>
<p>Hughes et al, 2018</p>	<p>Echéance des évaluations : Evaluation en séance et 24 heures après la séance.</p> <p>Douleur articulaire en séance et 24h après la séance : Evaluée grâce à l'échelle de Borg graduée de 0 à 10 où 10 représente une douleur aigüe.</p> <p>Douleur musculaire en séance : Evaluée grâce à l'échelle de douleur de Borg graduée de 0 à 10 où 10 représente une douleur aigüe.</p>

<p>Vieira De Melo et al</p>	<p>Echéance des évaluations : Evaluation initiale en préopératoire puis à la dernière séance de la 4, 8 et 12^{ème} semaine d'intervention pour tous les critères. Les évaluations ont toujours été effectuées à un jour de distance de l'entraînement physique.</p> <p>Force isométrique des fléchisseurs et extenseurs : Evaluée grâce à un dynamomètre isométrique numérique portatif MICROFET2 digital handheld dynamometer. Après placement précis de celui-ci suivant la fonction musculaire testée, la force maximale a été enregistrée en Newtons et collectée 3 fois dans chaque membre avec 60 secondes de pause entre chaque contraction de 5 secondes dans une position de flexion de hanche et de genou de 90°. La meilleure valeur a été retenue.</p> <p>Douleur articulaire : Evaluée à l'aide de l'échelle KOOS graduée de 0 à 100 où 100 témoigne d'une absence de douleur.</p> <p>Fonction physique : Evaluée à l'aide de l'échelle IKDC graduée de 0 à 100 où 100 représente une fonction optimale du genou.</p>
<p>Curran et al</p>	<p>Echéance des évaluations : Evaluation initiale en préopératoire (dans les deux semaines précédant l'intervention) puis pré-intervention, post-intervention (dans les deux semaines suivant la fin de l'intervention qui dure 8 semaines) et au retour à l'activité.</p> <p>Force isocinétique des extenseurs à 60°/s : Evaluée grâce au dynamomètre isocinétique Biodex 3.0. Le test consiste à effectuer 1 série de 3 tests concentriques sous maximaux puis 2 min de repos et 1 série de 5 extensions de genou maximale en concentrique. La meilleure valeur a été utilisée.</p> <p>Force isométrique volontaire maximale (MVIC) : Evaluée de la même façon sauf qu'après l'échauffement seul 3 répétitions de MVIC sont réalisées.</p> <p>1 RM : Evaluée sur une presse à jambe unilatérale BLAST! Leg Press system. Membre opéré fléchi à 60° et amplitude de mouvement fixée entre 60° et 20° de flexion les patients ont effectué 3 extensions de genou 1RM concentrique avec 2 minutes de repos entre chaque répétition. La meilleure d'entre elles a été enregistrée comme 1 RM.</p> <p>Fonction physique : Evaluée à l'aide de l'échelle IKDC graduée de 0 à 100 où 100 représente une fonction optimale du genou.</p>
<p>Li et al</p>	<p>Echéance des évaluations : Au début et après 8 semaines d'entraînement.</p> <p>Force isocinétique des extenseurs à 60°/s et 180°/s : Evaluée grâce à un dynamomètre isocinétique Biodex 3.0. L'évaluation consiste en 3 tests d'échauffement, une pause de 5 minutes et ensuite 8 flexions / extensions à 60°/s et 12 à 180°/s avec une flexion de hanche de 90°. Un logiciel personnalisé permet ainsi de donner la force maximale et donc le moment de pointe et le travail total.</p> <p>Fonction physique : Evaluée à l'aide de l'échelle IKDC graduée de 0 à 100 où 100 représente une fonction optimale du genou.</p>
<p>Khalil et al</p>	<p>Echéance des évaluations : Evaluation initiale en préopératoire, puis à 1,5 mois et 3 mois après l'opération.</p> <p>Douleur articulaire : Evaluée à l'aide de l'EVA graduée de 0 à 10 où 10 représente une douleur aiguë.</p>

Tableau VIII : Tableau récapitulatif des études incluses partie 2

3.5 Evaluation de la qualité méthodologique des études

Comme expliqué précédemment, la **qualité méthodologique** des études est évaluée en utilisant l'**échelle PEDro**. [Annexe 13] Afin de faciliter la lecture, nous représentons le score total obtenu par chaque article ainsi que le détail de celui-ci dans le tableau ci-dessous. Chaque item est associé à une « X » lorsque l'item n'est pas rempli et à « V » lorsque celui-ci est rempli.

Auteur	Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Score
Hughes et al 2019a		X	V	V	V	X	X	V	V	X	V	V	7/10
Hughes et al 2019b		X	V	V	V	X	X	V	V	X	V	V	7/10
Hughes et al 2018		X	V	V	V	X	X	X	V	X	V	V	6/10
Vieira de Melo et al		V	V	V	V	X	X	X	V	V	V	V	7/10
Curran et al		V	V	V	V	X	X	X	V	X	V	V	6/10
Li et al		V	V	X	V	X	X	X	X	X	V	V	4/10
Khalil et al		X	V	X	V	V	X	V	V	X	V	V	7/10

Tableau IX : Evaluation de la qualité méthodologique des études avec l'échelle PEDro.

La validité ou cohérence externe, représenté par l'item 1, est témoin de l'applicabilité ou de la généralisabilité de l'essai [73]. Pour rappel, ce critère n'est pas comptabilisé dans le score final. [74]

La validité interne, témoin de la qualité méthodologique [73], est représentée par les items 2 à 9. Les critères 2, 3 et 4 définissent les biais de sélection. Les critères 5 et 6 les biais de performance, le critère 7 les biais de détection, le critère 8 les biais de suivi et enfin le critère 9 les biais d'attrition. [74]

Les critères 10 et 11 indiquent lorsqu'ils sont remplis que les essais disposent de suffisamment de données statistiques pour rendre les résultats présentés interprétables et renseignent sur la pertinence clinique. [74]

Les score PEDro des articles inclus dans cette revue sont donc compris entre 4 et 7/10. Ce score est moyen et indique un risque de biais des études.

Grâce à cette évaluation nous pouvons déterminer la présence ou non des principaux biais : [73]

- Le biais de **sélection** : il correspond à un biais concernant l'attribution aléatoire dans les groupes, l'assignation secrète et la similarité des groupes à l'initiation de l'étude.
- Le biais de **confusion** : il correspond à l'absence de groupe contrôle dans l'étude.
- Le biais de **performance** : il correspond à un biais concernant l'aveuglement des sujets et des thérapeutes.
- Le biais de **détection** : il correspond à un biais concernant l'aveuglement des examinateurs.
- Le biais de **suivi** : il correspond à un biais concernant l'obtention des mesures pour au moins un des critères de jugement principaux pour au moins 85% de la population initiale.
- Le biais d'**attrition** : il correspond à un biais sur le suivi par les patients du traitement du groupe auquel ils étaient affiliés ou un biais lorsque ça n'était pas le cas, lorsque les mesures d'au

moins un des critères de jugement principaux n'ont pas été étudiés en « intention de traiter ».

- Le biais d'**évaluation** : il correspond à un biais concernant l'indication de l'estimation des effets et de leur variabilité pour au moins un des critères de jugement principaux.

Voici ci-dessous un tableau récapitulant la présence « OUI » ou l'absence « NON » de ces biais.

Etude	Sélection	Confusion	Performance	Détection	Suivi	Attrition	Evaluation
Hughes et al 2019a [67]	NON	NON	OUI	NON	NON	OUI	NON
Hughes et al 2019b [68]	NON	NON	OUI	NON	NON	OUI	NON
Hughes et al 2018 [69]	NON	NON	OUI	OUI	NON	OUI	NON
Vieira De Melo et al [70]	NON	NON	OUI	OUI	NON	NON	NON
Curran et al [71]	NON	NON	OUI	OUI	NON	OUI	NON
Li et al [1]	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	NON
Khalil et al [72]	OUI	NON	OUI	NON	NON	OUI	NON

Tableau X : Tableau des biais rencontrés ou non dans les études incluses

Les biais les plus représentés dans cette revue sont ceux correspondant aux critères 5 et 6 concernant la mise en aveugle des sujets, des thérapeutes et des examinateurs respectivement. On parle de **biais de performance**. Cela peut altérer les réponses aux questionnaires subjectifs. Le critère 9 n'est rempli que dans un seul article. Quoiqu'il en soit, il faut rester prudent dans l'analyse des résultats. Même si un article possède un score PEDro élevé, il ne valide pas la conclusion apportée par l'étude. Il faut également prendre en compte la taille d'effet du traitement, l'intervalle de confiance, ainsi que le rapport bénéfices / risques de celui-ci.

3.6 Effets de l'intervention sur les critères de jugements choisis

Au total, **176** patients ont été inclus dans cette revue de littérature. Ils ont tous subi une reconstruction du LCA et ont suivi un protocole de rééducation postopératoire incluant des exercices seuls ou associés à une restriction du flux sanguin. Les articles traitent l'effet de ce traitement sur la force musculaire, la douleur articulaire et musculaire et la fonction physique.

3.7 Synthèse des résultats

Il est essentiel de prendre en considération la significativité statistique et la significativité clinique dans la synthèse et l'analyse des résultats. En effet, la significativité statistique doit être évaluée et complétée par la significativité clinique pour indiquer l'efficacité du traitement. Cette efficacité est

représentée par la différence entre les groupes du critère de jugement étudié pour déterminer l'efficacité du traitement mis en place, ici le BFR. Dès lors que l'on étudie que des essais cliniques randomisés, il ne présente pas d'intérêt de s'intéresser à la différence intra-groupe.[73,75]

- **La significativité statistique :** [73,75]

La valeur « **p** » désigne une probabilité. Elle est utilisée pour savoir si une différence constatée est due au hasard ou à autre chose, comme un traitement par exemple. Dans le cas où cette valeur est inférieure à 5% donc **$p < 0,05$** , on peut alors affirmer que **cette différence est statistiquement significative** et non due au hasard. Lorsque **$p < 0,01$** , on peut affirmer que cette différence est très statistiquement significative. Cette valeur sera obtenue par lecture des études. Elle nous permettra de déterminer si la différence intergroupe est statistiquement significative.

La significativité statistique présente des limites. En effet, elle ne donne qu'une estimation de la probabilité que la différence mise en évidence soit due au hasard ou à autre chose. Il faut alors s'interroger sur la taille d'effet du traitement pour savoir si cette différence est cliniquement importante.

- **La significativité clinique :** [73,75]

La taille d'effet est une mesure qui correspond à la **différence** ou l'écart **entre les deux thérapeutiques** (entre la moyenne du groupe expérimental et la moyenne du groupe contrôle). Une taille d'effet positive pour la force, la douleur articulaire sur l'échelle KOOS et la fonction physique témoignera d'une différence en faveur du groupe expérimental. Une taille d'effet négative pour la douleur sur l'échelle Borg et EVA témoignera d'une différence en faveur du groupe expérimental et inversement.

Nous retrouvons plusieurs outils pour **estimer** cette dernière : [73]

- **Le « d » de Cohen** a le défaut de ne pas utiliser l'unité de mesure de la variable que l'on étudie pour exprimer la taille d'effet du traitement. Il peut être positif ou négatif et indique la direction de l'effet. [75] Au plus celui-ci sera **élevé**, au plus la **taille d'effet** sera **importante**. Nous le calculerons à l'aide d'un **tableur Excel** lorsqu'il ne sera pas fourni dans l'étude. Nous considérerons une taille d'effet **faible** lorsque **$d < 0,5$** ; **moyenne** lorsque **$0,5 < d < 0,8$** ; **importante** lorsque **$0,8 < d < 1,3$** et **très importante** lorsque **$d > 1,3$** .

- **L'intervalle de confiance à 95% (IC95) :** C'est l'**outil de référence** composée de trois chiffres (le paramètre et les deux bornes). C'est au sein de cet intervalle que se trouve la vraie valeur étudiée avec une probabilité minimum de 95%. On admet un risque d'erreur de 5%. Si cet intervalle **croise la valeur 0**, nous ne pouvons **pas** être **sûre** de l'**efficacité du traitement**. **Les résultats seront statistiquement non significatifs** car cela voudrait dire qu'il pourrait parfois être en faveur d'un groupe et parfois en faveur de l'autre groupe. Nous apprécierons la **significativité clinique** par la **largeur de l'IC95**, l'éloignement de la borne minimale et de la taille d'effet par rapport à la **différence minimale cliniquement importante (DMCI)**. Cette dernière correspond au plus petit changement perçu par les patients comme important. Lorsque nous n'aurons pas de DMCI, nous nous appuierons aussi sur le **d** de Cohen. L'IC95 est une estimation qui permet de connaître la **mesure probablement sur la population générale** et pas que sur l'échantillon de l'étude. Il sera calculé à l'aide d'un **tableur Excel** dans lequel nous avons mentionné la moyenne, l'écart type et le nombre de participants de chacun

des groupes. Nous avons inversé la ligne « groupe expérimental » et « groupe contrôle » dans ce tableur pour la force, la douleur et la fonction physique pour une interprétation plus aisée.

Le DMCI sera de 15 points pour l'échelle KOOS, de 1,5 points pour Borg et l'EVA et enfin de 11,5 points pour l'IKDC. [76] [77] Les études sur la détermination de cette valeur sont encore un sujet de recherche. Les valeurs sont à prendre avec précaution.

Nous allons présenter ci-dessous, les résultats pour les critères de jugement étudiés. Il sera indiqué l'article dans lequel le critère est évalué puis seront données des précisions sur celui-ci et sur le moment de l'évaluation. Ensuite nous noterons la moyenne \pm écart type (extraite des études) concernant le groupe expérimental (avec BFR) et le groupe contrôle (sans BFR). Il s'agira soit d'une moyenne à un instant t défini de l'intervention soit d'une moyenne de différence entre deux phases de traitement (la différence intragroupe à l'intérieur de chacun des groupes). Nous la ferons apparaître par un Δ . Prendre ce Δ permet de prendre en considération d'éventuelles différences dans le point de départ. Apparaîtra ensuite le « p » qui indique si la différence intergroupe est statistiquement significative. Enfin, apparaîtront les éléments relatifs à la significativité clinique : la taille d'effet, l'IC95 et/ou le d de Cohen.

Pour rappel, nous considérerons pour l'ensemble des résultats :

- Une diminution moindre ou une augmentation de la force pourrait être un indicateur de l'efficacité du traitement sur le critère force.
- Une diminution moindre ou une augmentation du score KOOS ou une diminution du score sur l'échelle de Borg et EVA pourrait être un indicateur de l'efficacité du traitement sur le critère douleur.
- Une diminution moindre ou une augmentation du score IKDC pourrait être un indicateur de l'efficacité du traitement sur le critère fonction.

Légende des tableaux résultats :

Colonne « p » :

Valeur : Différence intergroupe statistiquement significative en faveur du groupe expérimental

Valeur : Différence intergroupe statistiquement non significative

Colonne « taille d'effet et IC95 » :

Valeur : Différence intergroupe cliniquement significative en faveur du groupe expérimental

Valeur : Différence intergroupe cliniquement discutable

Valeur : Différence intergroupe cliniquement non significative

3.7.1 Résultats pour le critère de jugement force

Dans l'étude de Hughes et al 2019a, les moyennes des différences du groupe expérimental et du groupe contrôle et leur écart type entre la phase préopératoire et post-intervention ont été tirées d'une revue de littérature [78] incluant cette étude. Les valeurs obtenues sont donc soumises à un biais.

Dans l'étude de Vieira de Melo et al, les valeurs moyenne \pm écart type des deux groupes ont été fournies par l'auteur à la suite d'un mail que nous lui avons adressé car seul des diagrammes étaient disponibles dans l'étude.

Article	Type de force		Moment de l'évaluation	Groupe expérimental	Groupe contrôle	p	Taille d'effet et IC95	d de Cohen
Hughes et al 2019a LL-BFR vs HL-RT	Isocinétique (Nm.kg.bm)	Extenseurs 60°/s	Différence (Δ) entre la phase préopératoire et post-intervention	-0,13 ± 0,44	-0,31 ± 0,52	0,20	0,18 IC95[-0,23 ; 0,59]	0,5
		Extenseurs 150°/s		0,07 ± 0,27	-0,15 ± 0,38	-	0,22 IC95 [-0,06 ; 0,50]	0,7
		Extenseurs 300°/s		0,03 ± 0,20	-0,13 ± 0,23	-	0,16 IC95 [- 0,02 ; 0,34]	0,8
		Fléchisseurs 60°/s		-0,06 ± 0,22	-0,22 ± 0,15	-	0,16 IC95 [0 ; 0,32]	0,8
		Fléchisseurs 150°/s		-0,07 ± 0,14	- 0,17 ± 0,14	-	0,1 IC95 [- 0,02 ; 0,22]	0,7
		Fléchisseurs 300°/s		-0,03 ± 0,10	-0,12 ± 0,18	-	0,09 IC95 [-0,03 ; 0,21]	0,7
	10RM			104 ± 18%	106 ± 21%	0,22	-2 IC95 [-18,56 ; 14,56]	0,3
Vieira de Melo et al LL-BFR vs HL-RT	Isométrique (Newtons)	Extenseurs	Fin de la 4 ^{ème} semaine	15,5 ± 0,9	12,2 ± 1	0,4	3,3 IC95 [2,49 ; 4,11]	0,9
			Fin de la 8 ^{ème} semaine	16,9 ± 0,8	13,0 ± 1	0,1	3,9 IC95 [3,13 ; 4,67]	1,1
			Fin de la 12 ^{ème} semaine	19,4 ± 0,5	13,83 ± 0,9	< 0,01	5,57 IC95 [4,95 ; 6,19]	1,9
		Fléchisseurs	Fin de la 4 ^{ème} semaine	9,0 ± 0,4	7,4 ± 0,4	0,3	1,6 IC95 [1,26 ; 1,94]	0,9
			Fin de la 8 ^{ème} semaine	10,3 ± 0,4	7,9 ± 0,4	<0,01	2,4 IC95 [2,06 ; 2,74]	1,7
			Fin de la 12 ^{ème} semaine	12,5 ± 0,2	8,8 ± 0,3	<0,01	3,7 IC95 [3,48 ; 3,92]	3,4
Curran et al HL-BFR vs HL-RT	Isocinétique des extenseurs 60° /s (N.m)	Δ entre préopératoire et post-intervention	-12,4 ± 19,2	-15,0 ± 34,4	0,49	2,6 IC95 [-16,57 ; 21,77]	0,09 IC95[-0,58 ; 0,77]	
		Δ entre préopératoire et RTA	8,2 ± 33,3	0,4 ± 26,8	0,22	7,8 IC95 [-13,49 ; 29,09]	0,26 IC95 [-0,43 ; 0,93]	
	Isométrique des extenseurs MVIC (N.m)	Δ entre préopératoire et post-intervention	-16,3 ± 31,1	-11,8 ± 38,3	0,88	-4,5 IC95 [-28,76. 19,76]	-0,13 IC95 [-0,8 ; 0,55]	
		Δ entre préopératoire et RTA	-2,8 ± 45,5	-3,2 ± 30,0	0,71	0,4 IC95 [-26,90 ; 27,70]	0,01 IC95[-0,66 ; 0,68]	
	1RM	Δ entre préopératoire et post-intervention	2,44 ± 1,21	2,10 ± 0,95	0,24	0,34 IC95 [-0,43 ; 1,11]	0,3	
Li et al LL-BFR vs LL-RT	Isocinétique (N.m/kg)	Extenseurs 60°/s	Fin de la 8 ^{ème} semaine	152.04 ± 25.45	94.05 ± 17.62	0,000	57,99 IC95 [31,49 ; 84,49]	2,6
		Extenseurs 180°/s		137.65 ± 25.54	73.28 ± 15.73	0,000	64,37 IC95 [38,49 ; 90,25]	2,9

Tableau XI : Tableau des résultats du critère de jugement « force »

Ainsi, dans l'étude de Hughes et al a qui évalue la force isocinétique des extenseurs à 60°/s, il y a une baisse du pic de force de $0,13 \pm 0,44$ Nm.kg/bm dans le groupe LL-BFR contre une baisse de $0,31 \pm 0,52$ Nm.kg/bm dans le groupe HL-RT. La taille d'effet est de 0,18. La valeur de p est supérieure à 0,05 ($p=0,20$) et l'intervalle de confiance de la taille d'effet dans cet échantillon indique une différence intergroupe pouvant aller d'une différence en faveur du groupe contrôle de 0,23 unité à une différence de 0,59 unité en faveur du groupe expérimental. La différence intergroupe n'est donc **pas statistiquement significative**. L'IC95 est large autour de l'absence d'effet, la différence intergroupe est donc **cliniquement non significative**. Le d de Cohen est de 0,5 correspondant à une taille d'effet faible. Une diminution du couple maximal a été observée dans les deux groupes avec une perte plus importante dans le groupe contrôle mais sans différence statistique et clinique entre les deux groupes. Nous avons utilisé la même démarche que celle-ci pour indiquer dans tous les tableaux si les différences intergroupes étaient statistiquement ou non et cliniquement ou non significatives.

3.7.2 Résultats pour le critère de jugement douleur articulaire

Article	Echelle	Moment de l'évaluation	Groupe expérimental	Groupe contrôle	p	Taille d'effet et IC95	d de Cohen
Hughes et al 2019a LL-BFR vs HL-RT	KOOS (sous échelle douleur)	Δ entre 0 et 4 ^{ème} semaine	30.25 ± 9.29	11.67 ± 6.11	< 0.01	18,58 IC95 [11,92 ; 25,24]	2,4
		Δ entre 4 ^{ème} et 8 ^{ème} semaine	9.50 ± 5.57	10.33 ± 4.62	> 0,05	- 0,83 IC95 [-5,16 ; 3,50]	- 0,2
		Δ entre 0 et 8 ^{ème} semaine	39.75 ± 11.74	22.00 ± 7.48	< 0.01	17,75 IC95 [9,42 ; 26,08]	1,8
Fin de la 4 ^{ème} semaine		90.58 ± 3.20	70.67 ± 3.30	< 0,01	19,91 IC95 [17,16 ; 22,66]	1.66	
Fin de la 8 ^{ème} semaine		99.50 ± 0.48	76.92 ± 3.94	< 0,01	22,58 IC95 [20,20 ; 24,96]	2,18	
Fin de la 12 ^{ème} semaine		100,00 ± 0	88,00 ± 2,35	< 0,01	12 IC95 [10,59 ; 13,41]	1,96	
Hughes et al 2019b LL-BFR vs HL-RT	Borg	Douleur moyenne sur les 16 séances	- (< au groupe contrôle)	- (>au groupe expérimental)	<0,05	-	2,5 IC95 [2,2 ; 2,8]
		Douleur moyenne 24h après les 16 séances	- (< au groupe contrôle)	- (>au groupe expérimental)	<0,01	-	3,1 IC95 [2,9 ; 3,3]
Douleur moyenne sur la séance		- (< au groupe contrôle)	- (>au groupe expérimental)	< 0,05	-1,3 IC95 [-1,890 ; - 0,750]	-2,1	
Douleur moyenne 24h après la séance		- (< au groupe contrôle)	- (>au groupe expérimental)	<0,01	- 1,3 IC95 [-1,890 ; - 0,750]	-2,1	
Khalil et al HL-BFR vs HL-RT	EVA	A 1,5 mois postopératoire	4,22 ± 1,26	4,06 ± 1,43	0,636	0,16 IC95 [-0,75 ; 1,07]	0,1
		A 3 mois postopératoire	1,39 ± 0,70	1,00 ± 1,19	0,148	0,39 IC95 [-0,27 ; 1,05]	0,4

Tableau XII : Tableau des résultats du critère de jugement « douleur articulaire »

3.7.3 Résultats pour le critère de jugement douleur musculaire

Article	Echelle	Moment de l'évaluation	Groupe expérimental	Groupe contrôle	p	Taille d'effet et IC95
Hughes et al 2019b LL-BFR vs HL-RT	Borg	Douleur moyenne sur les 16 séances	- (> au groupe contrôle)	- (< au groupe expérimental)	<0,05	-
Hughes et al 2018 LL-BFR vs HL-RT		Douleur moyenne sur la séance	- (> au groupe contrôle)	- (< au groupe expérimental)	<0,01	5 ± 1 IC95 [2,941 ;7,758]

Tableau XIII : Tableau des résultats du critère de jugement « douleur musculaire »

3.7.4 Résultats pour le critère de jugement fonction physique

Article	Echelle	Moment de l'évaluation	Groupe expérimental	Groupe contrôle	p	Taille d'effet et IC95	d de Cohen
Hughes et al 2019a LL-BFR vs HL-RT	IKDC	Δ entre 0 et 4 ^{ème} semaine	22.44 ± 5.27	13.50 ± 7.42	< 0.01	8,94 IC95 [3,49 ; 14,39]	1,4
		Δ entre 4 ^{ème} et 8 ^{ème} semaine	13.19 ± 4.95	9.83 ± 5.54	< 0.05	3,36 IC95 [-1,09 ; 7,81]	0,6
		Δ entre 0 et 8 ^{ème} semaine	35.63 ± 7.06	23.33 ± 8.76	< 0.01	12,3 IC95 [5,56 ; 19,04]	1,5
Vieira de Melo et al LL-BFR vs HL-RT		Fin de la 4 ^{ème} semaine	58.25 ± 1.50	51.58 ± 2.02	-	6,67 IC95 [5,16 ; 8,18]	1,014
		Fin de la 8 ^{ème} semaine	65.08 ± 0.38	55.00 ± 1.60	< 0,01	10,08 IC95 [9,10 ; 11,06]	2,34
		Fin de la 12 ^{ème} semaine	74,83 ± 0,44	60,92 ± 1,59	< 0,01	13,91 IC95[12,92 ; 14,90]	3,23
Curran et al HL-BFR vs HL-RT		Δ entre pré-intervention et post-intervention	16,49 ± 9,97	20.48 ± 12.27	0,23	- 3,99 IC95 [-11,76 ; 3,78]	-0,4
		Δ entre préopératoire à post-intervention	11,83 ± 16,67	17,89 ± 17,20	0,60	- 6,06 IC95 [-17,90 ; 5,78]	-0,4
		Δ entre préopératoire au RTA	27,67 ± 14,15	33,77 ± 14,20	0,55	-6,1 IC95 [-16,02 ; 3,82]	-0,4
Li et al LL-BFR vs LL-RT			Fin de la 8 ^{ème} semaine	75.38 ± 10.45	59.00 ± 10.79	0,000	16,38 IC95 [3,92 ; 28,84]

Tableau XIV : Tableau des résultats du critère de jugement « fonction physique »

4 Discussion

L'objectif de cette revue de littérature est d'étudier l'intérêt d'ajouter le BFR dans la rééducation postopératoire du LCA sur la force musculaire, la douleur articulaire et musculaire puis la fonction physique. L'hypothèse initiale était : L'entraînement sous restriction du flux sanguin ou Blood Flow restriction (BFR) a un intérêt dans la prise en charge de la force, de la douleur et de la fonction physique du patient ayant subi une reconstruction chirurgicale du ligament croisé antérieur.

Les essais inclus dans la revue présentent et mettent en avant des différences. Nous allons les traiter dans cette partie. [79]

Pour rappel, HL-BFR signifie entraînement à haute intensité avec BFR, LL-BFR signifie entraînement à faible intensité avec BFR. De la même façon, HL-RT signifie entraînement en résistance à charge élevée et enfin LL-RT signifie entraînement en résistance à faible charge.

4.1 Analyse des résultats

Nous allons premièrement analyser la **population**, puis le **protocole** du groupe contrôle et expérimental et enfin les **résultats** de chacun des articles que nous essayerons de mettre en commun qualitativement en **tenant compte** des **différences** mises en avant.

4.1.1 Analyse de la population

Bien que l'**effectif** ne soit pas le même dans chaque étude, il demeure **petit** pour chacune d'elle. Pour les deux études Hughes et al de 2019 et celle de Vieira de Melo et al, on dénombre 24 participants. Ils sont plus nombreux dans l'étude de Curran et al (34) et Khalil et al (36) et moins nombreux dans l'étude de Hughes et al de 2018 (20) et dans celle de Li et al avec seulement 14 participants.

Remarque : Le faible nombre de l'effectif dans chaque étude peut altérer les résultats des calculs statistiques.

4.1.1.1 Le sexe des participants

Nous remarquons que dans les études de Hughes et al, de Vieira de Melo et al et de Khalil et al, il y a plus d'hommes que de femmes notamment dans le groupe contrôle. Dans l'étude de Curran et al, le groupe expérimental comporte aussi plus d'hommes que de femmes. En revanche, le groupe contrôle est quant à lui composé de plus de femmes que d'hommes : 11 contre 5. Pour ce qui est de l'étude de Li et al, nous ne connaissons pas la proportion d'hommes et de femmes dans les divers groupes ce qui constitue une incertitude. Cette revue inclut plus d'hommes que de femmes. Les **gains de force** ne sont **pas les mêmes** chez une **femme** et chez un **homme** notamment avec l'apparition de la ménopause à partir d'un certain âge. [80]

4.1.1.2 L'âge des participants

Dans toutes les études, les âges des participants sont plutôt similaires entre les groupes expérimentaux et contrôle. Dans les trois études de Hughes et al, celle de Li et al et dans celle de Khalil et al, les participants ont entre 20 et 38 ans environ. Dans l'étude de Vieira de Melo et al, les participants ont un âge moyen d'environ 40 ± 10 ans. En revanche, pour ce qui est de l'étude de Curran et al, l'âge moyen est de 15,7 ans pour le groupe expérimental et 17,5 pour le groupe contrôle. Le sous-groupe

excentrique sans BFR de cette étude présente une différence statistiquement significative concernant l'âge par rapport aux autres groupes de l'étude. Cependant, nous ne savons pas s'il existe une différence dans la réponse au BFR avec des exercices excentriques ou concentriques pour cette tranche d'âge. De plus, il s'agit de la seule étude où les participants pouvaient être mineurs. Cela peut donc entraîner des différences dans les résultats. En effet, les **améliorations de force** ne sont **pas les mêmes** chez une **population adolescente** que chez un **adulte de 50 ans**. Les gains de force semblent **plus importants chez les jeunes**, hommes et femmes, que chez leurs homologues plus âgés. [80,81] Au fil de l'âge, le tissu musculaire change. Il y a des changements cellulaires (nombre de cellules satellites), biochimiques, métaboliques avec des troubles de la régulation du métabolisme protéique (protéolyse et défaut de synthèse protéique) et hormonaux. Cela entraîne une perte de masse maigre et donc une diminution de la force. [81] **Ce déclin est plus important à partir de 60 ans et notre population est plus jeune dans toutes les études.** [82]

4.1.1.3 Le poids des participants

Les participants ont un poids relativement **homogène**. Il est légèrement au-dessus de la moyenne des études dans celle de Hughes et al de 2018 et en dessous dans l'étude de Vieira de Melo et al.

4.1.1.4 Les antécédents et les blessures concomitantes à la lésion du LCA des participants

La plupart des auteurs excluaient les patients s'ils avaient déjà eu des atteintes sur le genou blessé (Vieira de Melo et al et Curran et al) ou s'ils avaient effectué une injection il y a moins de 6 mois (Hughes et al). La plupart des articles n'incluaient que des participants ayant subi une reconstruction du LCA sans autre atteinte pouvant influencer les résultats (Vieira de Melo et al, Hughes et al). Cependant, dans l'étude de Curran et al, certains participants ont subi des ménisectomies ou des sutures méniscales lors de la chirurgie de reconstruction du LCA. Cela peut influencer les résultats. L'étude de Li et al et de Khalil et al ne précisent pas ces informations ce qui constitue une incertitude. La **présence** d'une **suture méniscale** ou d'une **ménisectomie** et des consignes de rééducation qui en découlent (éviter le travail en CCO du quadriceps) **retarde la récupération musculaire** dans les premiers stades de la rééducation. Il n'y aurait plus d'impact à 6 mois sauf en cas d'atteinte des deux ménisques. [83]

4.1.1.5 Le type de greffon utilisé chez les participants

Les études de Hughes et al, de Vieira de Melo et al et de Khalil et al n'incluent que des patients ayant effectué une autogreffe des ischios jambiers. Dans celle de Curran et al, l'échantillon se compose principalement de patients ayant subi une autogreffe de type BPTB, avec quelques patients ayant subi une autogreffe de type DIDT et TQ. Enfin, l'étude de Li et al, ne précise pas la nature de l'autogreffe. Les **déficits** peuvent être **différents** en fonction du **type de greffe**. Un greffon BTPB et TQ a tendance à provoquer plus de déficit du quadriceps que des ischios-jambiers. Une méta-analyse comparant les résultats cliniques et fonctionnels de différents types d'autogreffes rapporte que le greffon TQ provoque moins de douleur au niveau du site de prélèvement par rapport au greffon BTPB et possède de meilleurs résultats fonctionnels par rapport au greffon des ischios jambiers. [84] Une autre méta-analyse rapporte que la force isocinétique des fléchisseurs après une autogreffe de type TQ est significativement supérieure qu'après une autogreffe des ischios-jambiers et identique avec celle de type BTPB. La force isocinétique des extenseurs est significativement supérieure à 6 mois par rapport au TQ d'après cette même méta-analyse. [85]

Dans l'étude de Curran et al, la population est plus hétérogène que dans les autres études mais est plutôt représentative de la population ayant subi une reconstruction du LCA.

Ainsi, dans cette revue, la **population** reste **plutôt homogène** mais les **différences évoquées** ainsi que les différences ethniques et socio-culturelles seront à **prendre en considération**.

4.1.2 Analyse du protocole expérimental et contrôle

Lors de la sélection des études, nous avons été attentifs au protocole mis en place pour les groupes contrôle et expérimental. Cependant, il existe des différences entre les études.

4.1.2.1 *Les dates de début et la durée de l'expérimentation*

Certains participants ont été sélectionnés alors qu'ils étaient déjà opérés au cours des deux derniers mois (Vieira de Melo et al), depuis au moins 8 semaines (Li et al), depuis 2 semaines (Hughes et al 2018) ou depuis une 1 semaine (Khalil et al) alors que d'autres étaient en attente de l'opération (Hughes et al 2019 et Curran et al).

Dans les études de Hughes et al et de Khalil et al, c'est à partir de la 2^{ème} semaine postopératoire que le traitement peut démarrer, dans celle de Vieira de Melo et al à partir de la sortie d'hôpital, dans celle de Curran et al à partir de la 10^{ème} semaine postopératoire et enfin dans celle Li et al à partir de la 8^{ème} semaine postopératoire. **La différence de date d'exécution du protocole peut influencer les résultats sur la force, la douleur et la fonction même si le protocole est effectué sur la même durée.** Dans les études de Hughes et al et Li et al, il s'agit d'un protocole de **8 semaines** à raison de **2 fois** par semaine. Dans l'étude de Vieira de Melo et al, il s'effectue sur **12 semaines** et dans celle de Hughes et al de 2018 il s'agit d'**une séance expérimentale unique**. Enfin, dans l'étude de Khalil et al, il s'effectue **3 fois** par semaine pendant 12 semaines. **La durée du protocole peut influencer les résultats finaux.** C'est pour cela qu'il sera intéressant de considérer les échéances à partir desquelles les résultats sont significatifs.

4.1.2.2 *La pression et le mode d'occlusion choisi pour les participants des groupes expérimentaux*

Dans toutes les études la pression d'occlusion est fixée à la pression d'occlusion recommandée soit 80% de LOP. [51]

Dans les études cette pression est réajustée, à chaque séance ou pendant l'exercice, si nécessaire. Cependant, nous remarquons une différence. Hughes et al utilise une **compression continue**. **Vieira de Melo et al** accorde **une pause de 5 minutes** et **Li et al** de **30 secondes**, brassards dégonflés, **entre les deux exercices** pour permettre la **reperfusion**. Enfin, **Curran et al** utilise une **compression par intermittence** avec une **pause de deux minutes** brassard dégonflé **entre les séries**. On pourrait penser que le fait d'utiliser une compression par intermittence pourrait supprimer l'effet du stress métabolique et donc modifier les adaptations morphologiques et les résultats obtenus. Un essai clinique étudiant la différence entre le **mode continu et intermittent** chez des patients effectuant un protocole à 30% de la RM ne révèle **pas de différence entre les deux modes en ce qui concerne le gain de force** mesuré par dynamomètre isocinétique [86].

4.1.2.3 *Le protocole du groupe expérimental*

Dans les études de **Hughes et al** et de **Vieira de Melo et al**, les patients ont effectué 4 séries de presse unilatérale constituées de **30 répétitions pour la première et de 15 répétitions pour les suivantes** à **30% de la RM** avec 30s de repos entre les séries. Dans l'étude de Vieira de Melo et al, la chaise à ischios se surajoute à cet exercice de presse. Dans celle de **Li et al**, le protocole est aussi le même mais le type d'exercice n'est pas précisé. Nous savons juste qu'il s'agit de deux exercices de renforcement du

quadriceps. Dans toutes les études précédemment citées, le protocole est en accord avec les recommandations [Annexe 10]

Dans l'étude de **Curran et al**, il s'agit de **4 séries de 10 répétitions**. Nous pouvons remarquer que le nombre de répétitions est inférieur aux recommandations du LL-BFR (30,15,15,15) ce qui peut influencer négativement les effets du stress métabolique. Un des deux sous-groupes de cette étude fait de l'excentrique à **70%** de la **RM** et du concentrique à 20% et inversement pour l'autre sous-groupe. Dans l'étude de **Khalil et al**, le BFR est appliqué au cours des exercices de renforcement donc pendant un exercice de presse à jambe avec élastique (**3x10 répétitions et 3x15 répétitions**), de fentes arrière (**3x10 répétitions**) et de flexion plantaire (**3x10 répétitions**). Nous ne connaissons pas les temps de pauses. Il n'est pas précisé dans l'étude si la RM a été calculée et à quel pourcentage les exercices sont effectués. Nous comprenons qu'ils sont effectués à haute intensité ; on **suppose** donc à **70%** de la **RM**.

Dans toutes les études, les séries n'étaient jamais réalisées jusqu'à l'échec mais cela n'est pas recommandé dans une population clinique.

Nous reviendrons ci-après sur les différences que ce pourcentage de RM peut apporter.

Le nombre de répétitions se rapproche davantage d'un travail en gain hypertrophique car lorsque l'on cherche à augmenter spécifiquement la force on a tendance à effectuer moins de répétitions. [87] Cependant, avec le BFR, pour obtenir les effets du stress métabolique et permettre une potentialisation du stress mécanique un certain nombre de répétition est nécessaire.

4.1.2.4 Le protocole du groupe contrôle

Dans les études de Curran et al, Li et al et Khalil et al, le groupe contrôle effectue le même protocole que le groupe expérimental en l'absence de BFR. Cela permet de connaître l'apport seul du BFR sur les critères de jugement (Curran et al : **70% RM**, Li et al : **30% RM**, Khalil et al : **70% RM**). Dans les études de Hugues et al et de Vieira de Melo et al, les patients du groupe contrôle effectuent **3 séries de 10 répétitions à 70%** de la **RM**.

De la même façon, ce nombre de répétitions correspond plutôt à la recherche de gain hypertrophique mais dans cette phase de rééducation il est cohérent de ne pas travailler à 100% de la RM et de privilégier un nombre plus élevé de répétitions.

Les groupes n'effectuent pas les exercices au même pourcentage de RM ce qui empêche de comparer ensemble les résultats obtenus.

4.1.2.5 Informations supplémentaires sur les types d'exercices effectués dans les deux groupes

Dans les études, l'intensité des exercices a globalement toujours été adaptée en fonction des progrès et parfois du sexe. Les exercices en chaîne cinétique fermée (CCF) sont à même de solliciter d'autres muscles que ceux ciblés. En effet, la presse à jambe unilatérale peut solliciter le quadriceps, les ischio-jambiers, le grand fessier et les adducteurs. Nous le prenons en considération même si les exercices étaient effectués avec un contrôle des compensations. Les exercices en CCF permettraient une récupération meilleure et plus rapide que les exercices en chaîne cinétique ouverte notamment aussi en raison des délais imposés en postopératoire. [88]

Le BFR était appliqué sur les deux membres dans les études de Hughes et al et de Vieira de Melo et al ce qui permet d'éviter tout effet de transfert croisé pendant l'entraînement. Cela n'est pas le cas pour l'étude de Curran et al et cela n'est pas précisé dans l'étude de Li et al et Khalil et al ; études dans lesquelles seul le membre opéré était testé.

En effet, une étude rapporte que le renforcement des quadriceps en concentrique et en excentrique des membres non blessés dans la période postopératoire après reconstruction du LCA permet un gain de force du membre blessé par éducation croisée. [89]

4.1.3 Analyse des critères de jugement et des outils de mesures

4.1.3.1 La force musculaire

Dans les articles inclus, l'évaluation de la force du quadriceps et des ischio-jambiers a été rapportée de différentes façons : **force isocinétique** à 60°/s, 150°/s, 180°/s et 300°/s, la force isométrique, la force 1RM et la force 10RM. En effet, la force peut être évaluée grâce à des tests manuels, de RM, isométriques ou isocinétiques. Cette dernière méthode est considérée comme celle de **référence** [90] même si des compensations restent possibles. Elle permet une quantification de la force à diverses vitesses angulaires. Une vitesse lente (60°/s) cible davantage la force maximale, une vitesse rapide (300°/s) l'explosivité et une vitesse intermédiaire la puissance et l'endurance du muscle. Plus la vitesse est rapide moins il y a de pression intra-articulaire. Le dynamomètre isocinétique utilisé pour les trois études est le même (Biodex 3.0 ou 4.0) et présente une bonne fiabilité et validité. [91]

La **force isométrique** permet d'évaluer la force tout en diminuant les tensions sur l'articulation par rapport au dynamomètre isométrique en plus d'être un outil plus économique. Dans l'article de Vieira de Melo et al et Curran et al la force sera évaluée à 90° de flexion de hanche et de genou avec un dynamomètre portatif de bonne fiabilité et validité. [92]

Le **test 1RM** est aussi un moyen valable pour évaluer la force musculaire. [90] Des compensations sont possibles pendant le test. La **force 10RM** est hautement prédictive de la force 1RM. [93] Cette dernière est surtout améliorée lors d'entraînement à charge lourde alors que la force isocinétique et isométrique peut être obtenue sur une étendue plus large de charge. [87]

Les mesures prises par dynamométrie isocinétique et isométrique et la force 1RM ne sont pas assez concordantes. **Ces outils ne peuvent pas être utilisés de façon interchangeable.** [94] La divergence de type de force rend donc difficile la mise en commun quantitative des résultats pour ce critère de jugement.

4.1.3.2 La douleur articulaire

La douleur articulaire est évaluée par la sous échelle « douleur » du questionnaire **KOOS** dans les études de Hughes et al 2019a et de Vieira De Melo et al. Cette échelle possède une bonne fiabilité et **validité**. [95] Dans l'étude de Hughes et al 2019b, et celle de 2018, elle est évaluée par l'échelle de Borg et enfin par l'EVA dans celle de Khalil et al. L'échelle de **Borg** a été utilisée de façon **similaire** à l'échelle **EVA**. Celle-ci est **valide** cependant elle ne **représente pas** la **complexité** de l'**expérience douloureuse**. [96] Il présente donc un intérêt de spécifier la catégorie de douleur comme ici la douleur articulaire. La divergence des échelles et l'absence de données ne permet qu'une analyse qualitative des résultats.

4.1.3.3 La douleur musculaire

Elle est évaluée dans l'étude de Hughes et al 2019a et 2018 par l'échelle de **Borg**. Cependant l'absence de données ne permet qu'une analyse qualitative des résultats.

4.1.3.4 La fonction physique

Le questionnaire **IKDC** est le plus recommandé pour évaluer la fonction des patients après une reconstruction du LCA. Il a une **bonne fiabilité** et **validité**. [97] Il serait **sensible** et **réactif** aux altérations fonctionnelles après reconstruction du LCA et plus adapté que d'autres tests fonctionnels en postopératoire. Cependant, il indique un score unique total. Ce dernier présente l'**inconvenient de ne pas signaler quel versant** (symptômes, activités sportives et fonction) **impacte** la fonction physique et donc la qualité de vie du patient. D'autre part, l'item sur la fonction antérieure du genou n'est pas pris en compte dans le score final. [98]

Dans nos études la fonction physique est toujours évaluée par ce questionnaire ce qui rend les résultats plus comparables. Néanmoins les divergences des protocoles et du type de données (mesure à un instant T et différence de moyenne entre deux phases de traitement) ne permettent pas une analyse quantitative pour ce critère.

Ces échelles (Borg, EVA, KOOS et IKDC) ont l'inconvénient d'être uniquement subjectives. La perception de la douleur est différente en fonction de nombreux facteurs propres à chacun. Néanmoins, le ressenti du patient est un élément essentiel dans l'adaptation de notre prise en charge et est un indicateur de sa qualité de vie.

4.1.4 Analyse des résultats des études

4.1.4.1 Analyse de la force

L'étude de Hughes et al 2019a étudie les différences entre le LL-BFR et le HL-RT entre la phase préopératoire et après 8 semaines d'intervention. On remarque une différence en faveur du groupe expérimental pour toutes les forces isocinétiques mesurées. La valeur de p est fournie que pour la force isocinétique des extenseurs à 60°/s. Tous les IC95 croisent la valeur 0. Les différences intergroupes ne sont donc pas statistiquement significatives à toutes les vitesses pour les extenseurs et les fléchisseurs. En tenant compte de la largeur de l'IC95 et des d de Cohen qui indiquent une taille d'effet moyenne, nous pouvons dire que, bien que ce soit discutable, les différences intergroupes peuvent être considérées comme cliniquement pertinentes. Il se peut que la taille de l'échantillon soit trop faible pour montrer une différence statistiquement significative. [75]

Concernant la force 1RM, nous remarquons une différence en faveur du groupe contrôle qui n'est ni statistiquement ni cliniquement significative ce qui peut s'expliquer par le fait que la force 1RM est surtout améliorée lors d'entraînement à charge lourde alors que la force isocinétique et isométrique peut être obtenue sur une étendue plus large de charge comme le prouve cet article. [87]

➔ Pour cette étude, nous pouvons dire que le traitement LL-BFR permettrait des gains de force isocinétique et RM similaires au HL-RT à la fin du protocole de 8 semaines.

L'étude de Vieira de Melo et al étudie également les différences entre le LL-BFR et le HL-RT. On remarque une différence en faveur du groupe expérimental pour toutes les forces isométriques mesurées. Cette différence est statistiquement significative (valeur de p) pour la force isométrique des extenseurs seulement à la fin de la 12^{ème} semaine d'intervention. Pour la force isométrique des fléchisseurs elle est statistiquement significative à la fin de la 8^{ème} semaine et de la 12^{ème} semaine d'intervention. Les IC95 ne croisent pas la valeur 0 ce qui n'est pas en accord avec la valeur de p. Toutes les différences intergroupes sont cliniquement significatives : les tailles d'effet sont correctes et les

intervalles sont étroits. Nous n'avons pas de DMCI. En revanche, les d de Cohen témoignent d'une taille d'effet importante à très importante.

- ➔ Pour cette étude, nous pouvons dire que le traitement LL-BFR présenterait une similarité avec le traitement HL-RT et une supériorité à partir de la 12^{ème} semaine pour les extenseurs et de la 8^{ème} semaine pour les fléchisseurs en termes de gain de force isométrique.

Il se peut que l'exercice de presse à jambe sollicite les ischios jambiers par compensation dans le groupe expérimental malgré un contrôle. De plus, la chaise à ischios permet un isolement de ceux-ci ce qui les renforce encore davantage. Cela pourrait expliquer cette différence d'échéance.

Ces deux articles comparent le même type d'intensité d'exercice bien que l'un mesure la force isocinétique et l'autre la force isométrique. Nous remarquons que :

- Dans l'étude de Hughes et al 2019a, les différences intergroupes en faveur du groupe LL-BFR ne sont pas statistiquement significatives pour la force des extenseurs et des fléchisseurs à la fin de 8 semaines de traitement. Dans l'étude de Vieira de Melo et al c'est à partir de la 12^{ème} semaine de traitement que le p est statistiquement significatif pour les extenseurs et de la 8^{ème} semaine pour les fléchisseurs. Les différences sont cliniquement significatives. La population et l'intervention diffèrent peu entre ces deux études. Cependant, l'étude de Hughes et al ne dure que 8 semaines et la différence dans l'étude de Vieira de Melo apparaît suffisamment importante qu'à partir de la 12^{ème} semaine pour les extenseurs. De plus, les dates de début d'entrée dans l'étude (deux semaines postopératoire vs deux derniers mois postopératoire, sans précision supplémentaire), la divergence des âges et la faiblesse de l'échantillon pourraient expliquer ces différences. Nous rappelons que les résultats ont été obtenus par lecture graphique dans l'étude de Hughes et al et peuvent donc être imprécis.
- Dans l'étude de Vieira de Melo et al, grâce à une évaluation à diverses échéances, nous remarquons que cette différence intergroupe (taille d'effet) en faveur du groupe LL-BFR augmente au fur et à mesure du traitement. Une limite se présente donc et il paraîtrait intéressant de savoir jusqu'à quand cette différence s'accroît.

L'étude de Li et al étudie les différences entre le LL-BFR et le LL-RT. On remarque une différence en faveur du groupe expérimental pour la force isocinétique des extenseurs à 60°/s et 180°/s à la fin du traitement de 8 semaines. Cette différence est statistiquement et cliniquement significative. Les intervalles de confiance sont larges mais les bornes minimales sont bien éloignées du 0. De plus, les d de Cohen indiquent une taille d'effet très importante.

- ➔ Pour cette étude, nous pouvons conclure que le LL-BFR apporterait des effets supérieurs en termes de gain de force par rapport au LL-RT.

L'étude de Curran et al étudie les différences entre le HL-BFR et le HL-RT. On remarque une différence en faveur du groupe expérimental concernant la force isocinétique des extenseurs à 60°/s entre la période préopératoire à post-intervention et préopératoire au RTA (retour à l'activité) mais les écarts types des moyennes sont très grands. De la même façon, on observe une différence en faveur du groupe expérimental concernant la force 1RM. Cependant, aucune différence entre les deux groupes

n'est statistiquement ou cliniquement significative. Enfin, les différences intergroupes concernant la force isométrique ne sont également ni statistiquement ni cliniquement significatives. En effet, tous les IC95 sont larges voire symétriques de part et d'autre de la valeur nulle indiquant une très faible taille d'effet corroborée par les valeurs des d de Cohen.

- ➔ Pour cette étude, nous pouvons conclure que le traitement HL-BFR n'apporterait pas de supériorité au HL-RT. La variabilité de la population (âge, sexe, blessures méniscales concomitantes, greffon) (cf. § 4.1.1) peut expliquer en partie l'importance des écarts types dans les résultats obtenus et la largeur des intervalles.

Ainsi, les articles étudiés tendraient à montrer que :

- Le LL-BFR apporte un gain de force supérieur au LL-RT (Li et al). En effet, les effets du stress métabolique permis par le BFR permettent une potentialisation du stress mécanique et ainsi des adaptations morphologiques. Les résultats de cette étude sont en accord avec une revue et méta-analyse chez des patients souffrant de troubles musculosquelettiques divers qui conclut que le LL-BFR est plus efficace que le LL-RT et constitue une approche plus supportable que le HL-RT. [57]
- Le LL-BFR apporte un gain de force au minimum similaire au HL-RT (Hughes et al et Vieira de Melo et al). En effet, les effets du stress métabolique permis par le BFR permettent une potentialisation du stress mécanique et ainsi des adaptations métaboliques se rapprochant et pouvant parfois dépasser les effets du HL-RT. Une revue effectuée sur des patients ayant subi une reconstruction du LCA ou souffrant d'arthrose conclut que le LL-BFR aurait des effets similaires au HL-RT. [49]
- Le HL-BFR apporte un gain de force égal au HL-RT. Plusieurs hypothèses pourraient l'expliquer :
 - Il se peut que le protocole (8 semaines à raison de 2 à 3 fois par semaine) permette un gain de force lorsqu'il est associé à des exercices de faible intensité mais ne le permette pas à haute intensité.
 - En CCF, il est possible que les patients aient davantage sollicité leurs fessiers ou ischio-jambiers au détriment de leur quadriceps dans le groupe expérimental pour répondre aux exigences de l'exercice.
 - Le protocole n'a peut-être pas assez sollicité le stress métabolique : 4 séries de 10 répétitions contre 4 séries (30, 15, 15, 15) pour les autres études.
 - Nous pouvons penser que les effets obtenus par le stress mécanique (synthèse de protéines) dû aux efforts de haute intensité ne s'additionnent pas avec le stress métabolique. L'ajout du stress métabolique à partir d'une certaine tension mécanique ne permet peut-être pas de nouvelles adaptations.

Cette dernière hypothèse semble plus plausible et est en accord avec une étude qui indique que le HL-BFR ne permet pas d'effet supplémentaire sur les adaptations musculaires par rapport au HL-RT quel que soit le protocole mis en place. [99] Le travail en intermittence comme vu précédemment n'aurait pas d'impact.

4.1.4.2 Analyse de la douleur articulaire

La réduction de la douleur a une place prépondérante. En effet, la diminution de celle-ci permet une amélioration des autres critères. A l'inverse une persistance de celle-ci impactera négativement la force et la fonction.

Tous les articles inclus sauf l'étude de Khalil et al comparent le LL-BFR au LL-RT et sont relativement similaires. Trois d'entre elles ont été réalisées par le même auteur et divergent presque uniquement dans l'outil de mesure utilisé.

Dans l'étude de Hughes et al 2019a, on observe une différence en faveur du groupe expérimental de la douleur (KOOS) entre 0 et 4 et 0 et 8 semaines. Cette différence est très statistiquement significative entre la semaine 0 et 4 et la semaine 0 et 8 excepté entre la semaine 4 et 8 où elle n'est pas non plus cliniquement significative. La différence est cependant cliniquement significative entre 0 et 4 et 0 et 8 semaines. En effet, les tailles d'effet de l'IC95 sont au-dessus du DMCI et les d de Cohen indiquent une taille d'effet très importante.

- ➔ Pour cette étude, nous pouvons conclure que le LL-BFR permettrait d'obtenir des effets supérieurs en termes de diminution de la douleur par rapport au HL-RT au début du protocole (entre 0 et 4 semaines).

Dans l'étude de Vieira de Melo et al, on observe une différence statistiquement significative en faveur du groupe expérimental de la douleur (KOOS) à la fin de la 4^{ème}, 8^{ème} et de la 12^{ème} semaine. La taille d'effet est de 19,91 à la fin de la 4^{ème} semaine, augmente un petit peu à la fin de la 8^{ème} et enfin diminue franchement à la fin de la 12^{ème} semaine. Les différences sont cliniquement significatives. En effet, les tailles d'effet et les bornes minimales de l'IC95 sont au-dessus du DMCI sauf à la fin de la 12^{ème} semaine mais cela reste pertinent. Les d de Cohen sont très importants.

- ➔ Pour cette étude, nous pouvons conclure que le LL-BFR permettrait d'obtenir des effets supérieurs en termes de diminution de la douleur par rapport au HL-RT surtout à la fin de la 4^{ème} et 8^{ème} semaine. Nous remarquons que cette différence est plus importante à la fin de la 8^{ème} semaine et diminue à la fin de la 12^{ème}.

La première étude rapporte une différence intergroupe majoritaire au début qui diminue après. Ce qui est en accord avec le fait que le HL-RT devient de moins en moins douloureux au fil du temps car l'articulation supporte de plus en plus la charge. En revanche, dans la deuxième étude, cette différence augmente à la fin de la 8^{ème} semaine. Cela peut s'expliquer par le fait qu'à un stade plus avancé de la rééducation les différences entre les deux groupes mettent plus de temps avant d'être significatives. Elle diminue à la fin de la 12^{ème} semaine car il existe très certainement un moment à partir duquel l'articulation ne souffrant plus il n'y a plus de différence avec le HL-RT.

Dans l'étude de Hughes et al 2019b et Hughes et al 2018, on observe une différence statistiquement significative en faveur du groupe expérimental de la douleur moyenne (Borg) sur les 16 séances et 24h après celles-ci ou sur la séance et 24h après celle-ci. Concernant l'étude de Hughes et al 2019b, nous n'avons pas les éléments nécessaires au calcul de la taille d'effet et de l'IC95. La différence est cliniquement significative car le d de Cohen indique une taille d'effet très importante. Dans l'étude de Hughes et al 2018, la borne minimale de l'IC95 est proche du 0 et en deçà du DMCI mais l'échelle étant

sur 10 et la séance étant unique cela peut se justifier. Le d de Cohen est élevé également. La pertinence clinique est discutable.

→ Pour ces études nous pouvons conclure que le LL-BFR permettrait d'obtenir des effets supérieurs en termes de diminution de la douleur par rapport au HL-RT.

Dans l'étude de Khalil et al, aucune différence entre les groupes n'est statistiquement ou cliniquement significative à 1,5 mois et à 3 mois postopératoire. Les d de Cohen sont faibles, les IC95 sont larges autour de la valeur 0 et leur paramètre en dessous du DMCI.

→ Pour cette étude, nous pouvons conclure que le BFR ne permettrait pas de diminuer la douleur lorsque l'on travaille à haute intensité.

Ainsi, les articles étudiés tendraient à montrer que :

- Le LL-BFR entraîne une diminution des douleurs articulaires par rapport au HL-RT.
- Le HL-BFR n'entraîne pas de diminution des douleurs articulaires par rapport au HL-RT.

Cette différence peut simplement s'expliquer par la charge plus légère. Cela est cohérent avec le fait qu'à haute intensité il n'y ait pas de changement. (Khalil et al)

4.1.4.3 Analyse de la douleur musculaire

Il s'agit de la douleur musculaire pendant la séance qui est différente des DOMS qui sont des douleurs musculaires d'apparition retardées dues à des microlésions. Elle est évaluée dans l'étude de Hughes et al 2019b et 2018. Ces deux études mettent en avant une augmentation statistiquement significative des douleurs musculaires dans le groupe BFR par rapport au groupe contrôle. La différence intergroupe est cliniquement significative dans l'étude de 2018 ; la borne minimale de l'IC95 est au-dessus du DMCI. Cependant des données sont manquantes pour le déterminer dans celle de 2019b. Les résultats sont donc à prendre avec prudence.

Ainsi, les articles étudiés tendraient à montrer que :

- Le LL-BFR entraîne des douleurs musculaires plus importantes que le HL-RT.

La douleur musculaire est influencée par la charge, l'individualisation des pressions de restriction et par l'entraînement à l'échec qui n'est pas mené ici. En effet, il peut y avoir une augmentation subjective de la douleur par l'accumulation des métabolites dû au stress métabolique. [100] Cependant ces douleurs n'altèrent pour la plupart du temps pas l'adhésion des patients aux exercices et sont diminuées une fois l'exercice terminé.

Il pourrait exister une autre raison à la diminution de la douleur articulaire que la diminution de la charge sur l'articulation par l'utilisation du LL-BFR à la place du HL-RT. En effet, l'ischémie et les douleurs musculaires résultant de la pression appliquée peuvent être la source d'un stimulus de conditionnement pour la modulation de la douleur. Ils pourraient ainsi modifier la sensibilité à la douleur et être l'essence d'une réponse antinociceptive. De plus, l'hypoxie pourrait être à l'origine d'une libération d'opioïdes endogènes et d'endocannabinoïdes pendant l'exercice. [101] A haute intensité cette réaction peut ne pas avoir eu lieu car les stress mécaniques et métaboliques ne seraient

pas additionnels. De ce fait il se pourrait qu'il n'y ait donc pas cette sécrétion de molécules antalgiques. Cependant, ces résultats sont à prendre avec prudence car cette étude [101] présente des limites et devrait être réalisée sur une population blessée et plus nombreuse. D'autre part dans l'étude de Khalil et al, il y a des imprécisions concernant le matériel d'occlusion et la procédure de réalisation des exercices.

4.1.4.4 Analyse de la fonction physique

Dans l'étude de Hughes et al 2019a, on observe une différence très statistiquement significative en faveur du groupe expérimental du score IKDC entre 0 et 4 et 0 et 8 semaines. Entre 0 et 4 semaines, la significativité clinique est discutable car la borne minimale et surtout le paramètre de l'IC95 est en deçà du DMCI mais le d de Cohen indique une taille d'effet très importante. Entre 0 et 8 semaines, la différence est cliniquement pertinente car le paramètre est au-dessus du DMCI, la borne maximale est de 19,04 et le d de Cohen indique une taille d'effet très importante. En revanche, l'IC95 de la différence intergroupe entre 4 et 8 semaines croise la valeur 0 et n'est pas en accord avec la valeur du p. La différence n'est cliniquement pas significative car le paramètre et les deux bornes de l'IC95 sont en dessous du DMCI. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus sur la force dans la même étude.

➔ Pour cette étude, nous pouvons conclure que le LL-BFR permettrait d'obtenir des effets supérieurs en termes de gain de fonction par rapport au HL-RT entre 0 et 8 semaines de traitement.

Dans l'étude de Vieira de Melo et al, on observe une différence en faveur du groupe expérimental du score IKDC. N'ayant pas la valeur du p à la première évaluation nous utilisons l'IC95 de la différence intergroupe. Il ne croise pas la valeur 0, les différences sont donc statistiquement significatives. A la fin de 4 semaines d'intervention, la différence n'est pas cliniquement significative car la borne minimale et le paramètre de l'IC95 sont en dessous du DMCI. Cela correspond à ce qui est rapporté dans l'étude. A la fin des 8^{ème} et 12^{ème} semaine, les différences intergroupes sont statistiquement et cliniquement significatives : les tailles d'effet sont très proches voire au-dessus du DMCI.

➔ Pour cette étude, le LL-BFR permettrait d'obtenir des effets supérieurs en termes de gain de fonction par rapport au HL-RT à partir de la 8^{ème} semaine principalement.

Ces deux études comparent le LL-BFR vs le HL-RT et sont en accord avec le fait que la différence est plus significative à la fin de 8 semaines d'intervention.

Dans l'étude de Li et al, on observe une différence en faveur du groupe expérimental du score IKDC à la fin de l'intervention. Cette différence est statistiquement et cliniquement significative bien que la borne minimale de l'IC95 ne soit que de 3,92 car le paramètre est de 16,38 et la borne maximale de 28,84. Le d de Cohen est élevé également.

➔ Pour cette étude, nous pouvons conclure que le LL-BFR apporterait des effets supérieurs en termes de gain de fonction par rapport au LL-RT.

Dans l'étude de Curran et al, on observe une différence en faveur du HL-RT du score IKDC entre la phase pré-intervention à post-intervention, préopératoire à post-intervention et préopératoire au

RTA. Les écart-types étaient importants dus potentiellement à la variabilité de la population mais ces différences étaient statistiquement et cliniquement non significatives. En effet, les intervalles étaient larges autour de la valeur 0 et les d de Cohen indique une taille d'effet faible.

➔ Pour cette étude nous pouvons conclure que le HL-BFR apporterait des effets similaires au HL-RT.

Ainsi, les articles étudiés tendraient à montrer que :

- Le LL-BFR entraîne un gain de fonction supérieur au LL-RT (Li et al)
- Le LL-BFR entraîne un gain de fonction supérieur au HL-RT à partir de 8 semaines (Hughes et al, Vieira de Melo et al).
- Le HL-BFR n'entraîne pas de gain de fonction supérieur au HL-RT seul (Curran et al)

Les résultats obtenus sont en accord avec le fait que l'amélioration de la force et la diminution de la douleur entraînent une amélioration de la fonction physique. En effet, elle est améliorée par une amélioration de la douleur, de l'œdème, des amplitudes, des facteurs structuraux et nerveux. [102] De ce fait, les mêmes explications que celles ci-dessus peuvent expliquer les résultats obtenus.

Nous **restons** cependant **vigilants** face à ces **résultats** et à leur **interprétation**. Nous rappelons, le **faible nombre d'étude incluse**, les **biais** ou **incertitudes** de chacune d'elle, les **faibles tailles d'échantillons**, les **divergences**, les **incertitudes**, l'**hétérogénéité** et les **limites** dans la population, dans les protocoles, dans les outils d'évaluation et dans les valeurs utilisées pour définir la DMCI. L'une des études incluses était un **essai pilote**. Tout cela expose au risque de **surinterpréter les résultats obtenus**.

4.2 **Applicabilité des résultats en pratique clinique**

Il faut désormais se demander si le traitement étudié est **suffisamment efficace** pour être **applicable** dans notre pratique clinique. Il faut donc se questionner sur la balance bénéfices / risques, les coûts, les contraintes, les effets secondaires et indésirables.

Concernant les **bénéfices**, la réalisation d'exercices à faible intensité sous restriction du flux sanguin par rapport à des exercices uniquement à faible intensité, pendant plusieurs semaines, en postopératoire, semble être pourvoyeur d'une meilleure récupération de la force et de la fonction. La récupération serait semblable voire supérieure à celle obtenue avec des exercices à haute intensité.

En effet, le LL-BFR permettrait d'obtenir des effets supérieurs aux exercices de haute intensité sur la douleur articulaire notamment entre 0 et 8 semaines. Il permettrait, de plus, des effets égaux ou légèrement supérieurs sur la force. Enfin, il permettrait d'améliorer la fonction physique à partir de 8 semaines qui augmenterait encore après 12 semaines de traitement. Par ailleurs, cette augmentation pourrait être liée à celle de la force. En cela, le LL-BFR pourrait donc être une alternative intéressante pour ceux ne pouvant pas effectuer des exercices de haute intensité.

En revanche, associer le BFR aux exercices de haute intensité ne semble pas présenter d'effet supérieur aux seuls exercices de haute intensité.

Ainsi, il y aurait un intérêt à l'utiliser uniquement en association avec des exercices de faible intensité.

Nous rappelons tout de même que les résultats doivent donc être interprétés avec prudence car les échantillons de chaque étude restent faibles pour mesurer correctement l'efficacité du traitement.

Les **risques** de cette technique sont faibles, notamment lors de son association avec des exercices de faible intensité. La bonne utilisation du BFR en respect des recommandations, des procédures et des contre-indications expose le patient à peu de risque.

Cela nécessite notamment d'avoir à disposition du matériel de qualité qui inéluctablement est d'autant **plus cher** qu'il est innovant et sécurisé. En effet, les dispositifs les plus évolués **coûtent** environ 7 000 euros ce qui rend plus difficile son acquisition et donc son utilisation dans les petits cabinets. Des appareils moins onéreux sont toutefois disponibles mais moins performants. Les MK ne sont pas dans l'obligation de faire une formation pour pouvoir l'utiliser.

Ce sont des appareils qui sont **facilement utilisables**, peu encombrants donc **facilement portatifs**. Les patients doivent tout de même être **surveillés** et corrigés pour éviter toute compensation et sollicitation musculaire annexe et compensatrice.

Pendant l'exercice sous restriction du flux sanguin, les patients peuvent ressentir un **inconfort**. La sollicitation des fibres à contraction rapide peut être source d'inconfort et de douleurs musculaires dus à l'accumulation de métabolites et à la « brûlure lactique ». Bien que cette douleur musculaire soit plus élevée avec l'entraînement sous BFR, elle n'affecterait pas l'adhésion des patients. Ces sensations semblent être bien tolérées. Elles disparaissent rapidement à l'arrêt de l'application. La douleur articulaire étant diminuée avec le LL-BFR, il semble plus confortable pour les patients en postopératoire que le HL-RT. Cela conforte son utilisation et permet aux patients d'effectuer des séances complètes.

Ainsi, il pourrait être **intéressant** de disposer d'un tel appareil dans un gros cabinet ou dans un centre qui reçoit des patients après une reconstruction du LCA notamment. L'utilisation de ce dispositif pourrait également se montrer intéressante chez une autre patientèle. C'est un appareil compact facilement intégrable dans un cabinet. Une utilisation conforme aux règles d'usage présente **peu de risque**. Les effets secondaires demeurent négligeables au vu des bénéfices.

En revanche, dans un petit cabinet de ville ne recevant que peu de patients présentant un intérêt à l'utilisation de cette technique, il ne paraît pas pertinent d'investir dans ce type de matériel, du moins pas dans les plus onéreux existants.

4.3 Qualité des preuves

4.3.1 Niveau de preuve de la HAS [103]

La **HAS** a établi un système permettant de déterminer le **grade des recommandations** d'une revue de littérature. Les études sont de niveau 2 car ce sont des essais cliniques randomisés de faible puissance. Cette revue est donc de **grade B** correspondant à une **présomption scientifique**. [Annexe 14]

4.3.2 Niveau de preuve du système GRADE [103]

Le système **GRADE** est destiné à évaluer le niveau de preuve d'une revue. On dénombre **4** niveaux de preuve : **Très faible** (1), **Faible** (2), **Modéré** (3) et **élevé** (4).

Le schéma d'étude sera le point de départ de cette évaluation. Les essais cliniques randomisés ont un niveau de preuve de grade 4. Ce système a l'avantage de prendre en considération d'autres éléments que le schéma d'étude. En fonction de l'importance de la présence de ces éléments un ou deux points peuvent être enlevés.

- Le **risque de biais** : nous enlèverons un point pour chaque critère conformément au score PEDro des études incluses ;
- L'**hétérogénéité** ou **incohérence** : nous n'enlèverons pas de point car les études qui comparent le même type d'intensité d'exercice avec le BFR sont en accord ;
- Le **caractère indirect** : nous enlèverons un point dans les critères pour lesquelles l'intervention de comparaison est parfois différente ;
- L'**imprécision des résultats** : nous enlèverons un point pour les trois premiers critères car les études incluent relativement peu de patient et deux points pour la douleur musculaire ;
- Les **biais de publication** : Il correspond en science, au fait que les revues ont tendance à davantage être publiées lorsqu'elles mettent en avant une différence statistiquement significative entre deux traitements ou un résultat en faveur d'un des deux traitements autrement dit dans le sens de l'hypothèse initiale. [73] Nous n'enlèverons pas de point pour cet item car les stratégies de recherche sont assez exhaustives.

N'ayant inclus que des essais cliniques randomisés, aucun élément ne permet d'ajouter des points. Pour qu'une revue obtienne un très bon niveau de preuve il faut qu'elle contienne beaucoup d'études dont beaucoup d'essai clinique randomisés avec des résultats et conclusions en accord et qu'il n'y ait que peu de biais.

Les **niveaux de preuves** ne se font pas **par étude** mais par critère de jugement.

	Force musculaire	Fonction physique	Douleur articulaire	Douleur musculaire
Niveau de confiance	4	4	4	4
Risque de biais	- 1	- 1	- 1	- 1
Hétérogénéité	- 0	- 0	- 0	- 0
Caractère indirect	- 1	- 1	- 1	- 0
Imprécision	- 1	- 1	- 1	- 2
Biais de publication	- 0	- 0	- 0	- 0
Niveau de preuve	Très Faible	Très Faible	Très faible	Très faible

Tableau XV : Niveau de preuve d'une revue de littérature selon le système GRADE

Les niveaux de preuves étant **très faibles** il convient d'être **vigilant** face aux conclusions apportées.

4.4 Biais de la revue de littérature

4.4.1 Biais propres à chaque étude

L'échelle **PEDro** a permis de mettre en évidence **certains biais**. D'autres biais s'ajoutent à ceux-ci et altèrent la qualité des résultats obtenus. Nous allons reprendre ces biais.

Dans toutes les études sauf celle de Hughes et al 2018, il y a des **perdus de vue**. Plus ceux-ci sont [73] nombreux, plus le **biais d'attrition** est important. Ces perdus de vue peuvent **altérer** les effets de la **randomisation** à savoir les effets de l'**homogénéité** des groupes à l'initiation de l'étude. Dans toutes les études sauf celle de Vieira de Melo et al, il n'est pas précisé que l'analyse a été effectuée en « intention de traiter », ni que les sujets ont reçu ou sont analysés conformément à leur allocation initiale. Cela fait aussi parti du biais d'attrition.

Dans l'étude de Li et al, il y a trop de **perdus de vue** ce qui expose cette étude à un **risque de type 1** ou alpha c'est-à-dire de rejeter à tort l'hypothèse nulle et à un **risque de type 2** ou beta c'est-à-dire ne pas rejeter l'hypothèse nulle alors que celle-ci est fausse. En effet, on considère qu'il faut que l'on dispose des mesures pour au moins un des critères sur plus de 85% de la population initialement répartie. [73] Or, dans le groupe contrôle ce pourcentage est de 63,3% et dans le groupe expérimental de 84,44%. Un **biais de suivi** est présent. La puissance du score IKDC peut être faible (<0,8). Dans les autres études, l'échantillon était petit mais suffisant selon le calcul de la taille de l'échantillon.

L'étude est réalisée à un moment précis de la rééducation sur un **temps de suivi relativement court** mais cela correspondait au moment où les patients pouvaient au mieux tirer profit de cette technique. Ce temps de suivi n'est pas toujours exactement le même ni à partir du même moment ce qui peut donner lieu à un manque de comparabilité. Les **critères d'éligibilité** sont **incomplets** dans les études de Hughes et al et de Khalil et al. En effet, les critères d'inclusion et d'exclusion sont présents mais la source des sujets est manquante. Tout cela peut **limiter** la **généralisabilité des résultats** à une population plus importante.

De plus, dans l'étude de Li et al, la répartition des sujets est aléatoire (randomisation) mais l'**assignation** n'a pas été secrète car **non effectuée par une personne tierce à l'essai** et a eu lieu au même endroit que l'étude. La personne qui a géré l'entrée des sujets n'était pas en aveugle. Cela engendre un **biais de sélection**. [73] Par ailleurs, cette étude est un **essai pilote** ce qui expose au **risque de surinterpréter** les **résultats** de l'étude.

L'aveuglement semble difficile dans notre étude cependant la **non mise en aveugle** est source de **biais important conscient et/ou inconscient**. Les thérapeutes n'étaient jamais en aveugle. Les participants étaient en aveugle seulement dans l'étude de Khalil et al. Les évaluateurs étaient en aveugle dans seulement trois études. C'est une source de biais important nommé « **expectancy effect** ». Il s'agit d'un **biais psychologique** du fait de la connaissance de la présence du traitement et de ses effets recherchés ou attendus. [104]

Les critères d'inclusion et d'exclusion (type de greffon, inclusion des mineures...), les protocoles, les critères de jugement n'étaient pas toujours les mêmes ce qui peut **altérer la comparabilité des études**. Cependant les **études** étaient toutes relativement **récentes** ce qui est un point **positif** pour notre revue.

4.4.2 Biais généraux de cette revue

Afin de clarifier les biais généraux de cette revue de littérature et de déterminer sa **qualité méthodologique et sa validité interne**, nous avons choisi d'utiliser l'**échelle AMSTAR**. [59]

Pour chaque question, nous avons **3** éléments de réponses disponibles : **Oui**, **Non**, ou **oui partiellement**. Ces éléments de réponses sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Items	Cotation	OUI	NON	Oui partiellement
1	Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?	×		
2	Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ?	×		
3	Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?	×		
4	Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?			×
5	Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?		×	
6	Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?		×	
7	Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?	×		
8	Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?	×		
9	Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?	×		
10	Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?	×		
11	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?			
12	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ?			
13	Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation / de la discussion des résultats de la revue ?	×		
14	Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ?	×		
15	S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ?			
16	Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?	×		

Tableau XVI : Evaluation de la qualité méthodologique de la revue de littérature : l'échelle AMSTAR-2 [59]

La validité interne est méthodologiquement plutôt bien construite. Les trois items grisés ne peuvent pas être remplis car cette revue ne comporte pas de méta-analyse. Des biais ont été identifiés : la sélection des études et l'extraction des données n'ont été faites que par une seule et même personne. D'autre part, la lecture grise aurait pu être explorée davantage.

Nous ajouterons que des auteurs identiques sont présents dans trois études. Les études de Hughes et al 2019a et b ont été réalisées sur la même population ce qui peut affecter négativement la généralisabilité des résultats obtenus. La douleur était le critère de jugement identique mais l'échéance d'évaluation et l'outil d'évaluation étaient différents. L'étude de ce même auteur en 2018 sur une population différente ne présente pas ce problème.

Enfin, cette revue n'a été réalisée que par une seule personne dans le cadre de la réalisation d'un mémoire de fin d'études. De ce fait, comme mentionné ci-dessus, un risque de biais est présent. De plus, s'agissant de la première revue réalisée par l'auteur, des erreurs d'inexpérience peuvent être présentes. Enfin, s'agissant d'études rédigées en anglais, des erreurs de compréhension du fait de la barrière linguistique peuvent avoir eu lieu.

4.5 Conflits d'intérêts

Dans les études incluses dans cette revue de littérature, les auteurs n'ont soit pas indiqué avoir eu de conflits d'intérêts (Hughes et al 2019a, Curran et al, Khalil et al) soit ils ont explicitement dit ne pas en avoir eu (Vieira de Melo et al, Hughes et al 2018 et 2019b, Li et al). Pour ce qui est de mon cas, j'affirme ne pas avoir eu de conflits d'intérêts. Je déclare également n'avoir eu recours à aucun financement dans le cadre de la réalisation de cette revue de littérature.

5 Conclusion

5.1 Implication pour la pratique clinique

Cette revue a pour objectif de discuter d'une méthode de renforcement de plus en plus pratiquée et dont on entend davantage parler notamment dans la prise en charge postopératoire après reconstruction du LCA.

Les patients, dans les premiers stades de rééducation, peuvent ne pas avoir la capacité d'effectuer des exercices à haute intensité du fait de la douleur et de la nécessité de préserver le greffon. Or, ces derniers sont la clef de la récupération musculaire ; un des critères essentiels au RTA, au RTS (retour au sport) et au RTC (retour à la compétition).

Nous avons étudié l'intérêt de l'utilisation du BFR associé à des exercices dans la prise en charge postopératoire du LCA sur la force, la douleur et la fonction physique. Cette revue comptabilise 7 essais cliniques randomisés.

Au vu des résultats obtenus ; il ne présenterait pas d'intérêt d'effectuer du HL-BFR que ce soit en termes de gain de force, de fonction ou d'atténuation de la douleur. En revanche, l'utilisation du LL-BFR pourrait avoir un intérêt lors de la période postopératoire lorsque le HL-RT n'est pas réalisable et que les avantages du stress métabolique sur la synthèse des protéines peuvent être activés. Il permettrait donc d'obtenir des effets supérieurs au LL-RT et similaires voire supérieurs en termes de gain de force et de fonction que le HL-RT tout en minimisant les douleurs articulaires résultantes de la charge. En somme, il permettrait d'accélérer le processus de réadaptation. Les effets secondaires resteraient minimes et les douleurs musculaires, bien que plus importantes avec le BFR, ne seraient pas la source de beaucoup d'exclusion au cours du protocole. Cette technique ne présenterait pas de danger supérieur aux exercices de haute intensité lors du respect des règles et de l'exclusion des patients à risques.

Rappelons tout de même que le but du BFR n'est pas de remplacer le renforcement musculaire classique. Il s'agit d'une alternative prometteuse lorsque des obstacles à celui-ci se présentent. L'objectif final est donc que les patients aient la capacité de s'entraîner avec des charges lourdes et retrouvent leurs capacités antérieures. Il faudra intégrer progressivement des séances d'entraînement conventionnelles avec des charges lourdes et sans occlusion dans des stades où un stress mécanique est toléré par le patient afin de stimuler d'autres adaptations musculosquelettiques. [105] En effet, cela permet de rétablir progressivement les contraintes, de travailler sur la plasticité tendineuse et de réactiver les voies nerveuses de la contraction. Il a été démontré que la combinaison de ces deux types d'exercices augmente la force musculaire. [106]

Le BFR possède donc une pertinence clinique potentielle notamment chez les patients douloureux ou présentant une contre-indication ou une incapacité au HL-RT mais aussi en complément avec le HL-RT.

Cependant, les divergences de protocole, de comparateurs, de population et d'outils d'évaluation des critères de jugement ainsi que la faible population dans chaque étude et le manque d'études en général sur ce sujet expose notre revue à des biais et lui confère un faible niveau de preuve.

5.2 Implication pour la recherche

L'utilisation du BFR en pratique clinique devient de plus en plus dans l'air du temps.

De nombreuses hypothèses ont été formulées dans cette revue et témoignent de la nécessité de mener de nouvelles études sur le sujet.

Des études avec des échantillons de plus grandes tailles en distinguant les sexes et en incluant des groupes spécifiques de greffe, permettraient de distinguer les différences de réponse au BFR en fonction du sexe et du greffon respectivement. Les protocoles des futures études devront toujours prendre en considération l'effet placebo, la pression d'occlusion, le temps sous restriction ainsi que le protocole d'exercices et les dates d'entrée dans l'étude. Nous avons également remarqué que la force des fléchisseurs est moins évaluée. Il serait intéressant de l'inclure dans de futures études car ce sont tout comme les extenseurs des stabilisateurs dynamiques essentiels de l'articulation. Il serait également intéressant qu'à chaque fois plusieurs critères de jugement soient analysés dans les études afin de pouvoir mettre en relation les réponses obtenues sur une même population.

D'autre part, des études avec un suivi plus long pourraient être intéressantes. En effet, nous remarquons que le LL-BFR sur 8 ou 12 semaines permet d'obtenir des différences plus importantes au cours du temps par rapport au HL-RT mais nous ne savons pas pour une durée supérieure ce que cela donnerait. Il pourrait également être intéressant de savoir si un protocole BFR permettrait de réduire le temps nécessaire au RTA, au RTS et au RTC.

Certaines modalités du fonctionnement du BFR et des réponses hormonales qui en découlent sont incomplètes ou restent encore incertaines. De nouvelles recherches et études à ce sujet seraient intéressantes pour élargir la portée de cette revue et pour obtenir des justifications plus avérées sur l'efficacité ou l'inefficacité de cette technique dans certaines circonstances.

Le BFR semble être une technique prometteuse également sur d'autres systèmes comme le système cardiovasculaire (VO₂max) et le système squelettique (densité osseuse).

Bien que déjà existantes, de nouvelles études de meilleure qualité devraient être menées sur l'utilisation de cette technique en application sur d'autres pathologies : les syndromes fémoro-patellaires ainsi que les atteintes méniscales, chondrales, tendineuses et osseuses....

Des études futures pourraient tenter de combiner le BFR avec l'entraînement au contrôle neuromusculaire. Il y a plusieurs domaines dans lesquelles l'application du BFR pourrait être justifiable et présenterait un intérêt.

Ces recherches sur ces différentes modalités d'application permettraient de justifier davantage l'intégration de ce dispositif dans l'arsenal thérapeutique du kinésithérapeute. En effet, le fait de pouvoir l'utiliser avec une patientèle plus large que celle étudiée dans cette revue peut rendre l'outil plus rentable pour un masso-kinésithérapeute.

Tout cela permettrait d'établir des recommandations plus précises et fondées.

6 Bibliographie

- [1] Li X, Li J, Qing L, Wang H, Ma H, Huang P. Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled external pilot study. *BMC Musculoskelet Disord* 2023;24. <https://doi.org/10.1186/S12891-023-06483-X>.
- [2] Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, Larson DR, Dahm DL, Levy BA, et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med* 2016;44:1502–7. <https://doi.org/10.1177/0363546516629944>.
- [3] B. Quelard, O. Rachet, B. Sonnery-Cottet, P. Chambat. Rééducation postopératoire des greffes du ligament croisé antérieur. *EM Consulte* 2010:1–16. [https://doi.org/Doi:10.1016/S1283-0887\(10\)43946-8](https://doi.org/Doi:10.1016/S1283-0887(10)43946-8).
- [4] Haute Autorité de Santé. Critères de suivi en rééducation et d'orientation en ambulatoire ou en SSR après ligamentoplastie du croisé antérieur du genou 2008:1–85.
- [5] Haute Autorité de Santé. Prise en charge thérapeutique des lésions méniscales et des lésions isolées du ligament croisé antérieur du genou chez l'adulte 2008:1–105.
- [6] Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2019;33:33. <https://doi.org/10.1016/J.BERH.2019.01.018>.
- [7] Arundale AJH, Silvers-Granelli HJ, Myklebust G. ACL injury prevention: Where have we come from and where are we going? *J Orthop Res* 2022;40:43–54. <https://doi.org/10.1002/JOR.25058>.
- [8] Tamalet B, Rochcongar P. Épidémiologie et prévention de la rupture du ligament croisé antérieur du genou. *Revue Du Rhumatisme Monographies* 2016;83:103–7. <https://doi.org/10.1016/J.MONRHU.2016.01.004>.
- [9] Jaffri AH, Lynch M, Saliba SA, Hart JM. Quadriceps Oxygenation During Exercise in Patients With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train* 2021;56:170. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0415.19>.
- [10] Van Melick N, Van Cingel REH, Brooijmans F, Neeter C, Van Tienen T, Hullegie W, et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* 2016;50:1506–15. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2015-095898>.
- [11] Badawy CR, Jan K, Beck EC, Fleet N, Taylor J, Ford K, et al. Contemporary Principles for Postoperative Rehabilitation and Return to Sport for Athletes Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc Sports Med Rehabil* 2022;4:e103. <https://doi.org/10.1016/J.ASMR.2021.11.002>.
- [12] Flandry F, Hommel G. Normal anatomy and biomechanics of the knee. *Sports Med Arthrosc Rev* 2011;19:82–92. <https://doi.org/10.1097/JSA.0B013E318210C0AA>.
- [13] Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur Tome 1 Membre inférieur. 3ème édition. 2015.
- [14] Dufour M, Pillu M. Biomécanique fonctionnelle Membres-Tête-Tronc. Masson. 2005.
- [15] Keays SL, Bullock-Saxton JE, Newcombe P, Keays AC. The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research* 2003;21:231–7. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(02\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(02)00160-2).

- [16] Hassebrock JD, Gulbrandsen MT, Asprey WL, Makovicka JL, Chhabra A. Knee ligament anatomy and biomechanics. *Sports Med Arthrosc Rev* 2020;28:80–6. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000279>.
- [17] Dienst M, Burks RT, Greis PE. Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am* 2002;33:605–20. [https://doi.org/10.1016/S0030-5898\(02\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0030-5898(02)00010-X).
- [18] Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:204–13. <https://doi.org/10.1007/S00167-005-0679-9>.
- [19] Amini M, Venkatesan JK, Liu W, Leroux A, Nguyen TN, Madry H, et al. Advanced Gene Therapy Strategies for the Repair of ACL Injuries. *Int J Mol Sci* 2022;23. <https://doi.org/10.3390/IJMS232214467>.
- [20] Yoo H, Marappa-Ganeshan R. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Knee Anterior Cruciate Ligament. *StatPearls* 2023.
- [21] Markatos K, Kaseta MK, Lallos SN, Korres DS, Efsthopoulos N. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2013;23:747–52. <https://doi.org/10.1007/S00590-012-1079-8>.
- [22] Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* 2007;454:35–47. <https://doi.org/10.1097/BLO.0B013E31802B4A59>.
- [23] Woo SLY, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med* 1991;19:217–25. <https://doi.org/10.1177/036354659101900303>.
- [24] Sauvans C, Delvaux F, Croisier JL, Daniel C, Kaux JF. Les lésions partielles du ligament croisé antérieur. *Journal de Traumatologie Du Sport* 2020;37:208–15. <https://doi.org/10.1016/J.JTS.2020.10.002>.
- [25] Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. *J Sci Med Sport* 2009;12:622–7. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMS.2008.07.005>.
- [26] Rodineau J. Les mécanismes de rupture du ligament croisé antérieur. *Journal de Traumatologie Du Sport* 2014;31:149–52. <https://doi.org/10.1016/J.JTS.2014.07.017>.
- [27] Lustig S, Servien E, Parratte S, Demey G, Neyret P. Lésions ligamentaires récentes du genou de l'adulte 2013. [https://doi.org/10.1016/S0246-0521\(12\)58587-6](https://doi.org/10.1016/S0246-0521(12)58587-6).
- [28] Evans J, Nielson J I. Anterior Cruciate Ligament Knee Injury. *StatPearls* 2022.
- [29] Siegel L, Vandenakker-Albanese C, Siegel D. Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management. *Clin J Sport Med* 2012;22:349–55. <https://doi.org/10.1097/JSM.0B013E3182580CD0>.
- [30] Lelli A, Di Turi RP, Spenciner DB, Dòmini M. The “Lever Sign”: a new clinical test for the diagnosis of anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24:2794–7. <https://doi.org/10.1007/S00167-014-3490-7>.
- [31] Monaco E, Mazza D, Redler A, Lupariello D, Lanzetti R, Guzzini M, et al. Segond’s fracture: a biomechanical cadaveric study using navigation. *J Orthop Traumatol* 2017;18:343–8. <https://doi.org/10.1007/S10195-017-0460-0>.
- [32] Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med* 2007;35:223–7. <https://doi.org/10.1177/0363546506294571>.

- [33] Pua YH, Bryant AL, Steele JR, Newton RU, Wrigley T V. Isokinetic dynamometry in anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Ann Acad Med Singap* 2008;37:330–40. <https://doi.org/10.47102/annals-acadmedsg.v37n4p330>.
- [34] Baron JE, Parker EA, Duchman KR, Westermann RW. Perioperative and Postoperative Factors Influence Quadriceps Atrophy and Strength After ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med* 2020;8. <https://doi.org/10.1177/2325967120930296>.
- [35] Thomas AC, Wojtys EM, Brandon C, Palmieri-Smith RM. Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Med Sport* 2016;19:7–11. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMS.2014.12.009>.
- [36] Schmitt LC, Paterno M V., Hewett TE. The impact of quadriceps femoris strength asymmetry on functional performance at return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 2012;42:750–9. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2012.4194>.
- [37] Planque F, Tamalet B. L'exercice avec restriction du flux sanguin (BFR) : une mode ? Une alternative ? Une méthode miracle ? L'expérience du centre médical FFF de Clairefontaine. *Journal de Traumatologie Du Sport* 2021;38:94–100. <https://doi.org/10.1016/J.JTS.2021.02.002>.
- [38] Dolin R, Ben Zaki B. L'entraînement sous restriction du flux sanguin, ou « Blood Flow Restriction », une alternative au renforcement musculaire à charge élevée. *Kinésithérapie, La Revue* 2022;22:34–40. <https://doi.org/10.1016/J.KINE.2022.03.011>.
- [39] Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 2010;24:2857–72. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181E840F3>.
- [40] Frontera WR, Ochala J. Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcif Tissue Int* 2015;96:183–95. <https://doi.org/10.1007/S00223-014-9915-Y>.
- [41] Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bemben MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol* 2012;112:1849–59. <https://doi.org/10.1007/S00421-011-2167-X>.
- [42] Zatsiorsky V, Kraemer William. *Science and Practice of Strength Training* second edition. 2006.
- [43] Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol* 2010;108:1199. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.01266.2009>.
- [44] Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med* 2015;45:313–25. <https://doi.org/10.1007/S40279-014-0288-1>.
- [45] de Queiros VS, dos Santos ÍK, Almeida-Neto PF, Dantas M, de França IM, de Brito Vieira WH, et al. Effect of resistance training with blood flow restriction on muscle damage markers in adults: A systematic review. *PLoS One* 2021;16. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0253521>.
- [46] 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;9:405478. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2018.01376/BIBTEX>.
- [47] Formiga MF, Fay R, Hutchinson S, Locandro N, Ceballos A, Lesh A, et al. Effect of aerobic exercise training with and without blood flow restriction on aerobic capacity in healthy young adults: a systematic review with meta-analysis. *Int J Sports Phys Ther* 2020;15:175. <https://doi.org/10.26603/ijspt20200175>.

- [48] Bittar ST, Pfeiffer PS, Santos HH, Cirilo-Sousa MS. Effects of blood flow restriction exercises on bone metabolism: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging* 2018;38:930–5. <https://doi.org/10.1111/CPF.12512>.
- [49] Álvarez CB, Santamaría PIK, Fernández-Matías R, Pecos-Martín D, Achalandabaso-Ochoa A, Fernández-Carnero S, et al. Comparison of Blood Flow Restriction Training versus Non-Occlusive Training in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction or Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. *J Clin Med* 2021;10:1–23. <https://doi.org/10.3390/JCM10010068>.
- [50] Loenneke JP, Fabs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Mattocks KT, Abe T, et al. Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs. *Front Physiol* 2013;4. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2013.00249>.
- [51] Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol* 2019;10:533. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2019.00533>.
- [52] Bond CW, Hackney KJ, Brown SL, Noonan BC. Blood Flow Restriction Resistance Exercise as a Rehabilitation Modality Following Orthopaedic Surgery: A Review of Venous Thromboembolism Risk. *J Orthop Sports Phys Ther* 2019;49:17–27. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2019.8375>.
- [53] Charles D, White R, Reyes C, Palmer D. A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post ACL reconstruction. *Int J Sports Phys Ther* 2020;15:882. <https://doi.org/10.26603/IJSPT20200882>.
- [54] Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med* 2011;45:596–606. <https://doi.org/10.1136/BJSM.2010.076364>.
- [55] Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res* 2017;31:3508–23. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002200>.
- [56] Seynnes OR, De Boer M, Narici M V. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol* 2007;102:368–73. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00789.2006/ASSET/IMAGES/LARGE/ZDG0020770240006.JPEG>.
- [57] Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2017;51:1003–11. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2016-097071>.
- [58] Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, 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;48:361–78. <https://doi.org/10.1007/S40279-017-0795-Y>.
- [59] Pallot A, Rostagno S. AMSTAR-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques. *Kinésithérapie, La Revue* 2021;21:13–4. <https://doi.org/10.1016/J.KINE.2019.12.050>.
- [60] Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *The BMJ* 2017;358. <https://doi.org/10.1136/BMJ.J4008>.

- [61] Telfer S, Calhoun J, Bigham JJ, Mand S, Gellert JM, Hagen MS, et al. Biomechanical Effects of Blood Flow Restriction Training after ACL Reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2021;53:115–23. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002437>.
- [62] Kilgas MA, Lytle LLM, Drum SN, Elmer SJ. Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction. *Int J Sports Med* 2019;40:650–6. <https://doi.org/10.1055/A-0961-1434>.
- [63] Kacin A, Drobnič M, Marš T, Miš K, Petrič M, Weber D, et al. Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture. *Scand J Med Sci Sports* 2021;31:1636–46. <https://doi.org/10.1111/SMS.13968>.
- [64] Prue J, Roman DP, Giampetruzzi NG, Fredericks A, Lolic A, Crepeau A, et al. Side Effects and Patient Tolerance with the Use of Blood Flow Restriction Training after ACL Reconstruction in Adolescents: A Pilot Study. *Int J Sports Phys Ther* 2022;17:347–54. <https://doi.org/10.26603/001C.32479>.
- [65] Žargi T, Drobnič M, Stražar K, Kacin A. Short-Term Preconditioning With Blood Flow Restricted Exercise Preserves Quadriceps Muscle Endurance in Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Front Physiol* 2018;9. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2018.01150>.
- [66] Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand* 2003;74:62–8. <https://doi.org/10.1080/00016470310013680>.
- [67] Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, et al. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Med* 2019;49:1787–805. <https://doi.org/10.1007/S40279-019-01137-2>.
- [68] Hughes L, Patterson SD, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, McCarthy D, et al. Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. *Phys Ther Sport* 2019;39:90–8. <https://doi.org/10.1016/J.PTSP.2019.06.014>.
- [69] Hughes L, Paton B, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations. *Phys Ther Sport* 2018;33:54–61. <https://doi.org/10.1016/J.PTSP.2018.07.002>.
- [70] Vieira de Melo RF, Komatsu WR, Freitas MS de, Vieira de Melo ME, Cohen M. Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. *J Rehabil Med* 2022;54:jrm00337. <https://doi.org/10.2340/JRM.V54.2550>.
- [71] Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa M V., Palmieri-Smith RM. Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med* 2020;48:825–37. <https://doi.org/10.1177/0363546520904008>.
- [72] Khalil AA, Fayaz NA, Fawzy E, Mohamed NA, Waly AH, Mohammed MM. Influence Of Blood Flow Restriction Training on Knee Pain After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Double Blinded Randomized Controlled Trial. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology* 2023;30:30–8. <https://doi.org/10.47750/JPTCP.2023.30.07.005>.

- [73] Pallot Adrien. Evidence Based Practice en rééducation Démarche pour une pratique raisonnée. Elsevier. 2019.
- [74] Brosseau L, Laroche C, Sutton A, Guitard P, King J, Poitras S, et al. Une version franco-canadienne de la Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale : L'Échelle PEDro. *Physiotherapy Canada* 2015;67:232. <https://doi.org/10.3138/PTC.2014-37F>.
- [75] Page P. Beyond statistical significance: clinical interpretation of rehabilitation research literature. *Int J Sports Phys Ther* 2014;9:726.
- [76] Svantesson E, Hamrin Senorski E, Webster KE, Karlsson J, Diermeier T, Rothrauff BB, et al. Clinical outcomes after anterior cruciate ligament injury: Panther Symposium ACL Injury Clinical Outcomes Consensus Group. *Journal of ISAKOS* 2020;5:281–94. <https://doi.org/10.1136/JISAKOS-2020-000494>.
- [77] Ogura T, Ackermann J, Mestriner AB, Merkely G, Gomoll AH. The Minimal Clinically Important Difference and Substantial Clinical Benefit in the Patient-Reported Outcome Measures of Patients Undergoing Osteochondral Allograft Transplantation in the Knee. *Cartilage* 2021;12:42–50. <https://doi.org/10.1177/1947603518812552>.
- [78] 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;15:260. <https://doi.org/10.1177/194173812111070834>.
- [79] Fauvel JP. Lecture critique d'un essai thérapeutique. *Presse Med* 2007;36:551–5. <https://doi.org/10.1016/J.LPM.2007.01.004>.
- [80] Latella C, van den Hoek D, Wolf M, Androulakis-Korakakis P, Fisher JP, Steele J. Using Powerlifting Athletes to Determine Strength Adaptations Across Ages in Males and Females: A Longitudinal Growth Modelling Approach. *Sports Medicine* 2023:1–22. <https://doi.org/10.1007/S40279-023-01962-6/FIGURES/12>.
- [81] Volpi E, Nazemi R, Fujita S. Muscle tissue changes with aging. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2004;7:405. <https://doi.org/10.1097/01.MCO.0000134362.76653.B2>.
- [82] Mitchell WK, Williams J, Atherton P, Larvin M, Lund J, Narici M. Sarcopenia, Dynapenia, and the Impact of Advancing Age on Human Skeletal Muscle Size and Strength; a Quantitative Review. *Front Physiol* 2012;3. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2012.00260>.
- [83] Redler LH, Sugimoto D, Bassett AJ, Kocher MS, Micheli LJ, Heyworth BE. Effect of Concomitant Meniscal Tear on Strength and Functional Performance in Young Athletes 6 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Hamstring Autograft. *Orthop J Sports Med* 2021;9. <https://doi.org/10.1177/23259671211046608>.
- [84] Mouarbes D, Menetrey J, Marot V, Courtot L, Berard E, Cavaignac E. 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. *Am J Sports Med* 2019;47:3531–40. <https://doi.org/10.1177/0363546518825340>.
- [85] Herbawi F, Lozano-Lozano M, Lopez-Garzon M, Postigo-Martin P, Ortiz-Comino L, Martin-Alguacil JL, et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of Strength Recovery Measured by Isokinetic Dynamometer Technology after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Quadriceps Tendon Autografts vs. Hamstring Tendon Autografts or Patellar Tendon Autografts. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19116764>.
- [86] Davids CJ, Raastad T, James LP, Gajanand T, Smith E, Connick M, et al. Similar Morphological and Functional Training Adaptations Occur Between Continuous and Intermittent Blood Flow

- Restriction. *J Strength Cond Res* 2021;35:1784–93. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004034>.
- [87] Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, Plotkin DL. Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance: A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports* 2021;9. <https://doi.org/10.3390/SPORTS9020032>.
- [88] Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH. Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study. *Am J Sports Med* 1995;23:401–6. <https://doi.org/10.1177/036354659502300405>.
- [89] Harput G, Ulusoy B, Yildiz TI, Demirci S, Eraslan L, Turhan E, et al. Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019;27:68–75. <https://doi.org/10.1007/S00167-018-5040-1>.
- [90] Verdijk LB, Van Loon L, Meijer K, Savelberg HHCM. One-repetition maximum strength test represents a valid means to assess leg strength in vivo in humans. *J Sports Sci* 2009;27:59–68. <https://doi.org/10.1080/02640410802428089>.
- [91] Drouin JM, Valovich-McLeod TC, Shultz SJ, Gansneder BM, Perrin DH. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:22–9. <https://doi.org/10.1007/S00421-003-0933-0>.
- [92] Pinto-Ramos J, Moreira T, Costa F, Tavares H, Cabral J, Costa-Santos C, et al. Handheld dynamometer reliability to measure knee extension strength in rehabilitation patients-A cross-sectional study. *PLoS One* 2022;17. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0268254>.
- [93] McNair PJ, Colvin M, Reid D. Predicting maximal strength of quadriceps from submaximal performance in individuals with knee joint osteoarthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2011;63:216–22. <https://doi.org/10.1002/ACR.20368>.
- [94] Ivarsson A, Cronström A. Agreement Between Isokinetic Dynamometer and Hand-held Isometric Dynamometer as Measures to Detect Lower Limb Asymmetry in Muscle Torque After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Int J Sports Phys Ther* 2022;17:1307–17. <https://doi.org/10.26603/001C.39798>.
- [95] Collins NJ, Prinsen CAC, Christensen R, Bartels EM, Terwee CB, Roos EM. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): systematic review and meta-analysis of measurement properties. *Osteoarthritis Cartilage* 2016;24:1317–29. <https://doi.org/10.1016/J.JOCA.2016.03.010>.
- [96] Béraud BL, Nicolo P, Bruyneel AV. Mesure de l'intensité de la douleur par l'échelle visuelle analogique. *Kinésithérapie, La Revue* 2023;23:50–4. <https://doi.org/10.1016/J.KINE.2023.07.001>.
- [97] Higgins LD, Taylor MK, Park D, Ghodadra N, Marchant M, Pietrobon R, et al. Fiabilité et validité du questionnaire d'évaluation subjective du genou de l'IKDC (Comité international de documentation du genou). *Rev Rhum* 2007;74:1264–9. <https://doi.org/10.1016/J.RHUM.2007.01.029>.
- [98] Marmura H, Tremblay PF, Getgood AMJ, Bryant DM. A bifactor model supports unidimensionality of the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form in young active patients with anterior cruciate ligament tears: a retrospective analysis of a randomized controlled trial. *Health Qual Life Outcomes* 2023;21. <https://doi.org/10.1186/S12955-023-02186-Y>.
- [99] Teixeira EL, Ugrinowitsch C, De Salles Painelli V, Silva-Batista C, Aihara AY, Cardoso FN, et al. Blood Flow Restriction Does Not Promote Additional Effects on Muscle Adaptations When

- Combined With High-Load Resistance Training Regardless of Blood Flow Restriction Protocol. *J Strength Cond Res* 2021;35:1194–200. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003965>.
- [100] Spitz RW, Wong V, Bell ZW, Viana RB, Chatakondi RN, Abe T, et al. Blood Flow Restricted Exercise and Discomfort: A Review. *J Strength Cond Res* 2022;36:871–9. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003525>.
- [101] Hughes L, Patterson SD. The effect of blood flow restriction exercise on exercise-induced hypoalgesia and endogenous opioid and endocannabinoid mechanisms of pain modulation. *J Appl Physiol* (1985) 2020;128:914–24. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00768.2019>.
- [102] Hohmann E, Bryant A, Tetsworth K. Strength does not influence knee function in the ACL-deficient knee but is a correlate of knee function in the and ACL-reconstructed knee. *Arch Orthop Trauma Surg* 2016;136:477–83. <https://doi.org/10.1007/S00402-015-2392-6>.
- [103] Haute Autorité de Santé. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique 2013.
- [104] Funder DC. Approaching Accuracy. *Personality Judgment* 1999:1–26. <https://doi.org/10.1016/B978-012269930-6/50002-2>.
- [105] Kubo K, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, et al. Effects of Low-Load Resistance Training with Vascular Occlusion on the Mechanical Properties of Muscle and Tendon. *J Appl Biomech* 2006;22:112–9. <https://doi.org/10.1123/JAB.22.2.112>.
- [106] Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y, Abe T. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2525–33. <https://doi.org/10.1007/S00421-011-1873-8/METRICS>.
- [107] Letafatkar A. Flat Foot Deformity, Q Angle and Knee Pain are Interrelated in Wrestlers. *J Nov Physiother* 2013;03. <https://doi.org/10.4172/2165-7025.1000138>.
- [108] Sutton KM, Bullock JM. Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *J Am Acad Orthop Surg* 2013;21:41–50. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-21-01-41>.
- [109] Neumann D. *Kinesiology of the musculoskeletal system*. Elsevier. 2010.

Table des annexes

[Annexe 1] : Schéma illustrant l'angle Q. [107]

[Annexe 2] : Schéma illustrant la position dite de sécurité et celle à risque accru de lésion du LCA principalement retrouvée chez les femmes. [108]

[Annexe 3] : Schéma de la musculature du genou droit, vue antérieure. [109]

[Annexe 4] : Schéma de la musculature du genou droit, vue postérieure. [109]

[Annexe 5] : Tableau des tests cliniques pour le LCA. [28]

[Annexe 6] : Schéma d'une reconstruction du LCA avec la technique de KJ.

[Annexe 7] : Schéma d'une reconstruction du LCA avec la technique DIDT.

[Annexe 8] : Schéma des différents systèmes de fixations. [3]

[Annexe 9] : Protocole de rééducation du LCA d'après la HAS. [4]

[Annexe 10] : Lignes directrices BFR [51]

[Annexe 11] : Sous échelle de la douleur du questionnaire KOOS

[Annexe 12] : Questionnaire IKDC

[Annexe 13] : Echelle PEDro

[Annexe 14] : Grade des recommandations de la HAS

[Annexe 15] : Hughes et al 2019a

[Annexe 16] : Hughes et al 2019b

[Annexe 17] : Hughes et al 2018

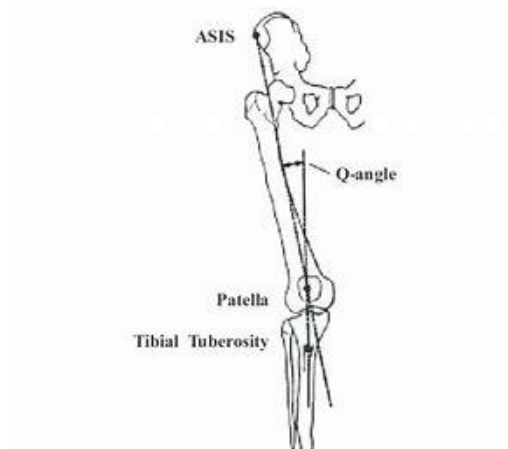
[Annexe 18] : Vieira de Melo et al

[Annexe 19] : Curran et al

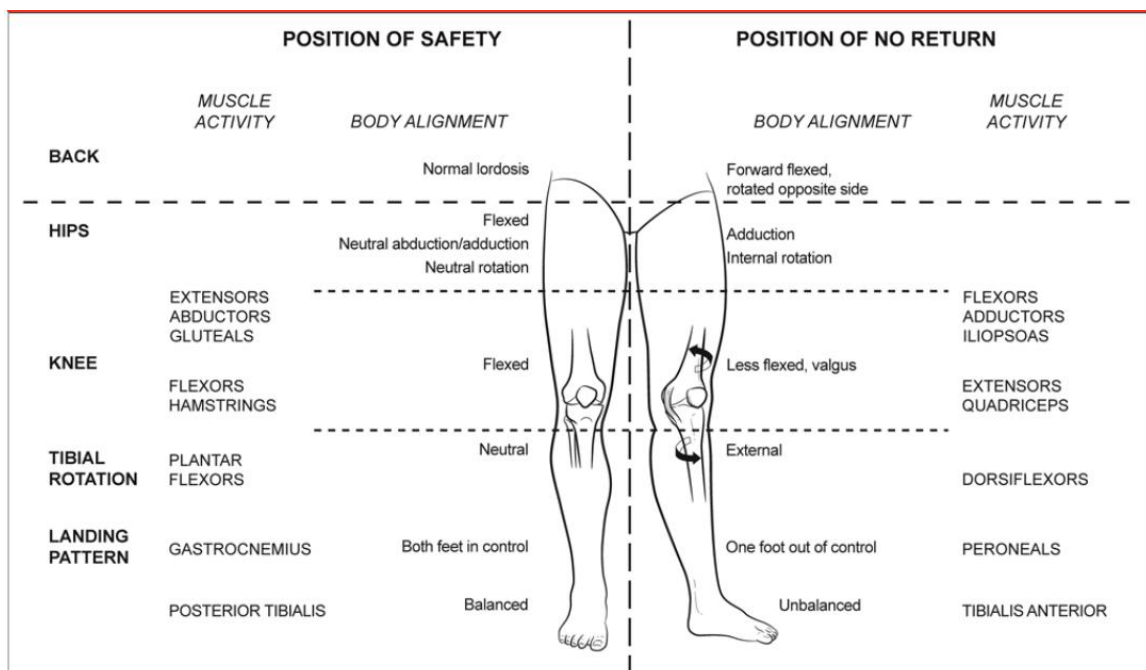
[Annexe 20] : Li et al

[Annexe 21] : Khalil et al

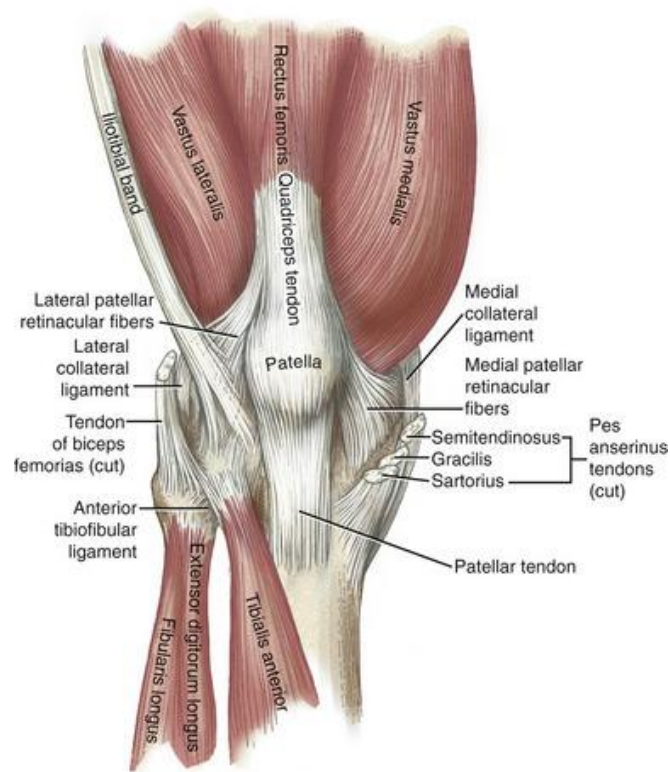
[Annexe 1] : Schéma illustrant l'angle Q. [107]



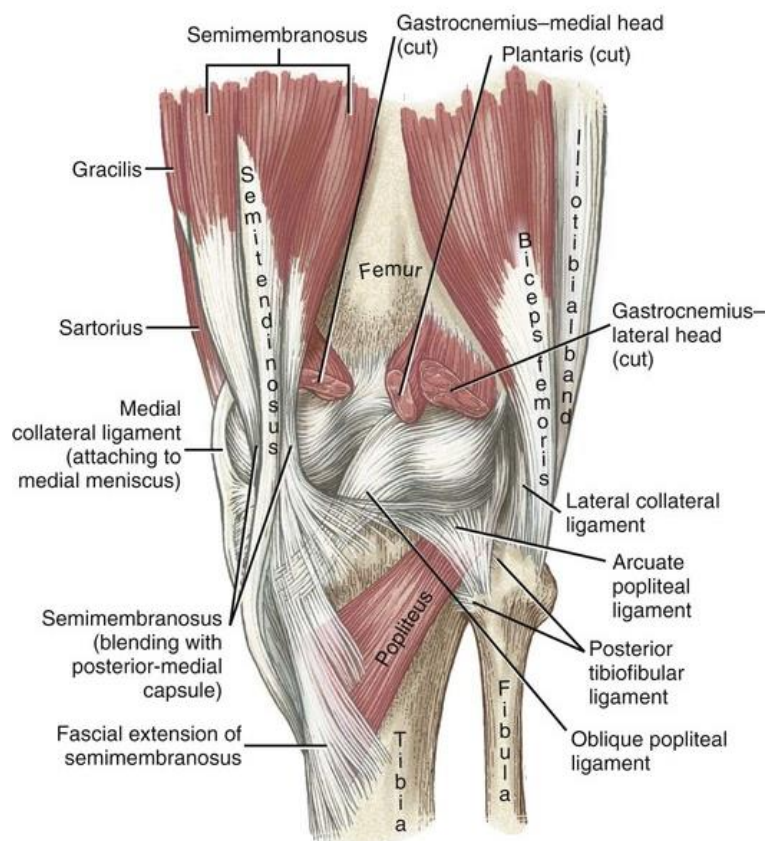
[Annexe 2] : Schéma illustrant la position dite de sécurité et celle à risque accru de lésion du LCA principalement retrouvée chez les femmes. [108]



[Annexe 3] : Schéma de la musculature du genou droit, vue antérieure. [109]



[Annexe 4] : Schéma de la musculature du genou droit, vue postérieure. [109]



[Annexe 5] : Tableau des tests cliniques pour le LCA. [28]

<p>La manceuvre de Lachman (sensibilité 85%, spécificité 94%) est le test de diagnostic clinique le plus précis. [29]</p>	<p>Le patient est en décubitus dorsal lors de ce test. Il permet de vérifier la présence d'un arrêt dur lors d'une traction antérieure du tibia sous le fémur, réalisée par le masso-kinésithérapeute (MK) à 20° ou 30° de flexion de genou. Le cas échéant peut révéler une atteinte du LCA. Il sera testé comparativement au côté sain. Notons tout de même qu'un arrêt dur associé à un déplacement antérieur conséquent peut témoigner d'une rupture partielle.</p>
<p>Le test du tiroir antérieur (sensibilité 49% et spécificité 58% en période aigüe, sensibilité 92%, spécificité 91% en période chronique).</p>	<p>Le patient est allongé sur le dos. Le genou à tester est fléchi à 90° avec le pied posé à plat sur la table. Le MK s'assied dessus, saisi et tire le tibia proximal avec ses deux mains vers lui. Le test sera comparé au côté controlatéral. En cas de translation antérieure excessive, le test est positif. En revanche, une rupture isolée du LCA n'entraîne pas de tiroir antérieur à l'angulation du test.</p>
<p>Le jerk test de Hughston, pivot-shift ou ressaut rotatoire (sensibilité 24%, spécificité 98%).</p>	<p>Il est réalisé avec le patient en décubitus dorsal. Le MK maintient la jambe du patient en extension de genou avec une flexion de hanche de 20°. Le MK place une main sur la face latérale du genou et la seconde au niveau du pied. L'une amène le genou en valgus et l'autre induit une rotation interne de genou. En maintenant cette position le MK va réaliser une flexion de genou à partir de l'extension. Le test est positif s'il produit une subluxation du tibia.</p>
<p>Le signe de levier ou test de Lelli</p>	<p>Le patient est en décubitus dorsal, genoux en extension. Le MK place sa main en poing sous la face postérieure du genou du patient. Le genou se retrouve donc légèrement fléchi et le talon reste posé sur la table. L'autre main du MK applique sur la partie antéro inférieure de la cuisse une force antéro postérieure. Lorsque le LCA est rompu le talon ne se décolle pas de la table. [30]</p>

[Annexe 6] : Schéma d'une reconstruction du LCA avec la technique de KJ. ¹³

Technique opératoire de la ligamentoplastie de Kenneth Jones KJ



Anatomie du LCA



Mécanisme de rupture en flexion rotation externe valgus



Voie d'abord du kenneth jones



Prélèvement du tendon rotulien



Forage des tunnels



Greffe et les 2 tunnels



Passage de la greffe KJ



Mise en place de la vis fémorale



Puis de la vis tibiale

¹³<https://www.chirurgiedusport.com/nos-specialites/technique-operatoire-de-la-ligamentoplastie-de-type-ki-ou-kenneth-jones/> (Consulté le 4/11/2023)

[Annexe 7] : Schéma d'une reconstruction du LCA avec la technique DIDT. ¹⁴

Technique opératoire de la ligamentoplastie DIDT



Anatomie du genou



Mécanisme de rupture en flexion rotation externe valgus



Voie d'abord du DIDT



Prélèvement du DIDT



Préparation de la greffe en 4 brins



Forage des tunnels



Passage de la greffe DIDT



Mise en place des vis



Vis fémorale puis tibiale

www.chirurgiedusport.com

¹⁴<https://www.chirurgiedusport.com/nos-specialites/chirurgie-du-ligament-croise-anterieur-lca-par-la-technique-didt-la-nouvelle-fiche-en-image/> (Consulté le 4/11/2023)

[Annexe 8] : Schéma des différents systèmes de fixations. [3]

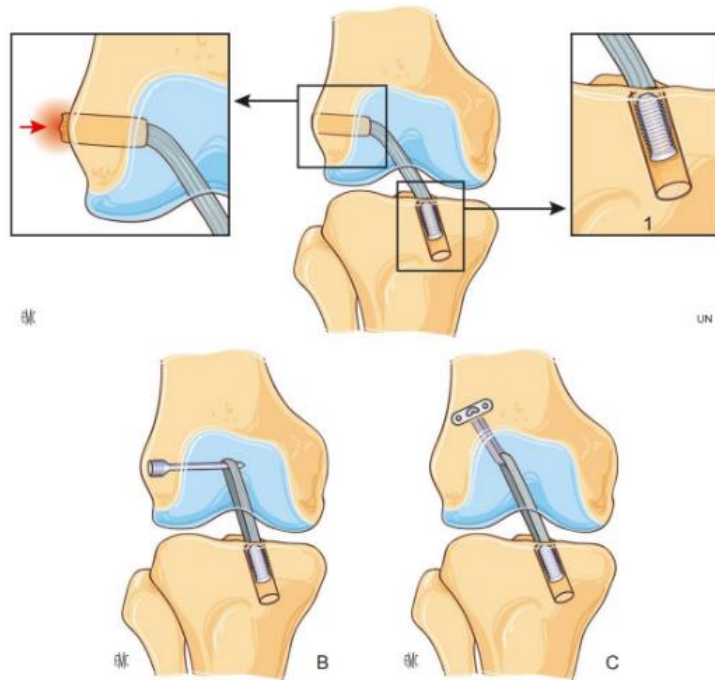


Figure 5. Exemples de systèmes de fixation primaire du transplant.
A. Technique Press-fit. 1. Vis d'interférence.
B. Transfixion.
C. Endobutton®.

► **Période 1 : J + 21 jusqu'à l'ablation des points ou des agrafes**

La rééducation doit être douce et prudente avec priorité à la cicatrisation, au verrouillage du genou, à la mobilité, tout en prévenant les troubles trophiques et en permettant la reprise de l'appui et de la marche.

Objectifs :

Trois semaines sont nécessaires à l'obtention de la cicatrisation primaire ; le genou doit être le plus sec et le moins douloureux possible. Il faut obtenir un verrouillage actif en extension et une flexion de 60°. La prévention des maladies thrombo-emboliques est indispensable.

Moyens :

- Membre inférieur en extension protégé par une attelle simple ou à amplitude variable avec butée de blocage (protocoles particuliers) ;
- Déambulation possible avec appui-contact sous couvert de deux cannes canadiennes ;
- Travail musculaire quatre faces en extension en position couchée ;
- Mobilisation douce manuelle et sur arthromoteur (0/70°) ;
- Massage et réveil musculaire ;
- Glaçage et physiothérapie ;
- Électrostimulation pour prévenir l'amyotrophie ;
- Proprioception en chaîne ouverte ;
- Ablation des points chirurgicaux ou des agrafes au plus tard à la 3^e semaine ;
- Suivi du traitement par héparine de bas-poids moléculaire et thérapeutique antalgique.

Incidents possibles :

- Hydarthrose, hématome ;
- Problèmes veineux ;
- Retard de cicatrisation ;
- Genou hyperalgique.

Contre-indications :

- Travail actif en chaîne ouverte contre résistance du quadriceps et des ischio-jambiers ;
- Recurvatum interdit.

► **Période 2 : J + 45 jusqu'à l'abandon des cannes et attelle : mobilité et réveil musculaire**

Objectifs :

De la 3^e à la 6^e semaine, c'est la phase de reprise d'appui progressif et de récupération des amplitudes articulaires. L'attelle devra être progressivement libérée et enlevée, et les cannes abandonnées de telle façon qu'à 45 jours postopératoires, le genou ne soit plus protégé, qu'il soit sec, indolore, non inflammatoire et que les amplitudes articulaires approchent les 120° en flexion et 0° en extension.

En fin de 2^e mois, la mobilité doit être totale et indolore, et il doit y avoir un bon contrôle musculaire réflexe dans les actes de la vie quotidienne.

Si la mobilité ne progresse pas régulièrement, l'avis du chirurgien doit être demandé.

Moyens :

- Massages et soins péri-cicatriciels ;
- Pressothérapie en fonction des besoins ;

[Annexe 9] : suite [4]

- Récupération de la mobilité par techniques manuelles et instrumentales ;
- Verrouillage poplité isométrique ;
- Rééducation de la marche ;
- Activités musculaires modérées et progressives en cocontraction ;
- Renforcement musculaire par électrostimulation ;
- Activités d'équilibre et de proprioception statique bipodal puis unipodal ;
- Balnéothérapie en eau profonde ; bains écossais si troubles trophiques ;
- En fin de période, vélo sans résistance si amplitudes satisfaisantes, marche sur tapis roulant.

Incidents possibles :

- Genou chaud et hydarthrose (ponction ?) ;
- Douleurs (antalgique niveau 2 ou 3 et surveillance biologique) ;
- Raideur (si arrêt de la progression : demander avis chirurgical pour mobilisation) ;
- Déficit musculaire (s'explique par l'ancienneté de la pathologie ou chondropathie ?).

Contre-indication :

Pas de travail du quadriceps contre résistance en chaîne ouverte.

► **Période 3 : jusqu'au 4^e mois : consolidation**

Objectifs :

Récupération de la confiance du patient en son genou.

Le travail musculaire du quadriceps et des ischio-jambiers en cocontraction peut être accentué et raisonnablement intensifié en tenant compte des phénomènes de « ligamentisation ».

Les activités proprioceptives deviennent prioritaires, ainsi que la rééducation gestuelle et les activités d'endurance (marche, vélo, steps, natation en crawl et dos crawlé).

En fin de période, la proprioception devient dynamique en bi puis unipodal, avec matériel facilitant.

Moyens :

- Travail en cocontraction dans différentes angulations du genou. Type presse ;
- Travail des ischio-jambiers en développant la puissance et la vitesse de contraction ;
- Travail du quadriceps en chaîne cinétique fermée et en isométrie en extension ;
- Développement du contrôle neuromusculaire et de la proprioception (plateau instable, balancelle, trampoline, etc.) ;
- Réentraînement cardio-vasculaire à l'effort (vélo, steps, etc.) ;
- Début de footing en terrain plat et souple en fin de période.

Incidents possibles :

- Sensibilité rotulienne ;
- Genou inflammatoire ;
- Tendinite de l'appareil extenseur (+ + si Kenneth-Jones).

Contre indication :

Activités dynamiques en puissance maximale.

► **Période 4 : réathlétisation jusqu'au 6^e mois**

L'ancrage est acquis, la résistance du transplant devient de plus en plus performante.

Objectifs :

À partir du 4^e et du 5^e mois, le tendon retrouve sa résistance.

Des activités plus importantes peuvent être entreprises à la fois en puissance et en endurance. Le footing est rajouté au programme de reprise d'activités, dont la base reste natation, vélo, rééducation musculaire et travail en endurance, puissance et activités proprioceptives dynamiques.

Moyens :

- Athlétisation des différents groupes musculaires ;
- Quadristand, presse, banc de musculation, etc. ;
- Travail isocinétique + + + ;
- Travail dynamique avec sauts et changements de direction en souplesse ;
- Poursuite du footing avec accélérations, natation type crawl avec palmes, vélo, etc.,
- Activités de réinsertion physique progressive.

Incidents possibles :

- Sensibilité rotulienne ;
- Genou inflammatoire ;
- Tendinite de l'appareil extenseur (+ si Kenneth-Jones).

Contre indication :

Activités physiques et sportives avec pivot et contact.

► **Reprise du sport**

Possibilité de reprendre l'entraînement sportif après le 6^e mois selon le sport pratiqué.

[Annexe 10] : Lignes directrices BFR [51]

Guidelines	
Frequency	2-3 times a week (>3 weeks) or 1-2 times per day (1-3 weeks)
Load	20-40% 1RM
Restriction time	5-10 min per exercise (reperfusion between exercises)
Type	Small and large muscle groups (arms and legs/uni or bilateral)
Sets	2-4
Cuff	5 (small), 10 or 12 (medium), 17 or 18 cm (large)
Repetitions Pressure	(75 reps) - 30 × 15 × 15 × 15, or sets to failure 40-80% AOP
Rest between sets	30-60 s
Restriction form	Continuous or intermittent
Execution speed	1-2 s (concentric and eccentric)
Execution	Until concentric failure or when planned rep scheme is completed

[Annexe 11] : Sous échelle de la douleur du questionnaire KOOS¹⁵

PAIN

P1. How often do you experience knee pain?

Never Monthly Weekly Daily Always

What amount of knee pain have you experienced the **last week** during the following activities?

P2. Twisting/pivoting on your knee

None Mild Moderate Severe Extreme

P3. Straightening knee fully

None Mild Moderate Severe Extreme

P4. Bending knee fully

None Mild Moderate Severe Extreme

P5. Walking on flat surface

None Mild Moderate Severe Extreme

P6. Going up or down stairs

None Mild Moderate Severe Extreme

P7. At night while in bed

None Mild Moderate Severe Extreme

P8. Sitting or lying

None Mild Moderate Severe Extreme

P9. Standing upright

None Mild Moderate Severe Extreme

¹⁵<https://www.physiotutors.com/fr/questionnaires/koos-knee-survey-questionnaire/> (Consulté le 20/11/2023)

IKDC SUBJECTIVE KNEE EVALUATION FORM



Patient Name: _____ Date of the Injury: _____
Date: _____

SYMPTOMS

Grade symptoms at the highest activity level at which you think you could function without significant symptoms, even if you are not actually performing activities at this level.

1 - WHAT IS THE HIGHEST LEVEL OF ACTIVITY THAT YOU CAN PERFORM WITHOUT SIGNIFICANT KNEE PAIN?

- Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer (4)
- Strenuous activities like heavy physical work, skiing or tennis (3)
- Moderate activities like moderate physical work, running or jogging (2)
- Light activities like walking, housework or yard work (1)
- Unable to perform any of the above activities due to knee pain (0)

2 - DURING THE PAST 4 WEEKS, OR SINCE YOUR INJURY, HOW OFTEN HAVE YOU HAD PAIN?

never 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 constant

3 - IF YOU HAVE PAIN, HOW SEVERE IS IT?

no pain 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 worst pain imaginable

4 - DURING THE PAST 4 WEEKS, OR SINCE YOUR INJURY, HOW STIFF OR SWOLLEN WAS YOUR KNEE?

- Not at all (4)
- Mildly (3)
- Moderately (2)
- Very (1)
- Extremely (0)

5 - WHAT IS THE HIGHEST LEVEL OF ACTIVITY YOU CAN PERFORM WITHOUT SIGNIFICANT SWELLING IN YOUR KNEE?

- Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer (4)
- Strenuous activities like heavy physical work, skiing or tennis (3)
- Moderate activities like moderate physical work, running or jogging (2)
- Light activities like walking, housework, or yard work (1)
- Unable to perform any of the above activities due to knee swelling (0)

6 - DURING THE PAST 4 WEEKS, OR SINCE YOUR INJURY, DID YOUR KNEE LOCK OR CATCH?

yes (0) No (1)

¹⁶<https://www.physiotutors.com/questionnaires/international-knee-documentation-committee-ikdc/> (Consulté le 10/11/2023)

7 - WHAT IS THE HIGHEST LEVEL OF ACTIVITY YOU CAN PERFORM WITHOUT SIGNIFICANT GIVING WAY IN YOUR KNEE?

- Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer (4)
- Strenuous activities like heavy physical work, skiing or tennis (3)
- Moderate activities like moderate physical work, running or jogging (2)
- Light activities like walking, housework, or yard work (1)
- Unable to perform any of the above activities due to giving way (0)

SPORTS ACTIVITIES

8 - WHAT IS THE HIGHEST LEVEL OF ACTIVITY YOU CAN PERFORM ON A REGULAR BASIS?

- Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer (4)
- Strenuous activities like heavy physical work, skiing or tennis (3)
- Moderate activities like moderate physical work, running or jogging (2)
- Light activities like walking, housework, or yard work (1)
- Unable to perform any of the above activities (0)

9 - HOW DOES YOUR KNEE AFFECT YOUR ABILITY TO:

	Not difficult at all	Minimally difficult	Moderately difficult	Extremely difficult	Unable to do
a. Go up stairs	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)
b. Go down stairs	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)
c. Kneel on the front of your knee	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)
d. Squat	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)
e. Sit with your knee bent	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)
f. Rise from a chair	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)
g. Run straight ahead	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)
h. Jump and land on your involved leg	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)
i. Stop and start quickly	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)

FUNCTION

10 - HOW WOULD YOU RATE THE FUNCTION OF YOUR KNEE ON A SCALE OF 0 TO 10 WITH 10 BEING NORMAL, EXCELLENT FUNCTION AND 0 BEING THE INABILITY TO PERFORM ANY OF YOUR USUAL DAILY ACTIVITIES WHICH MAY INCLUDE SPORTS?

Function prior to your knee injury:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 Couldn't perform daily activities No limitation in daily activities

Current function of your knee:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 Couldn't perform daily activities No limitation in daily activities



MORE INFORMATION

¹⁷<https://www.physiotutors.com/questionnaires/international-knee-documentation-committee-ikdc/> (Consulté le 10/11/2023)

Échelle PEDro – Français

- | | | | |
|---|------------------------------|------------------------------|-----|
| 1. les critères d'éligibilité ont été précisés | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement) | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 3. la répartition a respecté une assignation secrète | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 5. tous les sujets étaient "en aveugle" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |

¹⁸[https://www.pedro.org.au/wp-content/uploads/PEDro_scale_french\(france\).pdf](https://www.pedro.org.au/wp-content/uploads/PEDro_scale_french(france).pdf) (Consulté le 12/12/2023)

[Annexe 14] : Grade des recommandations de la HAS

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
<p>A</p> <p>Preuve scientifique établie</p>	<p>Niveau 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
<p>B</p> <p>Présomption scientifique</p>	<p>Niveau 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
<p>C</p> <p>Faible niveau de preuve scientifique</p>	<p>Niveau 3</p> <ul style="list-style-type: none"> - études cas-témoins. <p>Niveau 4</p> <ul style="list-style-type: none"> - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Titre, auteurs et date	Comparing the effectiveness of blood flow restriction and traditional heavy load resistance training in the post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients : a UK national health service randomised controlled trial : Luke Hughes, Benjamin Rosenblatt, Fares Haddad, Conor Gissane, Daniel McCarthy, Thomas Clarke, Graham Ferris, Joanna Dawes, Bruce Paton, Stephen David Patterson, 2019	
Schéma d'étude	Essai clinique randomisé par bloc en groupe parallèle à deux bras. Evalueur unique. Score PEDro : 7/10	
Population	N= 24 patients avec reconstruction LCA unilatéral avec autogreffe ischios jambiers Perdus de vue : 4 (initialement N=28, deux perdus de vue par groupe). Répartition : 12 dans le groupe expérimental et 12 dans le groupe contrôle	
	Critères d'inclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Patients en attente d'une chirurgie de reconstruction du LCA - Non-fumeurs actifs - Aucun antécédent de déficience neurologique - Aucune pathologie cardiaque, vasculaire, pulmonaire ou métabolique 	Critères d'exclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Rupture ou traumatisme ligamentaire multiple - Polyarthrite rhumatoïde - Antécédents de TVP ou pathologies vasculaire - Injection intra articulaire de moins de 6 mois dans le genou - Prise d'anti-coagulants - Pathologies empêchant de comprendre les consignes
Intervention et comparateur	8 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine avec minimum 48heures entre les séances à partir de la 2ème semaine postopératoire (lorsqu'ils remplissaient les conditions). En parallèle d'un programme de réadaptation standard qui est effectué 3 jours par semaine au domicile.	
	<u>Groupe expérimental : 12</u> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - BFR à 80% de la LOP : 4 séries (30,15,15,15 répétitions) de presse unilatérale à 30% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine.	<u>Groupe contrôle : 12</u> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse unilatérale à 70% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine
	Nd : La charge d'entraînement était augmentée de 10 % lorsque les participants réalisaient toutes les répétitions au cours de deux séances suivantes et était rajustée après 4 semaines d'entraînement. Le volume d'exercice (kg) a été calculé comme ceci : nombre de répétitions × charge (kg).	
Critères de jugements	Critère primaire : Le force : force isocinétique des extenseurs et fléchisseurs (dynamomètre isocinétique) et 10RM a été mesurée pour prédire la force 1RM Critères secondaires : Morphologie musculaire (épaisseur musculaire, angle de pennation, longueur du fascicule du vaste latéral), fonction physique (IKDC) , Lysholm, SEBT, LEFS, douleur (KOOS) , amplitude du mouvement (ROM), laxité, effusion	
Résultats de l'étude	<u>La force isocinétique de flexion et d'extension</u> : Il n'y avait aucune différence dans la perte du couple maximal des extenseurs à 60°/s entre le groupe expérimental et contrôle. En revanche, il y avait une diminution moins importante de la perte de couple maximal des extenseurs à 150°/s et 300°/s et de la perte de couple des muscles fléchisseurs à toutes les vitesses dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle. <u>La force 10RM</u> : Elle a augmenté au cours du protocole sans différence entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. <u>La fonction physique</u> : Elle était significativement plus importante dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle. <u>La douleur articulaire</u> : Elle était significativement moins importante dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle.	

Titre, auteurs et date	Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients : A UK national health service trial : Luke Hughes, Benjamin Rosenblatt, Fares Haddad, Conor Gissane, Daniel McCarthy, Thomas Clarke, Graham Ferris, Joanna Dawes, Bruce Paton, Stephen David Patterson, 2019	
Schéma d'étude	Essai clinique randomisé par bloc en groupe parallèle à deux bras. Evalueur unique. Score PEDro : 7/10	
Population	N= 24 patients avec reconstruction LCA unilatéral avec autogreffe ischios. Perdus de vue : 4 (initialement N=28, deux perdus de vue par groupe) Répartition : 12 dans le groupe expérimental et 12 dans le groupe contrôle	
	Critères d'inclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Patients en attente d'une chirurgie de reconstruction du LCA - Non-fumeurs actifs - Aucun antécédent de déficience neurologique - Aucune pathologie cardiaque, vasculaire, pulmonaire ou métabolique 	Critères d'exclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Rupture ou traumatisme ligamentaire multiple - Polyarthrite rhumatoïde - Antécédents de TVP ou pathologie vasculaire - Injection intra articulaire de moins de 6 mois dans le genou - Prise d'anti-coagulants - Pathologie empêchant de comprendre les consignes
	Nd : Au cours des 24 heures avant les tests, les participants se sont abstenus d'effectuer des exercices intenses, de prendre de la caféine et de l'alcool et ont conservé leurs habitudes alimentaires.	
Intervention et comparateur	8 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine avec minimum 48heures entre les séances à partir de la 2ème semaine postopératoire (lorsqu'ils remplissaient les conditions). En parallèle d'un programme de réadaptation standard qui est effectué 3 jours par semaine au domicile.	
	<u>Groupe expérimental : 12</u> <ul style="list-style-type: none"> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - BFR à 80% de la LOP : 4 séries (30,15,15,15 répétitions) de presse unilatérale à 30% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine. 	<u>Groupe contrôle : 12</u> <ul style="list-style-type: none"> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse unilatérale à 70% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine
	Nd : La charge d'entraînement était augmentée de 10 % lorsque les participants réalisaient toutes les répétitions au cours de deux séances suivantes et était rajustée après 4 semaines d'entraînement. Le volume d'exercice (kg) a été calculé comme ceci : nombre de répétitions × charge (kg).	
Critères de jugements	Douleur articulaire en séance et 24h après l'entraînement au genou opéré (Borg de 0 à 10), douleur musculaire en séance (moyenne des douleurs après chaque série) (Borg de 0 à 10) et effort perçu (Borg de 0 à 20) aux deux jambes.	
Résultats de l'étude	La douleur articulaire au genou était plus faible dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle pendant et 24 heures après l'entraînement, pendant toutes les séances. En revanche, la douleur musculaire était significativement plus élevée dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle pendant toutes les séances.	

Titre, auteurs et date	Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations : Luke Hughes, Bruce Paton, Fares Haddad, Benjamin Rosenblatt, Conor Gissane, Stephen David Patterson, 2018			
Schéma d'étude	Essai clinique randomisé par bloc en groupe parallèle à trois bras. Evalueur unique. Score PEDro : 7/10			
Population	<p>N= 30 patients avec reconstruction LCA unilatéral avec autogreffe ischios. Perdus de vue : 0 Répartition : 10 dans le groupe expérimental et 10 dans le groupe contrôle Un troisième groupe comprenant dix individus non blessés est présent mais nous ne l'avons pas étudié</p> <table border="1" data-bbox="344 531 2157 751"> <tr> <td data-bbox="344 531 1249 751"> Critères d'inclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Patients ayant subi une reconstruction chirurgicale du LCA - Non-fumeurs actifs - Aucune blessure musculosquelettique au cours des 12 derniers mois - Aucune pathologie cardiaque, pulmonaire ou métabolique </td> <td data-bbox="1256 531 2157 751"> Critères d'exclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Reconstruction multi ligamentaire - Polyarthrite rhumatoïde - Antécédents de TVP ou pathologies veineuses profonde ou vasculaire - Prise d'anti-coagulants </td> </tr> </table> <p>Nd : Au cours des 24 heures avant les tests, les participants se sont abstenus d'effectuer des exercices intenses, de prendre de la caféine et de l'alcool et ont conservé leurs habitudes alimentaires.</p>		Critères d'inclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Patients ayant subi une reconstruction chirurgicale du LCA - Non-fumeurs actifs - Aucune blessure musculosquelettique au cours des 12 derniers mois - Aucune pathologie cardiaque, pulmonaire ou métabolique 	Critères d'exclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Reconstruction multi ligamentaire - Polyarthrite rhumatoïde - Antécédents de TVP ou pathologies veineuses profonde ou vasculaire - Prise d'anti-coagulants
Critères d'inclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Patients ayant subi une reconstruction chirurgicale du LCA - Non-fumeurs actifs - Aucune blessure musculosquelettique au cours des 12 derniers mois - Aucune pathologie cardiaque, pulmonaire ou métabolique 	Critères d'exclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Reconstruction multi ligamentaire - Polyarthrite rhumatoïde - Antécédents de TVP ou pathologies veineuses profonde ou vasculaire - Prise d'anti-coagulants 			
Intervention et comparateur	<p>Une séance expérimentale unique après une séance de familiarisation à partir de la 2^{ème} semaine postopératoire et lorsqu'ils remplissaient les conditions.</p> <table border="1" data-bbox="344 866 2157 1166"> <tr> <td data-bbox="344 866 1249 1166"> Groupe expérimental : 10 <ul style="list-style-type: none"> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - BFR à 80% de la LOP : 4 séries (30,15,15,15 répétitions) de presse unilatérale à 30% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine. </td> <td data-bbox="1256 866 2157 1166"> Groupe contrôle : 10 <ul style="list-style-type: none"> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse unilatérale à 70% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine. </td> </tr> </table>		Groupe expérimental : 10 <ul style="list-style-type: none"> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - BFR à 80% de la LOP : 4 séries (30,15,15,15 répétitions) de presse unilatérale à 30% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine. 	Groupe contrôle : 10 <ul style="list-style-type: none"> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse unilatérale à 70% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine.
Groupe expérimental : 10 <ul style="list-style-type: none"> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - BFR à 80% de la LOP : 4 séries (30,15,15,15 répétitions) de presse unilatérale à 30% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine. 	Groupe contrôle : 10 <ul style="list-style-type: none"> - 5 min sur vélo + 10 répétitions de presse unilatérale à faible poids + repos de 5 minutes - Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse unilatérale à 70% de la RM avec flexion de genou entre 0 et 90° (30s de repos entre les séries) sur jambe blessée puis saine. 			
Critères de jugements	Douleur articulaire en séance et 24h après l'entraînement au genou opéré (Borg de 0 à 10) douleur musculaire (Borg de 0 à 10) et effort perçu (Borg de 0 à 20) aux deux jambes et pression artérielle.			
Résultats de l'étude	La douleur articulaire au genou était plus faible dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle pendant et 24 heures après l'entraînement, pendant toutes les séances. En revanche, la douleur musculaire était plus importante dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle pendant toutes les séances.			

Titre, auteurs et date	Comparison of quadriceps and hamstring muscle strength after exercises with and without blood flow restriction following anterior cruciate ligament surgery : a randomized controlled trial : Rafael Francisco Vieira de Melo, William Ricardo Komatsu, Mellissa Sales de Freitas, Maria Eduarda Vieira de Melo, Moises Cohen, 2022	
Schéma d'étude	Essai clinique randomisé par bloc en groupe parallèle à deux bras. Prospectif, longitudinal, parallèle, analytique et expérimental. Score PEDro : 7/10	
Population	N= 24 patients avec reconstruction LCA par autogreffe des ischio-jambier. Perdus de vue : 4 (initialement N=28, deux perdus de vue par groupe) Répartition : 12 dans le groupe expérimental et 12 dans le groupe contrôle	
	<p>Critères d'inclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Femmes et hommes, de 18 à 59 ans présentant une rupture du LCA confirmé par un examen médical au cours des deux derniers mois et une chirurgie de reconstruction par autogreffe des ischios jambiers planifiée 	<p>Critères d'exclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nouvelle lésion ou reconstruction du LCA en raison d'une laxité du membre concerné pendant la rééducation - Infection dans la région opérée - Antécédents d'atteinte dans le genou opéré - Atteinte d'un autre ligament ou du ménisque du genou opéré
Intervention et comparateur	12 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine à partir de la sortie d'hôpital	
	<p><u>Groupe expérimental</u> : 12</p> <p>- BFR à 80% de LOP : 4 séries (30, 15, 15,15) de presse à jambe unilatérale et chaise à ischios (d'abord jambe blessée ensuite l'autre) à 30% de la RM avec 2 secondes de concentrique et 2 secondes d'excentrique et 30 secondes de repos entre les séries et 5min brassard dégonflé entre les deux exercices</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 12</p> <p>- Sans BFR : 3 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale et chaise à ischios (d'abord jambe blessée ensuite l'autre) à 70% de la RM avec 2 secondes de concentrique et 2 secondes d'excentrique et 30 secondes de repos entre les séries et 5 min entre les deux exercices</p>
	Nd : La charge d'entraînement a été augmentée de 10 % si les participants ont terminé toutes les répétitions au cours de 2 sessions ultérieures ou le dernier jour d'entraînement des 4 ^{ème} , 8 ^{ème} et 12 ^{ème} semaine. Le volume d'exercice (kg) a été calculé comme suit : nombre de répétitions × charge (kg).	
Critères de jugements	Critère primaire : Le force musculaire isométrique des extenseurs et fléchisseurs (dynamomètre isométrique) Critères secondaires : fonction physique : IKDC, Lysholm. Douleur (KOOS) .	
Résultats de l'étude	<p><u>La force</u> : Il y avait une augmentation statistiquement significative dans les deux groupes avec une amélioration statistiquement significative dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle à partir de la troisième évaluation pour le quadriceps et de la deuxième évaluation pour les ischios jambiers.</p> <p><u>La fonction physique</u> : Il y avait une amélioration statistiquement significative à partir de la deuxième évaluation dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle.</p> <p><u>La douleur articulaire</u> : Il y avait une amélioration statistiquement significative à partir de la deuxième évaluation dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle.</p>	

[Annexe 19] : Curran et al

Titre, auteurs et date	Blood flow restriction training applied with high intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament : a randomized controlled trial : Michael T. Curran, Asheesh Bedi, Christopher L Mendias, Edward M Wojtys, Megan V Kujawa, Riann M Palmieri Smith, 2020			
Schéma d'étude	Essai clinique randomisé par blocs avec 4 groupes. Score PEDro : 6/10			
Population	<p>N= 34 patients avec reconstruction LCA par autogreffe : os-tendon rotulien-os, semi tendineux ou quadriceps. Perdus de vue : 14 (initialement N=48) Dû à l'absence de différences entre les groupes concentrique et excentrique avec et sans BFR ; une analyse a été effectuée en regroupant les deux groupes avec BFR et les deux autres sans BFR. Répartition : 18 dans le groupe expérimental et 16 dans le groupe contrôle</p> <p>Critères d'inclusion : Femmes et hommes, de 14 à 30 ans présentant une rupture du LCA et en attente d'une chirurgie (signature des parents pour mineurs), reconstruction effectuée par 4 chirurgiens orthopédistes</p> <p>Critères d'exclusion : Blessure ou opération antérieure au genou, stimulateur cardiaque, antécédents de caillots sanguins et TVP, antécédents de maladie cérébro-vasculaire, utilisation de contraceptifs œstrogènes et progestérones, antécédents de drépanocytose et de diabète, hypertension sévère, enceinte ou projet de grossesse</p>			
Intervention et comparateur	<p>8 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaines à partir de la 10^{ème} semaine postopératoire. 4 premières semaines : douleur, épanchement, amplitudes, contrôle du quadriceps. Du 2^{ème} au 4^{ème} mois : force du quadriceps, force de ischios jambiers, musculature de la hanche, amélioration de l'équilibre et exercices fonctionnels. Enfin, maximisation de la force, agilité, activités.</p> <table border="0" data-bbox="315 719 2141 986"> <tr> <td data-bbox="315 719 1234 986"> <p><u>Groupe expérimental</u> : 18</p> <ul style="list-style-type: none"> - N=9 : BFR à 80% de la LOP + 70% de la RM en excentrique et 20% en concentrique - N=9 : BFR à 80% de la LOP + 70% de la RM en concentrique et 20% en excentrique <p>1 série d'échauffement puis 4 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale (60 à 20° de flexion de genou) que sur le membre opéré avec 2 minutes de repos brassard dégonflé entre les séries</p> </td> <td data-bbox="1240 719 2141 986"> <p><u>Groupe contrôle</u> : 16</p> <ul style="list-style-type: none"> - N=8 : Sans BFR, 70% de la RM en excentrique et 20% en concentrique - N=8 : Sans BFR, 70% de la RM en concentrique et 20% en excentrique <p>1 série d'échauffement puis 4 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale (60 à 20° de flexion de genou) que sur le membre opéré avec 2 minutes de repos entre les séries</p> </td> </tr> </table> <p>Nd :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La 1RM a été réévaluée toutes les semaines afin de réajuster progressivement la résistance de l'exercice - Les patients affiliés aux groupes concentriques ont effectué les séries 2 à 5 de presse à 70% de la RM pour la phase d'extension de genou et 20% de la RM pour la flexion et inversement pour les deux groupes excentriques. 		<p><u>Groupe expérimental</u> : 18</p> <ul style="list-style-type: none"> - N=9 : BFR à 80% de la LOP + 70% de la RM en excentrique et 20% en concentrique - N=9 : BFR à 80% de la LOP + 70% de la RM en concentrique et 20% en excentrique <p>1 série d'échauffement puis 4 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale (60 à 20° de flexion de genou) que sur le membre opéré avec 2 minutes de repos brassard dégonflé entre les séries</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 16</p> <ul style="list-style-type: none"> - N=8 : Sans BFR, 70% de la RM en excentrique et 20% en concentrique - N=8 : Sans BFR, 70% de la RM en concentrique et 20% en excentrique <p>1 série d'échauffement puis 4 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale (60 à 20° de flexion de genou) que sur le membre opéré avec 2 minutes de repos entre les séries</p>
<p><u>Groupe expérimental</u> : 18</p> <ul style="list-style-type: none"> - N=9 : BFR à 80% de la LOP + 70% de la RM en excentrique et 20% en concentrique - N=9 : BFR à 80% de la LOP + 70% de la RM en concentrique et 20% en excentrique <p>1 série d'échauffement puis 4 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale (60 à 20° de flexion de genou) que sur le membre opéré avec 2 minutes de repos brassard dégonflé entre les séries</p>	<p><u>Groupe contrôle</u> : 16</p> <ul style="list-style-type: none"> - N=8 : Sans BFR, 70% de la RM en excentrique et 20% en concentrique - N=8 : Sans BFR, 70% de la RM en concentrique et 20% en excentrique <p>1 série d'échauffement puis 4 séries de 10 répétitions de presse à jambe unilatérale (60 à 20° de flexion de genou) que sur le membre opéré avec 2 minutes de repos entre les séries</p>			
Critères de jugements	<p>Critère primaire : Force isocinétique du quadriceps à 60°/s (dynamomètre isocinétique) Critères secondaires : Volume du muscle droit fémoral et taux d'activation, maximal voluntary isometric contraction (MVIC) et central activation ratio (CAR), la fonction physique (IKDC) et la 1RM</p>			
Résultats de l'étude	<p><u>La force isocinétique des extenseurs</u> : Il n'y avait aucune différence significative entre le groupe expérimental et le groupe contrôle du préopératoire au post-intervention et du préopératoire au RTA.</p> <p><u>La force 1RM</u> : Il n'y avait aucune différence de la pré-intervention à la post-intervention entre les groupes.</p> <p><u>La fonction physique</u> : Il n'y avait aucune différence de la pré-intervention à la post-intervention ni du préopératoire au post-intervention et au RTA entre les groupes.</p>			

Titre, auteurs et date	Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term post-operative period after anterior cruciate ligament reconstruction : a randomized controlled external pilot study : Xuefeng Li, Jinyu Li, Liang Qing, Haonan Wang, Huijun Ma, Peng Huang, 2023	
Schéma d'étude	Essai clinique randomisé par bloc en groupe parallèle à trois bras. Prospectif, longitudinal, parallèle, analytique et expérimental. Score PEDro : 4/10	
Population	N= 23 patients avec reconstruction LCA Perdus de vue : 7 (initialement N = 30) Répartition : 8 dans le groupe expérimental étudié et 6 dans le groupe contrôle. Un troisième groupe (n=9) n'a pas été étudié.	
	Critères d'inclusion :	Critères d'exclusion :
	<ul style="list-style-type: none"> - Femmes et hommes, ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur avec autogreffe à minimum 8 semaines après la chirurgie - Plus de 100 degrés de flexion de genou 	<ul style="list-style-type: none"> - Antécédents de thrombose veineuse profonde - Grossesse - Cardiopathie congénitale - Varices - Contre-indications à l'exercice.
Intervention et comparateur	8 semaines d'entraînement à raison de 2 fois par semaine à partir de minimum 8 semaines après la chirurgie	
	<u>Groupe expérimental</u> à 40% LOP : 9 (nous n'étudierons pas celui-ci) <u>Groupe expérimental</u> à 80% de la LOP : 8	<u>Groupe contrôle</u> : 6
	<ul style="list-style-type: none"> - 10 minutes d'échauffement de marche puis deux exercices d'entraînement du quadriceps, 4 séries : 30 répétitions pour la première et 15 pour les 3 autres avec 30 secondes de pause entre les séries à 30% de RM puis étirement après chaque séance 	Idem sans BFR à 30% de RM
	Nd : l'intensité des exercices a été ajustée en fonction des besoins des participants et de leur progression tout au long de l'étude	
Critères de jugements	Force d'extension isocinétique maximale du genou à 60°/s et 180°/s (dynamomètre isocinétique), la somme de l'épaisseur du droit fémoral et du vaste intermédiaire, le Y balance test (YBT) et la fonction physique (IKDC).	
Résultats de l'étude	<u>La force</u> : Il y avait une amélioration statistiquement significative dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle après l'intervention.	
	<u>La fonction</u> : Il y avait une amélioration statistiquement significative dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle après l'intervention.	
	Nd : Nous avons comparé le groupe contrôle qu'au groupe expérimental à 80% de la LOP. Néanmoins nous remarquons que le groupe à 80% de la LOP présente une augmentation statistiquement significative (p<0,05) voir très statistiquement significative (p<0,01) de tous les critères de jugement étudiés hors-mi le Y balance test par rapport au groupe expérimental à 40% de la LOP.	

Titre, auteurs et date	Influence of blood flow restriction training on knee pain after anterior cruciate ligament reconstruction : a double blinded randomized controlled trial : <i>Ahmed A.Khalil, Nadia A. Fayaz, Enas Fawzy, Nabil A.Mohamed, Ahmed H .Waly, Maha M. Mohammed, 2023</i>	
Schéma d'étude	Essai clinique randomisé par bloc en groupe parallèle à deux bras. Score PEDro : 7/10	
Population	N= 36 patients avec reconstruction LCA unilatéral avec autogreffe semi-tendineux. Perdus de vue : 19 (initialement N=55) Répartition : 18 dans le groupe expérimental et 18 dans le groupe contrôle	
	Critères d'inclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Patients en attente d'une chirurgie de reconstruction du LCA - Femmes et hommes, de 18 à 35 ans, IMC <30kg/m² 	Critères d'exclusion : <ul style="list-style-type: none"> - Fixation du greffon non sécurisée - Gonflement excessif post chirurgical affectant l'exercice - Infection active - Traumatisme des MI - Pathologie cardiovasculaire - Pathologie de la hanche et de la cheville
Intervention et comparateur	12 semaines d'entraînement à raison de 3 fois par semaine à partir de la 2 ^{ème} semaine postopératoire.	
	<u>Groupe contrôle : 18</u>	
	<u>Semaine 1</u> : Traitement standard <u>Semaine 2 à 6</u> : NMES (10 min), mobilisation, étirements (mollet) (3 x 15 répétitions). Entraînement à l'équilibre et proprioceptif, exercices de transfert de poids sur bosu. Se tenir sur une jambe 30-60s, mobilisation active et cryothérapie <u>Semaine 7 à 12</u> : NMES (10min), vélo (10-15min), entraînement proprioceptif, neuromusculaire et de stabilité. Transfert de poids sur bosu (30 répétitions), maintien debout sur une jambe yeux fermés, mini squat statique (30s) avec co-contraction des ischios et du quadriceps (30 répétitions). Mobilisations, étirements. Presse à jambe avec élastique (3 x 10-3x15 répétitions), fentes arrière (3 x 10 répétitions), flexion plantaire (3 x 10 répétitions), vélo (10-15min)	
<u>Groupe expérimental : 18</u> Idem, avec BFR à 80% de la LOP ajouté pendant NMES et pendant les exercices Nd : L'intensité était augmentée par augmentation de la résistance de la bande, de la résistance du vélo ou de la hauteur de la marche		
Critères de jugements	Douleur articulaire au genou opéré (échelle EVA)	
Résultats de l'étude	La douleur au genou était diminuée au cours du temps dans les deux groupes sans différence significative entre ceux-ci lors des périodes de suivi (1,5 et 3 mois après l'opération)	

N° 18009687- GROLL-Camille- N°67

- **Intérêt de l'entraînement sous restriction du flux sanguin après reconstruction chirurgicale du ligament croisé antérieur : une revue de littérature**
- **Interest of blood flow restriction training after anterior cruciate ligament surgery : a review of literature**

Nombre de pages : 96

Directeur de Mémoire : RUBATTAZ Baptiste

Résumé :

Introduction : Le nombre de reconstructions chirurgicales du ligament croisé antérieur (LCA) ne cesse de croître. Dans les premières phases d'une longue rééducation, la pratique d'une activité en résistance de haute intensité (HL-RT) n'est parfois pas possible pour diverses raisons. Or, le HL-RT s'est avéré être très efficace dans la récupération musculaire. Les effets métaboliques résultant de l'utilisation du blood flow restriction (BFR) pourrait faire de lui un outil intéressant chez ces patients.

Objectif : Déterminer les bénéfices sur la force, la douleur et la fonction physique apportés par l'utilisation du BFR chez les patients après reconstruction du LCA par rapport au travail sans BFR.

Méthode : Les bases de données Pubmed, PEDro et Cochrane ont été investiguées. En accord avec nos critères d'inclusion et d'exclusion, nous avons sélectionné des essais cliniques randomisés. L'échelle PEDro a été utilisée pour évaluer leur qualité méthodologique.

Résultats : Sept essais cliniques randomisés ont été sélectionnés et analysés. Le BFR avec des exercices de faible intensité (LL-BFR) permettrait d'obtenir des effets supérieurs en termes de gain de force et de fonction physique par rapport aux exercices de faible intensité seuls et serait au minimum similaire au HL-RT. La douleur serait moindre avec le LL-BFR qu'avec le HL-RT. Le BFR associé à des exercices de haute intensité n'aurait pas d'effet supérieur au HL-RT sur ces critères.

Discussion : Le LL-BFR pourrait présenter un intérêt chez ces patients. Les conclusions qui découlent de nos études sont soumises à certaines limites dues aux biais et divergences des études. De nouvelles études permettraient d'améliorer le niveau de preuve et la portée de cette revue de littérature.

Abstract :

Background : The number of surgical reconstructions of the anterior cruciate ligament (ACL) continues to grow. In the early stages of a long rehabilitation, the practice of high intensity resistance training (HL-RT) is sometimes not possible for various reasons. HL-RT has been proven to be successful in muscle recovery. The metabolic effects resulting from the use of blood flow restriction (BFR) could be an interesting tool for these patients.

Objectives : To determine the benefits on strength, pain and physical function brought by the use of BFR in patients after ACL reconstruction compared to treatment without BFR.

Methods : Pubmed, PEDro and Cochrane databases were investigated. In accordance with our inclusion and exclusion criteria, we selected randomised clinical trials. The PEDro scale was used to assess their methodological quality.

Results : Seven randomized clinical trials were selected and analyzed. The BFR with low intensity exercises (LL-BFR) would improve strength and physical function compared to low intensity exercises alone and would be at least similar to the HL-RT. Pain would be reduced with LL-BFR compared to HL-RT. BFR with high intensity exercises would not have a greater effect than HL-RT on these criteria.

Discussion : LL-BFR could be interesting for these patients. The conclusions that emerge from our studies are subject to certain limitations due to the biases and divergences of the studies. New studies would improve the level of evidence and the scope of this literature review.

Mots clés : restriction du flux sanguin, exercices de résistance à haute intensité, exercices de résistance à faible intensité, reconstruction du ligament croisé antérieur, force, fonction physique, douleur.

Keywords : blood flow restriction, high load resistance training, low load resistance training, anterior cruciate ligament reconstruction, strength, physical function, pain.