



HAL
open science

Blood flow restriction (bfr) : un outil de réadaptation après reconstruction du ligament croisé antérieur (lca)

Thomas Luiggi

► **To cite this version:**

Thomas Luiggi. Blood flow restriction (bfr) : un outil de réadaptation après reconstruction du ligament croisé antérieur (lca). Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-03975489

HAL Id: dumas-03975489

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03975489v1>

Submitted on 6 Feb 2023

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.

**BLOOD FLOW RESTRICTION (BFR) : UN
OUTIL DE READAPTATION APRES
RECONSTRUCTION DU LIGAMENT CROISE
ANTERIEUR (LCA)**

LUIGGI Thomas

Directeur de mémoire : M. MENAHEM

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite remercier monsieur MENAHEM, mon directeur de mémoire qui a toujours été disponible pour répondre à mes questions et à m'accompagner avec bienveillance tout au long de cette année.

Je remercie également l'IFMK de Marseille ainsi que les différents kinésithérapeutes que j'ai rencontré lors de mes stages pour leur confiance et leur apprentissage.

Je tiens à remercier mes camarades de promotion qui sont devenus de vrais amis que j'estime ainsi que mes amis toulonnais de longue date sans qui toutes ces années d'étude n'auraient pas été les mêmes.

Je remercie Manon de me supporter et m'encourager au quotidien.

J'ai également une pensée pour mes amis Pierre-Yves et Anthony pour leurs conseils avisés.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude envers ma famille et plus particulièrement mes parents, mon frère ainsi que mes grands-parents à qui je dois beaucoup pour leur soutien psychologique, financier et leur présence au quotidien.

Abréviations

LCA : Ligament Croisé Antérieur

LCP : Ligament Croisé Postérieur

BFR : Blood Flow Restriction

GH : Growth Hormone (hormone somatotrope)

IGF1 : Insulin-like Growth Factor 1 (Facteur de croissance analogue à l'insuline)

TVP : Thrombose Veineuse Profonde

ECR : Essai Clinique Randomisé

CCO : Chaîne Cinétique Ouverte

CCF : Chaîne Cinétique Fermé

HAS : Haute Autorité de Santé

LCM : Ligament Collatéral Médial

LCL : Ligament Collatéral Latéral

1RM : Une Répétition Maximale

IC95% : Intervalle de Confiance à 95%

MCID : Minimal Clinically Importance Difference

LOP : Limb Occlusion Pressure

Table des matières

1. Introduction	1
1.1. Le complexe du genou, rappels anatomiques	1
1.1.1. Myologie	1
1.1.2. L'articulation fémoro-tibiale	2
1.1.3. L'articulation fémoro-patellaire (ginglyme à un degré de liberté)	3
1.1.4. La biomécanique du genou	3
1.2. Le ligament croisé antérieur	4
1.2.1. Anatomie structurelle	4
1.2.2. Biomécanique fonctionnelle du LCA	4
1.2.3. Épidémiologie	5
1.2.4. Mécanismes et diagnostics de lésion du LCA	5
1.2.5. Techniques de chirurgie réparatrice du LCA et ligamentisation du greffon	7
1.2.6. Techniques de rééducations actuelles	8
1.3. Blood flow restriction (BFR)	10
1.3.1. Principes et origines du BFR	10
1.3.2. BFR et hypertrophie musculaire	10
1.3.3. BFR et régénération musculaire	12
1.3.4. Recrutement musculaire et muscles concernés	14
1.3.5. Matériel utilisé	15
1.3.6. Contre-indications et risques dus au BFR	16
1.3.7. BFR et prise en charge	17
1.4. Intérêt de cette revue de littérature	18
1.4.1. Intérêt pour le patient	18
1.5.2. Intérêt pour le praticien	18
1.5. Hypothèse théorique/Objectif de la revue de littérature	19
2. Méthodologie	20
2.1. Critères d'éligibilité des études pour cette revue	20
2.1.1. Type d'étude	20
2.1.2. Modèle PICO	21
2.2. Méthodologie de recherche des études	22
2.2.1. Sources documentaires	22
2.2.2. Équation de recherche	22
2.3. Méthode d'extraction et d'analyse des données	23
2.3.1. Sélection des études	23
2.3.2. Extraction des données	24
2.3.3. Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées	24
2.3.4. Méthode de synthèse des résultats	24
3. Résultats	25
3.1. Description des études	25
3.1.1. Résultats de la recherche	25
3.1.2. Études exclues	26
3.1.3. Études incluses	26
3.2. Risques de biais des études incluses	29
3.2.1. Grille d'analyse utilisée	29
3.2.2. Synthèse des biais retrouvés	29
3.3. Effets de l'intervention	30

3.3.1 Synthèse des résultats.....	30
3.3.2 Effet de l'intervention sur les critères de jugement.	33
4. Discussion	37
4.1. Analyse des principaux résultats.....	37
4.1.1. La force musculaire	38
4.1.2. Hypertrophie musculaire	39
4.1.3. La douleur	41
4.2. Applicabilité des résultats en pratique clinique.....	43
4.2.1. La population.....	43
4.2.2. L'intervention.	43
4.2.3. Balance cout/efficacité et bénéfice/risque	44
4.3. Qualité des preuves.	45
4.4. Limites et biais potentiels de la revue	45
5. Conclusion.....	49
6. Bibliographie	51
7. Table des illustrations	
8. Annexes	

1. Introduction

L'articulation du genou est peu congruente et est exposée à de nombreuses instabilités, expliquant les différentes lésions possibles à son niveau, notamment la rupture du ligament croisé antérieur. Il existe de nombreuses phases et techniques de rééducation après reconstruction de celui-ci. Dans cette revue de littérature nous allons nous intéresser à la restriction du flux sanguin comme outil de réadaptation après ligamentoplastie du LCA.

1.1. Le complexe du genou, rappels anatomiques

L'articulation du genou se situe au niveau du membre inférieur entre la hanche et la cheville. Ce complexe assure le lien entre le fémur, le tibia et la patella et est constitué de 2 articulations, la fémoro-patellaire et la fémoro-tibiale. Sa stabilité est assurée par une association de ligaments statiques, de forces musculaires dynamiques, d'aponévrose méniscocapsulaire et de charge articulaire. [1] [2]

C'est une articulation bi-condylienne possédant deux degrés de liberté :

- Mouvements de flexion et d'extension
- Mouvements de rotations uniquement avec genou fléchi

Elle est sollicitée au quotidien aussi bien dans la vie professionnelle ou courante ainsi que dans la pratique sportive. Son rôle est de stabiliser le membre inférieur et d'amortir les différents chocs subis venant du sol : elle répond aux sollicitations mécaniques du pied et de la hanche.

1.1.1. Myologie

Muscles fléchisseurs principaux	Muscles fléchisseurs accessoires	Muscle extenseur principal	Muscles extenseurs accessoires	Muscles rotateurs médiaux	Muscle rotateur latéral
Biceps fémoral					
Semi-membraneux	Sartorius		Tractus ilio tibial	Semi-membraneux	Biceps fémoral
Semi-tendineux	Poplité	Quadriceps	TFL tenseur du fascia lata)	Poplité	
Gracile	Jumeaux				

Tableau 1 : Les muscles du genou [3]

1.1.2. L'articulation fémoro-tibiale

Située entre les condyles (partie inférieure du fémur) et les glènes (partie supérieure du tibia), cette articulation est bicondyloïde avec 2 degrés de liberté.

Éléments osseux :

- **Fémur** : Constitué de deux condyles fémoraux ayant la forme d'une spirale, le latéral plus large et moins long ainsi que le médial plus long, plus étroit et symétrique au latéral. Entre les deux condyles se trouve la gorge trochléenne qui s'articule avec la patella en avant, et se continue avec la fosse intercondylienne en arrière.
- **Tibia** : Constitué du plateau tibial, lui-même divisé en trois parties : la zone intercondyloïde et les glènes tibiales. La **glène latérale** (répondant à la partie latérale du fémur), articulaire, ovalaire et constituée de cartilage hyalin est convexe d'avant en arrière et concave transversalement. La **glène médiale** (répondant au condyle médial du fémur), est articulaire, concave d'avant en arrière et transversalement [1].

Moyens d'union [1] :

- **La capsule** : Manchon fibreux qui recouvre l'extrémité inférieure du fémur et supérieure du tibia permettant un contact permanent de celles-ci. Elle forme les parois non osseuses de cette cavité articulaire.
- **Les ligaments croisés** : Composés du ligament croisé antérieur (LCA) et postérieur (LCP), ces ligaments centraux constituent le pivot central du genou. Ils assurent la stabilité du genou en flexion. Le LCP prend origine à la partie postérieure du tibia et s'étend jusqu'à la partie antérieure du condyle médial au niveau de sa face axiale. Le LCA sera détaillé plus tard.
- **Les ligaments collatéraux en périphérie** : ils permettent la stabilité du genou en extension. On retrouve le ligament collatéral interne ou médial (LCM) qui prend origine sur le condyle médial et se termine sur la partie proximale de la face interne du tibia sur son extrémité supérieure, oblique en avant et en bas. On a aussi le ligament collatéral latéral (LCL) prenant origine sur l'épicondyle latéral du fémur et se terminant sur la tête de la fibula.[4]
- **Les ménisques** : Ils sont au nombre de deux (ménisque interne et externe) et permettent la répartition de pression entre le fémur et le tibia. Ce sont des fibro-cartilages élastiques en forme de croissant. Le ménisque interne, long et étroit est ouvert en forme de C tandis que le ménisque externe, plus large et court est fermé en forme de O.
- **La synoviale** : C'est une enveloppe qui entoure l'articulation du genou, elle crée du liquide synovial et lubrifie cette articulation.
- **Les muscles extenseurs** (TFL, Quadriceps) et **fléchisseurs** (gracile, sartorius, ischio-jambiers).

1.1.3. L'articulation fémoro-patellaire (ginglyme à un degré de liberté)

Éléments osseux :

- **Face postérieure de la patella** : composée d'un cartilage hyalin, elle glisse dans la trochlée pendant les mouvements d'extension et de flexion du genou. En flexion, elle porte les tensions du quadriceps. La patella est un os sésamoïde faisant partie de l'appareil extenseur du genou. Elle augmente la puissance du bras de levier du quadriceps.
- **La trochlée** : située sur la face antérieure de l'extrémité inférieure du fémur, c'est une poulie pleine, constituée de cartilage hyalin dont le grand axe est transversal. [1]

Moyens d'unions :

Les moyens d'unions de cette articulation sont : la **capsule**, les **ligaments fémoraux-patellaire** médial et latéral, le **ligament patellaire**, le **tendon quadricipital** ainsi que le **rétinaculum patellaire**.

1.1.4. La biomécanique du genou

L'articulation **fémoro-tibiale** est une articulation mobile et instable dans le plan sagittal. Au cours des mouvements de flexion/extension il y a une association de roulements et glissements des condyles fémoraux sur le plateau tibial. Ils déblayent l'ensemble de la surface articulaire et répartissent les contraintes. En **flexion**, le condyle commence par **rouler (15 à 20°)** puis **glisse** sur les glènes et enfin on a une association des deux permettant de recentrer les condyles par rapport aux glènes. En extension, c'est le processus inverse. Des mouvements de **rotations automatiques** se créent lors de la flexion (**Rotation médiale**) et l'extension (**Rotation latérale**). De plus, en conséquence de la poussée des condyles, les ménisques **avancent** pendant l'**extension** (traction ligamentaires menisco-patellaires) et **reculent** pendant la **flexion** (traction du poplité et semi-membraneux). Les mouvements de rotations du genou ne sont possibles que genou fléchi. [5][6]

FLEXION (Axe transversal)	EXTENSION (Axe transversal)	ROTATION MÉDIALE (Axe longitudinal)	ROTATION LATÉRALE (Axe longitudinal)
140° (Actif, hanche fléchie)			
120° (Actif, hanche en extension)	0°	30 °	40°
160° (Passif)			

Tableau 2: Mouvements biomécaniques du genou [5]

Concernant la dynamique de l'articulation **fémoro-patellaire**, en **flexion** le quadriceps est contracté en excentrique, le rétinaculum patellaire est mis en tension tandis que la rotule est compressée dans la trochlée. En **extension**, le quadriceps contracté en concentrique tire la patella en haut et en dehors (sa stabilité est diminuée), le système capsulo-ligamentaire est détendu. [5] [7]

1.2. Le ligament croisé antérieur

1.2.1. Anatomie structurelle

Le LCA se situe au cœur de l'articulation fémoro-tibiale. C'est un puissant ligament **intra-synovial** et **intra-articulaire** qui mesure **35mm de long** et **11mm de large**. Il prend origine sur le tibia, au niveau de la partie antérieure de l'aire inter-condylienne. Long de **4cm**, il se dirige de manière **oblique en haut, en arrière et en dehors**, pour se terminer sur le fémur au niveau du condyle latéral fémoral sur sa partie postéro-médial. Le LCA est composé de deux faisceaux torsadés entre eux [8]:

-Faisceau antéro-médial : Tendue en extension et en flexion, il contrôle la translation antérieure du tibia sous le fémur. C'est le plus long et le plus exposé aux traumatismes

-Faisceau postéro-latéral : Tendue lorsque le genou est en extension, il permet le contrôle de la rotation médiale et de la translation antérieure du tibia sous le fémur.

Le LCA joue un rôle protecteur permanent. En effet, ses fibres n'ont pas toutes la même orientation ni la même longueur, par conséquent elles ne sont pas toutes tendues simultanément. Il reçoit un apport sanguin par l'artère poplitée naissante de l'artère fémorale. Au niveau de son 1/3 moyen ainsi qu'à ses insertions osseuses moyennes, il y a des zones non vascularisées, ce qui provoquera un impact sur sa cicatrisation (il est moins vascularisé que le LCP). De plus, il est innervé par une branche du nerf tibial. [8] [1]

1.2.2. Biomécanique fonctionnelle du LCA.

Le LCA a un rôle important dans la stabilité du genou et forme le pivot central du genou associé avec le LCP[9]. En effet, il s'oppose au glissement antérieur du tibia sous le fémur appelé **tiroir antérieur**. Le LCP lui, à l'inverse s'oppose au tiroir postérieur. En chaîne cinétique fermée (CCF), le LCA subit moins de contraintes qu'en chaîne cinétique ouverte (CCO). Il joue aussi un rôle dans la dynamique du mouvement. En effet, à l'aide du LCP, il fait glisser en sens inverse par rapport à leur roulement les condyles fémoraux sur leurs glènes. [10]

Il joue donc un rôle dans l'**association roulement/ glissement**. En cas de rupture, il n'y a plus de glissement, les condyles roulent vers l'arrière et le tibia est en avant du fémur (tiroir antérieur). De même, la rupture provoquerait une laxité en rotation médiale. Il **s'horizontalise en flexion**, seul son faisceau latéral est tendu alors qu'en extension les 2 faisceaux le sont. Le LCA intervient dans les **3 plans de l'espace** :

Plan Frontal	Plan sagittal	Plan transversal
<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des mouvements de valgus 	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisation du genou • Empêche le tiroir antérieur • Seul frein ligamentaire entre 0 et 30° • Faisceau antéro médial : tendu entre 60 et 90° • Faisceau postéro médial : tendu entre 0 et 45° 	<ul style="list-style-type: none"> • Rôle de frein à la rotation médiale du genou (pas d'action sur la rotation latérale)

Tableau 3: Mouvements biomécaniques du LCA [5]

Jouant un rôle important dans la stabilité du genou, la rupture du LCA peut avoir des conséquences mécaniques.

1.2.3. Épidémiologie

La rupture du LCA fait partie des blessures les plus courantes et graves du genou, son incidence a augmenté ces dernières années dans le monde (**entre 37 et 61 pour 100 000 personnes**)[11]. Selon l'HAS (haute autorité de santé) il y a **en France 36 540 ligamentoplastie de genou** au cours de l'année **2008** dont **90 %** seraient des reconstructions du **LCA** [12]. Des données épidémiologiques plus récentes montrent qu'en **2019** c'est **42 250 opérations** de reconstruction du LCA qui ont eu lieu, prouvant que cette pathologie ne cesse de croître[13] Aux **États-Unis**, les reconstructions sont de l'ordre de **250 000 par an**[14].

Les populations actives et notamment sportives sont les plus touchées (environ 65% des ruptures du LCA sont en rapport direct avec les activités sportives). Certaines disciplines sont plus touchées que d'autres : ce sont les « **sports de pivots/contact** » (football, rugby, ski ...)[15]. Par exemple, la **prévalence** de rupture du LCA est de **0,11** dans le **foot** alors qu'elle est de 0,08 au basket, et celle-ci dépend aussi du niveau de jeu (les pratiquants à haut niveau ont plus de risques que les amateurs). Cependant il y a aussi des **risques intrinsèques** à chaque personne. [16]

1.2.4. Mécanismes et diagnostics de lésion du LCA

Mécanisme direct : Dans ce cas le mécanisme est appuyé, il y a un **choc violent**, un « contact » qui est présenté comme un accident.

Mécanisme indirect : Il fait suite à un **mouvement non appuyé**, lors d'un mouvement d'hyperextension du genou par exemple sans qu'il y ait de contact (frappe dans le vide).[17]

La **majorité** des ruptures se fait selon un **mécanisme indirect** et celles-ci sont souvent la conséquence :

- D'un genou en position de **valgus** associé à une **flexion et rotation externe**.
- D'une **hyperextension** brutale du genou

- D'une **rotation interne du tibia forcée** : Cela arrive au cours d'un pivot, le genou fléchi légèrement à 20°, (ex : pied ou crampons restent fixés au sol)
- D'un genou en position de **varus associé à une rotation interne**
- D'un genou en **hyperflexion**. [18]

La rupture est le niveau d'atteinte le plus grave qui vient après l'entorse et la rupture partielle, elle peut être isolée mais aussi associée à différentes atteintes. Par exemple, la rupture du LCA peut être associée à celle du ménisque interne et du LCM, c'est la **triade antéro-médiale**. La rupture la plus fréquente du LCA est issue d'un **changement de direction** associé à une **décélération** avec **genou fléchi** en position de **valgus** et **rotation externe**. [18]



Figure 1 : Rupture du LCA par Flexion/Valgus/Rotation externe du genou

L'examen clinique est la source principale de diagnostic de rupture du LCA. En effet, pour réaliser ce diagnostic il faut faire des tests dynamiques qui ne sont pas possibles avec une IRM ou une radiographie. **L'interrogatoire** est le premier élément de cet examen, on demande au patient de raconter les circonstances de l'accident. On se renseigne ensuite sur d'éventuels **signes cliniques** : **L'hémarthrose** (40%) et le **craquement** (70% des cas) sont les plus spécifiques. De plus, un « **déboitement** » peut être ressenti par le patient (impression que son genou part) ainsi qu'une **douleur**, bien qu'elle ne soit pas toujours vive qui peut entraîner une difficulté à la marche. Ces signes ne sont pas toujours évidents, d'où la nécessité de l'examen clinique. [19]

Les trois signes évocateurs à rechercher sont :

- **L'épanchement articulaire**, qui peut être apprécié grâce au choc rotulien. Cependant seule la ponction articulaire peut le déterminer.
- **La mobilité articulaire** : la douleur et l'épanchement vont limiter la flexion, on aura aussi une instabilité rotatoire.
- **Le tiroir antérieur**

Il existe de nombreux tests permettant d'évaluer les mouvements anormaux du genou et notamment le tiroir antérieur. Nous détaillerons le test du **Lachman** car c'est le plus sensible et spécifique des tests. Le test du Lachman-Trillat est le test **pathognomonique** du LCA, il est **sensible** (62%) et **spécifique** (82%). Le patient est en **décubitus dorsal**, **genou fléchi à 20°** et le praticien exerce un mouvement de **traction antérieure du tibia**. Si on observe un **arrêt mou** et un **déplacement du tibia** sous le fémur, alors il y a **signe de rupture** [20]. Le traitement chirurgical paraît inévitable lors de lésions associées (triades...) ou lorsque le patient pratique des sports pivots par exemple. On parle de « reconstruction » d'un ligament qui consiste à effacer l'instabilité fonctionnelle du genou et à diminuer le risque de lésion secondaire.

1.2.5. Techniques de chirurgie réparatrice du LCA et ligamentisation du greffon

L'opération du LCA a subi de nombreuses évolutions et se réalise majoritairement sous **arthroscopie**. Le ligament rompu peut être remplacé par **autogreffe** dont la greffe provient du sujet lui-même (majorité des opérations en France) ou **allogreffe** provenant d'une autre personne (populaire aux USA). Il y a aussi différents types de techniques de reconstructions par autogreffe qui ont chacune leurs propriétés [21] [22]

	DIDT	Kenneth Jones	Tendon quadricipital	Allogreffes
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrité de l'appareil extenseur • Épanchement articulaire moins important 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration os/os (consolidation rapide) • Longueur idéale du tendon (facile à préparer) 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration hybride os/os et os/tendon • Faible influence sur la mobilité de la patella. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de prélèvement sur le patient
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidation os-tendon plus lente • Perte de flexion en actif 	<ul style="list-style-type: none"> • Douleurs antérieures, vulnérabilité appareil extenseur. • Grosse Cicatrice. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque d'hématome post-opératoire • Risque de fracture patellaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Elles sont fragiles.

Tableau 4: Techniques conventionnels de ligamentoplastie du LCA

Il n'y a pas une greffe meilleure que l'autre : la technique diffère en fonction des chirurgiens, du type de genou opéré, de l'importance de la laxité, de la pratique sportive, des interventions antérieures réalisées sur le genou. Le **DIDT** est la plus utilisée : Une partie du gracile et du semi-tendineux sont prélevés, enroulés sur eux-mêmes en tresse puis tendus pour être posés à la place du LCA. Une variante de celui-ci appelée **DT4** est possible au cours de laquelle seul le semi-tendineux est prélevé pour être tressé et replié en 4. Le **Kenneth Jones (KJ)**, qui a été pendant longtemps la technique la plus utilisée quant à elle correspond à un prélèvement du tendon rotulien (osseux et tendineux). La chirurgie ne peut avoir lieu qu'à partir du moment où le genou est sec, sans épanchement, infra-douloureux et qu'il bouge bien.[22]

La chirurgie n'est pas toujours obligatoire. En effet, historiquement le premier traitement à avoir été mis en place est le **traitement conservateur** avec mise en place d'attelles. Il consiste à regagner une bonne stabilité et mobilité du genou. Il concerne les patients qui ne pratiquent pas de sport pivot, ceux qui n'ont pas d'instabilité fonctionnelle ou de lésions associées. [23]

Après la chirurgie, le greffon apparaît dans l'articulation à la place du LCA lésé. Dans un **premier temps**, il sera **fragile** et sa transformation en ligament « efficace » n'est pas immédiate, il suit un processus de « **ligamentisation** » au cours duquel il va acquérir sa **vitalité** et **résistance définitive**. La ligamentisation du greffon se réalise en plusieurs étapes au cours desquelles il va se modifier pour former un néo-ligament avec des propriétés semblables au LCA (il sera à terme plus résistant que celui-ci) [24] :

- **Phase 1 (deux premiers mois)** : Elle correspond à la **colonisation cellulaire** : il y a un accroissement de cellules inflammatoires et des fibroblastes. Durant cette phase, le greffon atteint son **plus haut niveau de fragilité**, il ne faut pas le surcharger.
- **Phase 2 (2 mois à 1 an)** : Elle correspond au **remodelage collagénique** : il y a de nombreuses zones de dégénérescence. A partir de 6 mois les fibres de collagène sont organisées et vascularisées. Le greffon est plus solide qu'en phase 1.
- **Phase 3 (1 an à 3 ans)** : C'est la phase de **maturation** qui correspond à la diminution de la vascularisation et à la maturation des fibres collagéniques. C'est entre 1 an et 3 ans que le greffon montre une véritable structure ligamentaire quasiment identique à celle du LCA. Cela dépend des personnes, il n'y a pas de consensus.

Au début de la ligamentisation, à la suite des nombreux changements cellulaires, on a une **diminution de plus de 50% de la résistance du greffon** qui se retrouve très fragilisé. Il faut faire attention à ne pas le surcharger de contraintes ce qui pourrait conduire à une elongation ou une rupture. Les contraintes sur le genou sont nécessaires à son développement et importantes pour le processus de ligamentisation car elles jouent un rôle dans la maturation et l'organisation du collagène [25]. Cependant, il faut qu'elles soient réalisées de manière progressive et que le genou ne soit pas en surcharge.

Le renforcement musculaire est la plus grosse partie de la rééducation post chirurgie du LCA. En effet, après cette opération le patient **perd en force et en volume musculaires** de manière considérable, il faut donc palier au plus vite à ce problème après avoir retrouvé une flexion de genou convenable. Depuis de nombreuses années les protocoles de renforcement utilisent des **charges lourdes (70% de la 1RM)** pour gagner en force et en volume. Or, ce type d'entraînement peut engendrer des douleurs au genou pendant la première phase de la rééducation. C'est pourquoi l'entraînement avec **restriction du flux sanguin (BFR)** avec faible intensité que nous verrons ensuite, peut être une solution pour renforcer le genou tout en limitant les douleurs articulaires.

1.2.6. Techniques de rééducations actuelles

La rééducation post ligamentoplastie du LCA dépend de nombreux paramètres : Du **type de chirurgie** qu'a subi le patient car les structures fragiles sont différentes (ischio-jambier pour les DIDT, quadriceps pour les KJ), du type de **patient**, du type de **sport**, des **lésions méniscales associées**, de la **gravité de la lésion**. Il existe de **nombreux protocoles** de rééducation concernant cette ligamentoplastie, cependant ils ont tous une trame en commun qui est de diviser celle-ci en plusieurs étapes. En effet, bien qu'il n'existe pas de consensus, il y a certaines étapes qui doivent être respectées concernant le greffon, la douleur, la reprise du sport, l'autorisation du cco ...

Protocole classique selon l'HAS [26] :

- **Phase 1 (J1/J21) : Ablation des agrafes.**
 - Réduction de la douleur
 - Obtenir un genou sec
 - Obtenir un verrouillage actif en extension et une flexion de 60°
 - Interdiction du travail en CCO contre résistance
 - Massage, réveil musculaire, électrostimulation, port d'attelle simple, glaçage, physiothérapie,

- **Phase 2 : (J21/J45) : Ablation des cannes et attelle, à la fin la CCO est autorisée.**
 - Travail de mobilité (flexion de 0 à 120°), réveil musculaire.
 - Obtenir un genou sec, indolore, non inflammatoire et un bon contrôle du quad.
 - Travail de la cicatrice, massage, pressothérapie, balnéothérapie.

- **Phase 3 : (jusqu'au 4^e mois) : Consolidation**
 - Renforcement plus intense des quadriceps et ischio-jambiers (dépendant de la ligamentisation), activités proprioceptives, endurance (marche, tapis, vélo)
 - Travail en CCF, Travail de cocontraction

- **Phase 4 : (Jusqu'au 6^e mois et plus) : Réathlétisation/reprise du sport**
 - Le greffon retrouve sa résistance, activités en puissance et en endurance,
 - Activités proprioceptives dynamiques, footing, athlétisation,
 - Travail dynamique, isocinétique, sauts, travail de CCO, reprise de l'entraînement.
 - Reprise de certains sports peu après le 6^e mois (sports sans pivots ou contacts)

Après reconstruction du LCA, les déficits de force et de masse du quadriceps sont fréquents. En effet, **12 mois après** la chirurgie **30% des patients** exposent encore des **déficits** de la **force du quadriceps**. De même, les **déficits de masse** du quadriceps peuvent atteindre **30% de la masse totale**, persister pendant plusieurs années et affecter négativement la force du quadriceps [27]. La force du quadriceps après ligamentoplastie du LCA est associée aux mesures des résultats rapportés par le patient, à la performance fonctionnelle, au retour au sport. Par conséquent, il est nécessaire de traiter ces déficits de force et de masse du quadriceps. L'entraînement en résistance aux charges externes lourdes (70% de la 1RM) est recommandé pour accroître la force et le volume des quadriceps. Cependant, il peut avoir des effets négatifs sur la **laxité** et la **douleur articulaire du genou**. Par conséquent, l'entraînement avec BFR à faible charges externe (30% de la 1RM) a été suggéré comme une alternative potentielle à la rééducation traditionnelle de la force musculaire. [28]

1.3. Blood flow restriction (BFR)

L'entraînement avec BFR bien qu'existant depuis de nombreuses années en musculation par exemple, est une technique émergente en kinésithérapie. En effet, de plus en plus de praticiens utilisent celle-ci.

1.3.1. Principes et origines du BFR

Le BFR, **Blood flow restriction** est un terme anglais signifiant « entraînement en occlusion ». Il représente une des nombreuses techniques de **renforcement musculaire**. Cette technique ayant de bons résultats au niveau musculaire peut être intéressante chez un patient, qu'il soit blessé ou pas. Elle permet de faire un entraînement avec des charges de faibles résistances, inférieures à 35% de la 1RM, ayant un effet similaire à un entraînement de haute intensité c'est-à-dire de charges supérieures à 65% de la 1RM.[29]

Le principe du BFR est de restreindre partiellement l'afflux artériel et complètement le flux veineux dans la musculature de travail pendant l'exercice. [30] Ce type d'exercice existe depuis plusieurs années. En effet, c'est en 1973 que le Dr Japonais Yoshiaki Sato développa les détails de l'« entraînement kaatsu » signifiant « entraînement avec une pression supplémentaire ».[31,32]

Aujourd'hui, cet entraînement est pratiqué partout dans le monde et est plus connu sous le nom d'entraînement BFR. Le principe de cette technique est de poser une pression externe sur la région proximale des membres à l'aide de sangles de restriction ou de brassard de tensiomètre.[33] Celui-ci doit être gonflé à une pression qui permet une compression du système vasculaire, ainsi il restreint le retour veineux.

Cette compression entrainera une **restriction partielle** du flux sanguin **artériel** vers la structure distale du brassard mais cela affectera plus gravement le flux sanguin veineux sous le brassard fourni. [34]. Concernant les patients ne pouvant pas tolérer des exercices à charge élevée, cet entraînement BFR offre les avantages de ceux-ci entraînant moins de stress articulaire, tissulaire et de contrainte mécanique supplémentaire sur les tissus, articulations enflammées ou reconstruites.[35] Par ses principes le BFR agit préférentiellement au niveau musculaire et va induire une **hypertrophie musculaire**.

1.3.2. BFR et hypertrophie musculaire

La restriction du retour veineux va entraîner une accumulation de métabolites qui va être à l'origine d'une hypertrophie musculaire due à un recrutement de **fibres de type 2** [29]. En effet le principal but au niveau structurel de cette technique est d'amener une hypertrophie musculaire et par conséquent une augmentation de la force (les deux étant corrélés). Celle-ci est efficace à la fois sur les populations âgées[36], chez les jeunes en bonne santé [37], ainsi que chez les populations qui nécessitent une rééducation[38] ou même chez les athlètes [39].

Depuis des années, on privilégie l'utilisation de charges lourdes lors d'exercices de gain musculaire (environ 70% de la 1RM) pour maximiser les adaptations fonctionnelles (la force) et morphologiques (hypertrophie). Depuis peu, certaines études ont montré que l'entraînement BFR avec des charges légères peut induire une hypertrophie significativement comparable à l'entraînement traditionnel à haute intensité [40].

L'hypertrophie musculaire est une augmentation de la taille des tissus musculaires. Pendant ce processus, on va avoir des éléments contractiles qui vont s'élargir. Dans un même temps, la MEC (matrice extracellulaire) se développera de manière à supporter l'augmentation de ces fibres résultant d'une addition de sarcomère (c'est l'élément principal des myofibrilles, responsable de la contraction des fibres musculaires) [41]. L'hypertrophie musculaire peut être obtenue de deux manières :

- **Par stress mécanique** : Le stress mécanique c'est la tension qu'un muscle reçoit à partir du moment où il soulève un poids, elle s'obtiendrait lors de **séries courtes avec charges**.
- **Par stress métabolique** : Le stress métabolique est considéré comme le produit de la contraction musculaire. On retrouve lors de ce stress une augmentation de phosphocréatine, d'acide lactique, de phosphate ainsi qu'une acidification du pH musculaire. C'est cette addition d'événements qui va être responsable de l'hypertrophie et du gain de force. C'est par accroissement de la tension par fibre que le stress métabolique aide à la contraction musculaire. Contrairement au stress mécanique il s'obtiendrait au moyen de **séries longues**.

On a longtemps pensé que le stress mécanique était le facteur premier pour créer de l'hypertrophie et que le métabolique serait un peu moins efficace. Cependant, ces dernières années les études ont montré que l'on peut aussi bien créer des fibres musculaires avec de faibles charges (avec un minimum de 30% de la RM) à condition d'arriver à **l'échec musculaire** (c'est-à-dire à partir du moment où le muscle n'ayant plus de force, est incapable de faire une répétition de plus). Cela correspond environ à **30 à 40 répétitions** pour des entraînements à **faible intensité** contre **8 à 12 répétitions à haute intensité**, les gains musculaires seront alors identiques.

Pour qu'il y ait hypertrophie, chaque fibre doit avoir assez de temps sous tension mécanique et nécessite donc un peu de stress métabolique : « La tension mécanique et le stress métabolique ne s'opposent pas : Ils travaillent main dans la main ». [42]

Malgré ses qualités, l'entraînement à haute intensité peut entraîner des effets secondaires à travers un stress mécanique intense dans différents systèmes (orthopédiques et cardiovasculaires) et être gage de complications. Il ne s'applique pas à toutes les populations, notamment aux personnes âgées ou atteintes de divers troubles. [43]

Entrainant moins de contrainte mécanique, le BFR pourrait être approprié pour celles-ci. En effet, il a été montré que le stress métabolique ainsi que le recrutement des fibres musculaires étaient augmentés avec des exercices à faible intensité auxquels on ajoute l'occlusion veineuse (BFR) et qu'ils pouvaient être égaux à ceux d'un exercice de résistance à haute intensité [44]. Lors de cet entraînement avec BFR, les métabolites intramusculaires sont modifiés en comparaison aux valeurs de repos. On a aussi une diminution du pH.

Pour créer du stress métabolique on peut aussi utiliser le BFR pendant les temps de repos entre deux exercices réalisés sans restriction, pour permettre une variation d'entraînement. Ainsi, qu'il soit utilisé en complément pendant le temps de repos lors d'un entraînement ou dans le cadre d'un programme de renforcement avec exercices multiples sous BFR, c'est un facteur clé concernant l'augmentation du stress métabolique et des fibres musculaires dans le muscle squelettique[45].

Lors d'exercices de renforcement, les fibres musculaires sont soumises à des micro-déchirures au niveau des myofibrilles. Il y a alors un renouvellement : des fibres se dégradent (catabolisme) et d'autres se forment (anabolisme), plus fortes et plus résistantes. C'est le principe de l'hypertrophie. Ces microtraumatismes vont être à l'origine du « processus de **régénération musculaire** » constitué d'une phase de **catabolisme** et d'**anabolisme**. [46]

1.3.3. BFR et régénération musculaire

Cette phase est importante, c'est grâce à celle-ci que les muscles peuvent s'hypertrophier. Lors du mécanisme de micro-déchirure, on a des nutriments qui sont envoyés vers les cellules musculaires avec pour but de réparer les dommages qui ont été causés par l'entraînement. Cela va stimuler la multiplication et la croissance des myofibrilles. La régénération des muscles squelettiques comprend deux phases : La **myolyse** (ou catabolisme) ainsi que la **reconstruction** (ou anabolisme)[47]

1.3.3.1. Phase de myolyse (catabolisme)

Elle est liée à la destruction rapide des fibres et tissus musculaires, suivie d'une nécrose, et de cellules inflammatoires (neutrophiles, macrophage et lymphocytes) qui infiltrent le site endommagé. Une fois les fibres endommagées retirées, les travaux de reconstruction commencent [48]. On sait qu'il existe des études dans la littérature qui montrent les effets musculaires bénéfiques par suite de l'application de BFR.

Cependant, un exercice inhabituel peut causer des dommages musculaires et squelettiques, directs ou indirects [49]:

- Rupture du tissu contractile
- Accumulation de calcium dans les cellules
- Des douleurs musculaires à effet différé (DOMS) (courbatures, contractures...)
- Réduction de force musculaire et d'amplitude du mouvement
- Accumulation de protéines musculaires dans le sang

Le stress mécanique serait un facteur principal de cause de ces dommages musculaires. [50]

Un entraînement traditionnel entraîne une accumulation de créatine kinase et myostatine : biomarqueur sanguin des lésions musculaire et responsable du catabolisme. En effet, il peut créer des dommages musculaires importants, mais leur qualité, leur quantité et leur gravité va dépendre de plusieurs facteurs (ex : la quantité de tension exercée sur les fibres musculaires individuelles, la longueur musculaire initiale, la force par zone active, la force maximale produite pendant l'exercice, vitesse, longueur initiale des muscles, l'intensité de l'exercice), ces facteurs sont les mêmes pour l'entraînement avec BFR.

Plus l'intensité et le nombre de contractions augmenteront, plus les dommages musculaires seront importants [51]. Si le type de contraction est important, les contractions excentriques vont causer des dommages musculaires qui vont être plus importants que les concentriques.[52]

Concernant l'entraînement BFR à faible intensité, les marqueurs du catabolisme sont moins présents qu'à haute intensité. La littérature suggère que les dommages musculaires concernant ce type d'exercice sont minimes ou nuls. En effet, on ne retrouve pas de diminution prolongée de la fonction musculaire, ni de gonflement musculaire prolongé. Enfin, il n'y a pas d'élévation des biomarqueurs sanguins des lésions musculaires :

- Créatine kinase[53]
- stress oxydatif[53]
- marqueurs inflammatoires[54]
- myostatine[54]

Par conséquent, le BFR va donc entraîner **moins de dégâts** sur le muscle et ainsi **moins de DOMS** (delayed onset muscle soreness, terme correspondant à des douleurs musculaires d'apparition retardée, à des courbatures).[29] La récupération sera donc plus rapide avec un entraînement BFR qui jouera un rôle important dans cette phase de catabolisme. Cette phase de destruction est toujours suivie par une phase de reconstruction (**anabolisme**) synonyme de régénération musculaire

1.3.3.2. Phase de reconstruction (anabolisme)

La formation de nouvelles fibres musculaires repose sur l'activation de cellules précurseurs musculaires spécifiques (ce sont des cellules satellites) situées entre le sarcolemme et la lame basale entourant la fibre musculaire unique. Ces cellules restent au repos jusqu'à ce qu'elles soient activées en raison de lésions musculaires. Une fois activées, elles commencent à proliférer, à se différencier en myoblastes, à fusionner pour former des myotubes et enfin à reconstruire des fibres musculaires multi nucléées.[55]

Ces myoblastes avec l'aide de fibroblastes (cellules précurseurs du tissu conjonctif) synthétisent les composants de la MEC (collagènes I, III, IV, protéoglycannes, fibronectine, laminine) jouant ainsi un rôle dans la reconstruction d'une architecture musculaire appropriée. La régénération musculaire dépend du type de fibres qui constituent le muscle : Les muscles composés de fibres rapides se régénèrent plus vite que ceux à fibres lentes. Le développement de l'inflammation, la restauration des vaisseaux sanguins et de l'innervation ainsi que la modification correcte de la MEC sont des événements clés pour une régénération efficace. (25)

L'hormone de croissance (GH) est une hormone peptidique jouant un rôle important dans la régulation du métabolisme en stimulant la mobilisation et l'oxydation des lipides et en favorisant la synthèse de collagène dans les tissus tendineux. Elle a des effets directs et indirects sur la synthèse des protéines par la stimulation du « facteur de croissance analogue à l'insuline » (IGF)-1. Les concentrations de **GH** et **IGF-1** sont associés à l'expression du collagène musculotendineux.[56]

Celles-ci sont élevées à l'adolescence et diminuent tout au long de la vie (avec l'âge), abaissant ainsi la qualité de régénérescence musculotendineuse chez les personnes âgées.

Le sport et les exercices vont permettre la sécrétion de GH en restant dépendant de l'intensité. Ils vont donc avoir un rôle dans l'oxydation des lipides et la synthèse de collagène dans les muscles et tendons [57]. L'entraînement en résistance à haute charge entraîne une augmentation forte, mais transitoire de la GH circulante chez les sujets jeunes, avec un résultat plus émoussé dans les populations âgées.[58] [59]

Des preuves émergentes montrent également que **l'entraînement BFR** stimule aussi la synthèse intramusculaire de collagène. De plus, il augmente la concentration de **GH** de manière égale ou supérieur à celui à haute charge [60]. Il a donc une **action sur l'anabolisme** par augmentation des concentrations de l'hormone GH qui caractérise cette phase.

Il existe 3 types de fibres musculaires avec chacune des caractéristiques précises. La fibre recrutée varie en fonction de l'activité exercée. Nous allons donc voir quel type de fibre est mobilisée au cours d'une séance de renforcement avec BFR.

1.3.4. Recrutement musculaire et muscles concernés

Le renforcement musculaire privilégie le recrutement des **fibres rapides de types II** dont le pourcentage dépendra de la charge à déplacer. En effet, les fibres de type I consomment beaucoup d'énergie et seront peu recrutées par l'entraînement BFR (les différents types de fibres musculaires sont détaillés en annexe 1). De par le stress métabolique obtenu, lorsque l'échec musculaire est proche on peut dire que le recrutement des fibres II obtenu par l'intermédiaire d'un entraînement BFR avec faible intensité est augmenté de manière semblable à l'utilisation de charges à haute intensité[61]. Cette revue de littérature concernant le LCA, cette technique pourrait être intéressante pour le renforcement des quadriceps, des ischio-jambiers et aura donc une action distale.

On sait que l'entraînement au BFR avec charges à faible intensité concerne les muscles en contraction isotoniques distaux à l'occlusion. Cependant, il ne se limite pas aux cuisses et aux bras (premiers segments), il convient à tous les muscles en aval des sangles qui sont recrutés pendant l'exercice[62]. Plusieurs études ont été réalisées et ont prouvé que le BFR pouvait avoir une efficacité sur les pectoraux (pendant un exercice de développé couché)[63] ainsi que sur les muscles de la coiffe des rotateurs[64] ou bien même ceux de la hanche[62]. On peut supposer que les résultats se transmettent aux autres muscles en amont de l'occlusion et que tous les muscles (proximal ou distal) bénéficient du BFR [62] (Les études à ce sujet sont peu nombreuses et émergentes, il faut avoir un regard critique).

Il est important de savoir qu'il n'y a pas une unique méthode de réaliser cette technique de rééducation. En effet, le matériel utilisé peut varier en fonction des kinés, des moyens financiers du praticien ou de la structure. Il existe donc **plusieurs types de sangle** qui induisent cette occlusion veineuse. Ces sangles/bandes sont **toujours posées à la racine des membres** : au plus près des hanches pour le membre inférieur ainsi qu'au plus près du deltoïde pour le membre supérieur. On ne les place jamais en distal, car à cet endroit les nerfs sont plus superficiels et le risque de compression nerveuse est trop élevé.

1.3.5. Matériel utilisé

- **Sangle avec feedback de pression** : Elle détermine la pression d'occlusion (qui est visible avec cette technique) du membre en mmHG et donne par l'intermédiaire d'un écho-doppler un pourcentage de l'occlusion maximale. En général, de nos jours le BFR est appliqué à **80% de la LOP** (limb occlusion pressure, calculée par cette machine). Cette technique est très **précise et reproductible** sur tous les individus. Cependant cette technologie est très **couteuse** et donc difficilement accessible pour une personne lambda. La LOP est la **pression d'occlusion des membres** qui est patient dépendante, c'est à dire la pression à partir de laquelle on aura une interruption du flux sanguin dans une artère ou une veine donnée.



Figure 2 : Sangle avec feedback de pression

- **Sangle de compression** : Celles-ci sont moins onéreuses et donnent la possibilité d'utiliser le BFR en club, en salle ou dans un cabinet libéral **sans investissement**. Afin de mieux disperser la pression, d'empêcher des lésions nerveuses ou un éventuel blocage artériel complet, on préconise d'utiliser des bandes **entre 5 et 10cm de large**. Elle est accompagnée d'une **boucle de serrage** qui va être le témoin de la reproductibilité pour un même patient.



Figure 3 : Sangle de compression/Compression du membre inférieur

- **Bande de contention élastique de type biflex** : Elle n'est pas pourvue d'une boucle de serrage, il faut donc faire des tours autour des membres jusqu'à ce que la compression souhaitée soit atteinte. Les couches doivent-être superposées de manière à ne pas créer de spirale qui amplifierait trop la surface de compression. Cette technique est la **moins fiable** en ce qui concerne la reproductibilité entre les deux membres et les séances.[65]

Concernant la pression, on recommande qu'elle soit de **80% d'occlusion artérielle** concernant les **membres inférieurs** ainsi que de **50%** pour les **membres supérieurs**, elle est visible avec les bandes avec feedback de pression. Cependant pour les deux autres techniques, cette échelle est subjective et donc le serrage dépend des caractéristiques individuelles des membres du patient (forme, largeur, longueur, taille du membre). On considère qu'à partir du moment où le patient perçoit des picotements aux extrémités de ses membres, des engourdissements, ou une douleur, les sangles/bandes sont trop serrées. Ces symptômes peuvent traduire une compression nerveuse. Cependant, il ne faut pas confondre le sentiment de brûlure provenant du stress **métabolique** et ceux-ci.[66]

Bien qu'étant une méthode relativement sûre et efficace, cette technique de rééducation comme beaucoup d'autres présente des risques d'évènements indésirables. De plus, tous les patients ne sont pas éligibles à celle-ci. En effet, il existe des contre-indications que nous allons voir ci-dessous.

1.3.6. Contre-indications et risques dus au BFR

En raison de l'augmentation de la pression dans le système vasculaire périphérique, le BFR n'est pas autorisé à tous les patients. Nous retiendrons les contre-indications suivantes :

- **Troubles cardio-vasculaire, calcifications artérielles, Thrombose veineuse profonde.**
- **Varices, Hypertension, Diabète, Anémie, Grossesse, Anticoagulant, Drépanocytose.**

Il faut aussi surveiller les patients ayant la peau fragile, ils peuvent ne pas supporter la friction des sangles [67]. Bien qu'étant faible, cette technique présente de risques à ne pas négliger :

- **Risques de lésions nerveuses, veineuses et artérielles** [33]
- **Risque d'ischémie** : Un muscle peut se retrouver en hypoxie sévère à partir du moment où la compression dure plus de 30 min. [68]
- **Risque de lésion cutanée** : Certains patients avec la peau fragile peuvent ne pas supporter la friction des sangles. Il est donc préférable de mettre ces sangles sur des vêtements compressif de manière à empêcher d'éventuels cisaillements ou frottement qui pourraient être douloureux et entraîner des coupures. [36]
- **Risque de thrombose veineuse profonde (tvp)** : [69] [70]

Les réponses cardiovasculaires à un exercice vont dépendre du type de contraction musculaire et de l'intensité. Ces risques sont principalement dus à un irrespect des règles concernant le **placement** de la sangle, un mauvais **serrage** ou à un matériel qui n'est pas adapté. En effet, une pression trop forte, une **durée d'application** trop élevée ainsi qu'une **largeur du brassard** trop étroite sont souvent les causes de ces problèmes. Par exemple, en posant une sangle avec une largeur supérieure à 5cm, on diminue le risque de ces lésion car la pression est inversement proportionnelle à la largeur de la bande [33]. Tous ces paramètres sont patient dépendant (chacun a sa propre pression d'occlusion maximale), par conséquent il est nécessaire d'opter pour une approche individualisée pour les réglages de cette technique. C'est le principe des sangles avec feedback de pression (nouvelle génération) qui calculent la LOP propre à chaque individu.

L'entraînement avec BFR présente de multiples intérêts, aussi bien pour augmenter la **force** et le **volume musculaire** que dans la prise en charge de la **douleur** et peut donc être utilisé dans beaucoup de programme de rééducation notamment dans la rééducation du LCA après ligamentoplastie.

1.3.7. BFR et prise en charge

En rééducation, il arrive souvent que des patients ne soient pas capable de soulever une charge satisfaisante pour produire une adaptation musculaire pour cause de **douleur** ou parce que cette charge n'est pas recommandée. Or le renforcement musculaire est très important dans beaucoup de programme, c'est pourquoi dans ces cas-là l'entraînement avec BFR peut devenir un outil utile. Il permet d'allier **renforcement musculaire** et **diminution de la douleur**. [30]

Quasiment tous les **exercices** de renforcement peuvent-être réalisé avec BFR. Il faut cependant faire attention à ne pas donner d'exercices trop compliqués pour le patient car leurs réalisations risquent d'être entravées à cause du grand nombre de répétitions.

Concernant la **charge** on considère que c'est à **30% de la 1RM** qu'elle sera la plus efficace. En fonction des patients et de leur ressenti (s'ils arrivent ou pas à réaliser le nombre de répétitions qu'on leur demande) on autorise un intervalle de 20 à 40% de la 1RM

Dans la majorité des études il est proposé de faire **1 série de 30 répétitions** suivie de **3 séries de 15** avec **30 secondes de pause** entre chacune d'elles de manière à augmenter le stress métabolique. Cependant, en pratique, c'est différent. Le kiné demande au patient au moins 30 répétitions sur sa première série, 15 sur sa deuxième, et pour les deux dernières il doit aller à l'échec (jusqu'à ce qu'il ne puisse plus faire une répétition de plus) pour accroître l'activation des fibres de type II. [29]

Le BFR est intéressant pour des exercices mono-articulaires présentant de grosses contraintes sur l'articulation qui vont être difficiles à réaliser avec des charges lourdes (triceps extension pour membre sup et leg extension pour membre inférieur). Les exercices poly-articulaires ainsi que la majorité des rééducations orthopédiques et traumatiques peuvent bénéficier de cette technique. [29]

Après reconstruction du LCA le patient ressent des douleurs antérieures au niveau du genou, notamment au cours de la **première partie de la rééducation** (le genou doit être sec et indolore à J+45). Elles peuvent devenir un frein à cette rééducation, il est donc primordial de diminuer cette douleur. L'entraînement BFR combiné avec faible charge semble entraîner une réduction des douleurs articulaires du genou chez les personnes ayant subi une reconstruction du LCA ou souffrant d'arthrose du genou plus importante que lors de l'entraînement traditionnel [71]. Bien que n'étant pas le paramètre le plus étudié dans les études, il semblerait que le BFR **diminue les douleurs articulaires**, c'est pourquoi nous avons décidé d'étudier la douleur comme critère de jugement secondaire.

Le BFR est donc utile en kinésithérapie aussi bien qu'en entraînement sportif, pour tout type de patient et de population. Il permet des adaptations musculaires sans avoir besoin de charges lourdes tout en réduisant les dommages et les douleurs articulaires par rapport aux protocoles de renforcement classique. Les risques liés à cette technique sont faibles si le matériel et le serrage sont bons. Cependant, à l'heure actuelle, il n'y a pas de consensus quant à un protocole de rééducation avec BFR. En effet, nous allons voir par la suite, que les études divergent à ce propos et que les auteurs ne sont pas arrivés à un protocole défini, clair et concis.

1.4. Intérêt de cette revue de littérature

1.4.1. Intérêt pour le patient

La reconstruction du LCA demande une **rééducation longue** à raison de 2 à 3 séances de kinésithérapie par semaines pendant 6 à 9 mois. En effet, celle-ci est coûteuse en énergie et demande de la rigueur, de la détermination et de la patience aussi bien de la part du kiné que du patient. Après cette ligamentoplastie, le greffon est fragile et il ne faut pas trop le surcharger. Cependant, il est nécessaire qu'il reçoive des contraintes pour son développement, sa cicatrisation. En effet, après cette opération le patient perd considérablement en **force** et en **volume** (les déficits peuvent atteindre 30%). On sait que l'entraînement traditionnel avec charges élevées est recommandé pour augmenter la force et la masse des quadriceps. Cependant, après reconstruction du LCA, celui-ci peut avoir des effets néfastes sur les douleurs articulaires du genou et la laxité du greffon du LCA. Par conséquent, l'entraînement avec BFR utilisant des charges externes de 20 à 40 % de la 1RM peut être une alternative pour le patient car celui-ci semble avoir des résultats similaires en terme de force et de volume musculaire tout en réduisant les douleurs articulaires [72]. Par conséquent, cette revue traitant de l'intérêt thérapeutique de l'entraînement avec BFR après reconstruction du LCA a donc un intérêt pour le patient. En effet, cela pourrait permettre à celui-ci de **recupérer en force et en volume tout en diminuant les douleurs articulaires**.

1.5.2. Intérêt pour le praticien

La rupture du LCA fait partie des pathologies que le kinésithérapeute rencontre le plus souvent en traumatologie/orthopédie en cabinet libéral. Lors de cette rééducation, l'objectif du praticien est que le patient retrouve au plus vite les capacités antérieures de son quadriceps ainsi qu'une vie et des activités normales qu'il avait l'habitude de faire auparavant. Pour ce faire il soutient et motive le patient au cours de celle-ci. Par l'intermédiaire de cette technique, l'intérêt du praticien est une lutte face à la perte de force et de volume du patient tout en retirant la contrainte liée à la charge ce qui lui permet de reprendre confiance en soi. En effet, après l'opération de nombreux patients ont une perte de confiance en eux, notamment sur certains mouvements ou aux cours d'exercices, par peur de se faire mal, de rompre à nouveau le ligament ou de raviver la douleur. Il est donc important pour le praticien de trouver des solutions qui conviennent aux patients sur le plan psychologique tout en ayant les résultats escomptés. Par l'intermédiaire de cette technique de renforcement qu'est le BFR, le praticien maximise donc les chances de réussite de la rééducation de ses patients.

1.5. Hypothèse théorique/Objectif de la revue de littérature.

De nos jours, d'après les études récentes, l'entraînement BFR semble être le **compromis idéal** pour obtenir des résultats équivalents à l'entraînement traditionnel à fortes charges en termes de force et masse musculaire tout en diminuant les contraintes et les douleurs au genou. L'objectif de cette revue de littérature est de déterminer, à travers un compte rendu d'étude si l'entraînement avec restriction de flux sanguin peut avoir un intérêt en tant qu'**outil de réadaptation** après ligamentoplastie du LCA. Nous nous intéresserons donc à l'application de BFR lors de séance d'entraînement dans le but d'étudier si cette technique de renforcement est significativement aussi efficace que l'entraînement traditionnel en ce qui concerne la prise de masse et de force musculaire tout en diminuant les douleurs articulaires.

Dans un premier temps la méthode employée pour cette revue de littérature sera présentée. Ensuite, dans la partie résultat une analyse critique des résultats obtenus de chacune des études sera effectuée. Enfin la partie discussion permettra de commenter les résultats obtenus et de se projeter dessus.

PROBLÉMATIQUE : L'entraînement avec restriction de débit sanguin est-il efficace comme outil de réadaptation au cours d'une rééducation après ligamentoplastie du croisé antérieur du genou ?

2. Méthodologie

2.1. Critères d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1. Type d'étude

L'objectif de cette revue est de rechercher l'intérêt d'utiliser l'entraînement avec restriction de flux sanguin comme outil de réadaptation après ligamentoplastie du LCA. C'est une question d'ordre **thérapeutique**.

Cette revue étudie des essais cliniques randomisés (ECR) qui représentent le plus haut niveau de preuve. Ceux-ci sont composés d'au moins deux groupes dans lesquels les sujets sont répartis de façon aléatoire. Les populations sont choisies de sorte que les patients aient subi une reconstruction du LCA. La randomisation a pour but de limiter les biais de sélection et permettre une répartition homogène entre les groupes.

Ces études peuvent être :

- **Ouvertes** : Le patient sait dans quel groupe il est (il n'y a pas d'aveugle)
- **En simple aveugle** : Le patient n'a pas connaissance du traitement administré
- **En double aveugle** : Les patients ainsi que les praticiens n'ont pas connaissance de la nature du traitement.
- **En triple aveugle** : Les patients, les praticiens et les évaluateurs n'ont pas connaissance de la nature du traitement administré.

Plus il y a un grand nombre de personnes en aveugle, plus le risque de biais est faible.

Il existe expérimentalement deux façons de mener des ECR :

- **Groupes en parallèles** : Les participants sont assignés à un groupe de façon aléatoire, et chaque groupe reçoit un traitement (A ou B). A la fin de l'essai, l'examineur compare les résultats obtenus.
- **Groupes en cross-over** : Pour commencer, le groupe 1 reçoit le traitement A et le groupe 2 dans un même temps le traitement B. Ensuite, il y a la phase de lavage « wash out » qui correspond à une période sans traitement pour éviter que les traitements interfèrent entre-eux. En effet, par la suite, les deux groupes échangent leur traitement. L'examineur quant à lui examine à chaque phase les résultats inter et intra-groupe

Dans cette revue de littérature nous nous sommes concentrés sur le niveau de preuve de chaque étude. Les études de cas et la littérature grise ayant un faible niveau de preuve, par conséquent elles ont été exclues de l'analyse. La problématique a été effectuée selon le modèle PICO (population, intervention, comparateur, outcome).

2.1.2. Modèle PICO

Population	Hommes et femmes ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.
Intervention	L'intervention dans toutes les études consiste à appliquer le BFR sur la zone proximale de la cuisse tout en effectuant des exercices à charge élevée ou faible.
Comparateur	Le comparateur est la rééducation traditionnelle sans BFR qui correspond à un entraînement à base d'exercices avec des charges lourdes (70% de la RM).
Outcome (critères de jugement)	La force (critère de jugement principal) L'hypertrophie La douleur La qualité de vie/fonctionnalité

Figure 4 : Modèle PICO

Nous avons vu dans l'introduction que le BFR est avant tout une technique de renforcement musculaire. C'est pourquoi il nous a semblé judicieux de choisir **la force** comme critère de jugement principal, étant le plus adéquat pour juger les facultés de cette technique. Dans nos articles, celle-ci est évaluée de différentes manières :

- Par une **machine d'isocinétisme** qui évalue la force isocinétique des extenseurs (N.m)
- En mesurant la **contraction isométrique maximale** (MVIC)
- Par le **calcul de la 1RM** ou de la **10RM** sur une presse à jambe unilatérale

Nous avons noté précédemment que le BFR agit également sur la taille du muscle et que celle-ci est liée à sa force (article). Par conséquent, nous nous sommes intéressés à **l'hypertrophie musculaire** en tant que critère de jugement secondaire, qui sera évaluée de différentes façon :

- Mesure de **l'aire de la section musculaire transversale** (AST) par IRM
- **Volume** du muscle droit fémoral
- **Épaisseur** du vaste latéral par échographie (cm)

Bien qu'étant une technique de renforcement et non antalgique, nous avons décidé d'étudier la **douleur** en tant que critère de jugement secondaire. En effet, c'est un paramètre important en kinésithérapie car elle est fréquente et présente dès le début en post-opératoire et peut devenir gênante pour la rééducation. De plus, celle-ci peut apparaître au cours des séances de rééducations traditionnelles pendant des exercices de renforcement que le patient réalise, et peut perdurer. Dans notre étude les auteurs l'étudient de deux outils différents :

- **L'échelle numérique (EN)** : C'est une échelle qui comporte 11 niveaux de 0 (aucune douleur ressenti) à 10 (Douleur très forte, la plus forte possible). Le praticien donne une consigne au patient : « note ta douleur entre 0 et 10 » en lui expliquant à quoi correspondent le 0 et le 10.
- **Score KOOS** : Dans un des articles, la douleur a été évaluée à l'aide de l'échelle de douleur « Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score ». C'est une échelle qui comporte 101 niveaux de 0 (douleur extrême) à 100 (aucune douleur). Une augmentation de ce score de douleur indique une réduction de douleur. [73]

Dans la même optique que pour la douleur, nous avons décidé d'étudier également la **qualité de vie, fonctionnalité** des patients comme critère de jugement secondaire.

Celle-ci est évaluée à l'aide du formulaire subjectif du genou de l'**International Knee Documentation Committee (IKDC)**. Ce formulaire est composée de plusieurs sous-échelles. Celle correspondant à la fonctionnalité des membres inférieurs contient 20 questions sur la capacité d'un patient à effectuer des tâches quotidiennes. Chaque question est notée de 0 à 4 avec un score total maximum possible de 80 qui représente la plus grande fonction, ce score sera ensuite traduit en pourcentage. [73]

2.2. Méthodologie de recherche des études.

2.2.1. Sources documentaires.

Afin d'effectuer cette revue de littérature, des recherches sur des méta-moteurs ont été réalisées entre septembre et décembre pour trier les essais cliniques concordant à notre sujet et répondant le plus possible à nos critères d'exclusion et d'inclusion.

Ces sites utilisés sont :

- **Pubmed** : C'est une des plus grosses bases de données mondiale en ligne en termes de publications scientifiques (MEDLINE). Des revus de littérature, des ECR, des études cas/témoins, des études de cohorte y sont disponibles.
- **Cochrane Library** : C'est une bibliothèque qui contient plusieurs bases de données en santé et en médecine. On y retrouve des méta-analyses et des ECR de validité vérifiée. De plus, il y a aussi des essais en cours d'étude et cela nous informe aussi sur la date de leur publication.
- **PEDro** : C'est une base de données fondée sur les preuves.
- **KinéDoc** : C'est une base documentaire francophone qui est spécialisée dans le domaine de la kinésithérapie.

2.2.2. Équation de recherche.

La première étape pour réaliser une équation de recherche est de trouver des mots clés en anglais qui correspondent à notre sujet et leurs synonymes, on les appelle les « Mesh terms » (Medical Subject Heading).

Pour cela nous nous sommes aidés du site « HeTOP » pour chercher ces mots clefs en anglais. Ensuite pour affiner nos recherches, nous avons lu des articles ainsi que des revues de littérature afin de rechercher des synonymes utilisés. Un MeSH (mots sujets médicaux) est un vocabulaire de mots-clés permettant de décrire le contenu des articles de la base Medline. C'est pour cela qu'ils sont primordiaux dans nos recherches.

Patient ayant subi une ligamentoplastie du LCA	Entraînement avec restriction du flux sanguin	Rééducation conventionnelle
-Anterior cruciate ligament reconstruction -ACLR	- Blood flow restriction training -Blood flow restricted training -Occlusive training	-Traditional strenghtening -Traditional resistance -Traditional rehabilitation
-Anterior cruciate ligament surgery	-Vascular restriction training	

Tableau 5 : Mesh terms utilisés pour l'équation de recherche

L'équation de recherche doit être précise, par conséquent l'acronyme PICO est nécessaire. Elle se construit avec ces mots clefs et leurs synonymes en les combinant entre eux grâce aux opérateurs booléens « OR » « AND » et « NOT ».

L'équation de recherche finale à l'aide de ces opérateurs sur pubmed est :

(Anterior cruciate ligament reconstruction OR ACLR OR Anterior cruciate ligament surgery) AND (Blood flow restriction training OR Blood flow restricted training OR Occlusive training OR Vascular restriction rehabilitation AND (Traditional rehabilitation OR Traditional strengthening OR Traditional resistance)

2.3. Méthode d'extraction et d'analyse des données

2.3.1. Sélection des études

Après avoir réalisé l'équation de recherche, la sélection des études est faite en plusieurs étapes :

- Seules les études datant de moins de 10 ans seront sélectionnées.
- Les doublons seront supprimés.
- Lecture des titres et des études : Ils devront être pertinents avec le sujet recherché, tous les termes de la recherche doivent y être. On sélectionnera seulement les ECR. Cette étape permet d'éliminer les études qui ne coïncident pas avec cette revue.
- Lecture des abstracts : L'abstract contient le résumé, la méthode, l'objectif, le résultat et la conclusion de l'article. Elle évalue la pertinence des articles et permet d'exclure ceux qui ne correspondent pas à notre revue.
- Lecture intégrale des articles : C'est l'étape la plus longue, on utilise une grille de lecture critique pour évaluer la qualité méthodologique des études sélectionnées.

Critères d'inclusion	<ul style="list-style-type: none"> • Essais cliniques randomisés • Reconstruction du ligament croisé antérieur • Entraînement avec restriction de débit sanguin • Lésion isolée du LCA • Comparateur : rééducation classique à haute intensité.
Critères d'exclusion	<ul style="list-style-type: none"> • Antécédents cardiovasculaires • Antécédents neurologiques • Patients avec autre pathologie du genou que la reconstruction du LCA • ECR avec score PEDro <4 • Les études autres que les ECR • Les études qui n'utilisent pas le BFR • Les articles qui ne sont pas écrits en Français ou en Anglais

Tableau 6: Critères d'inclusion et d'exclusion

2.3.2. Extraction des données.

C'est une étape clef pour l'analyse de nos études. Par conséquent, de manière à être clair et concis, dans la partie résultat chacun des articles étudiés sera présenté sous forme de tableau qui reprendra les principales données :

- Le nom de l'article
- Le nom de l'auteur
- La date de publication
- La méthode (randomisation des groupes)
- Les participants (le nombre, les critères d'inclusion et d'exclusion, la moyenne d'âge)
- L'intervention
- Le comparateur
- Les critères de jugement

Enfin, à la suite, dans les parties résultats et discussion le **recueil** et l'**analyse des résultats** seront essentiels.

2.3.3. Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées.

Après avoir lu et sélectionner nos ECR, ils sont évalués méthodologiquement à l'aide de l'échelle PEDro (Annexe 1). Elle donne une note sur 10 selon 11 critères et repère les ECR avec une bonne **validité interne** (critères 2 à 9). De plus, avec ses critères 10 et 11 elle permet de savoir si les résultats des études peuvent être statistiquement interprétables (**validité interne de l'article**). Cette échelle permet également de détecter les différents biais d'une étude :

- Le critère 1 correspond à la **validité externe** (applicabilité du traitement) et n'est pas compté dans le calcul du score.
- Les critères 2, 3 et 4 définissent les **biais de sélection** (caractéristiques doivent être similaires, assignation et répartition des patients secrète)
- Les critères 5, 6 et 7 définissent les **biais de d'évaluation** (les différents acteurs de l'étude doivent être en aveugle)
- Le critères 8 définit les **biais de suivi**.
- Le critère 9 définit les **biais d'attrition** (mesure d'un critère de jugement doit être réalisé chez 85% des patients).

Si un critère est respecté, il est alors attribué un point. Finalement cela aboutira à une note sur 10 qui permettra d'évaluer la qualité méthodologique de l'article mais ne renseigne pas sur l'efficacité du traitement. Les biais seront plus approfondis dans la partie résultat.

2.3.4. Méthode de synthèse des résultats

C'est une synthèse analysée de manière qualitative et narrative dans laquelle les articles seront détaillés les uns à la suite des autres sous forme de tableau synthétique (annexe 3). Par la suite les résultats obtenus lors de l'analyse des données seront présentés sous forme de tableau synthétique et comparés entre eux.

3. Résultats

3.1. Description des études

3.1.1. Résultats de la recherche

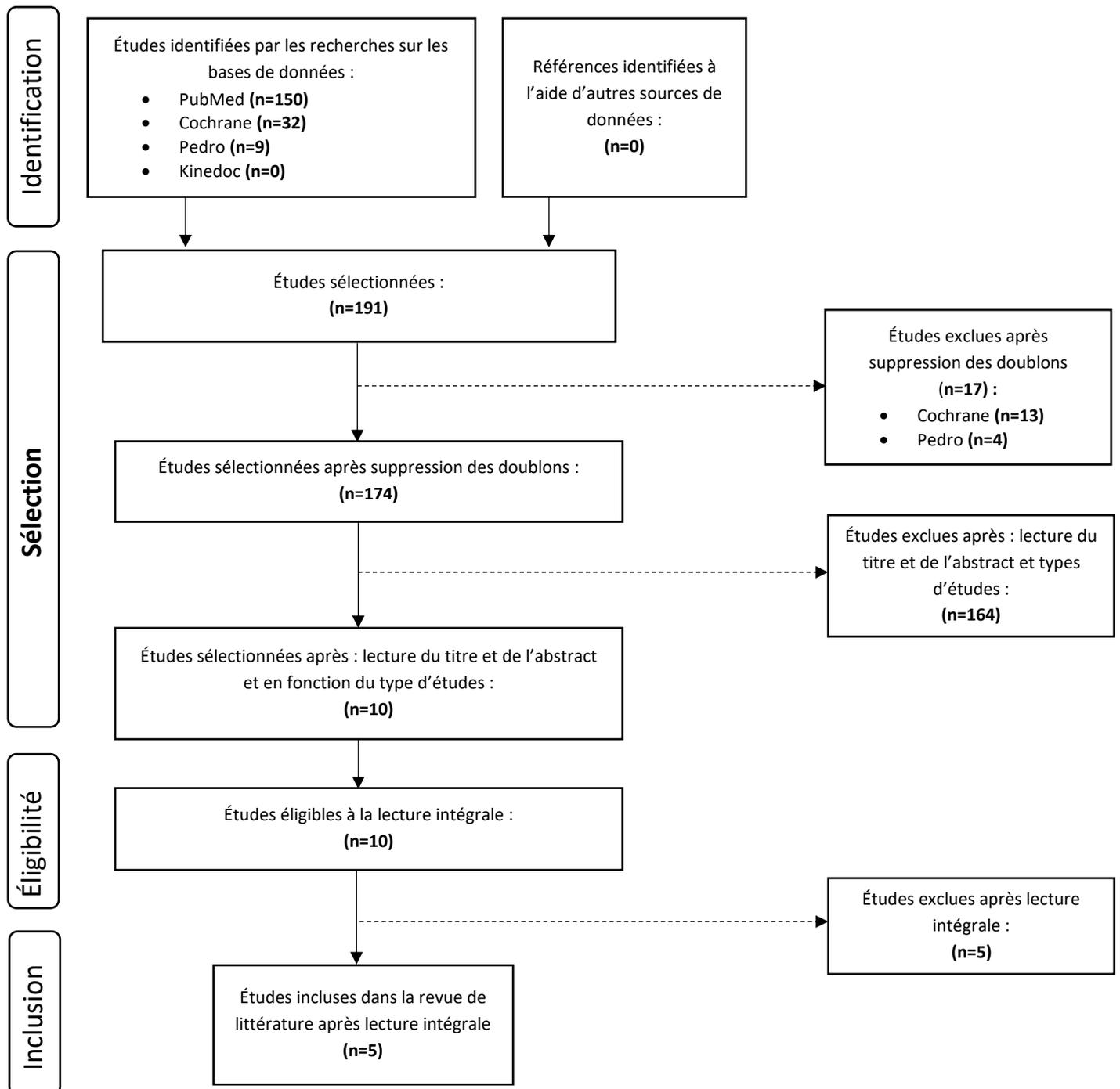


Figure 5 : Diagramme de flux

3.1.2. Études exclues

Études	Causes de l'exclusion
Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction.[74] Kilgas et al (2019)	Pas un ECR mais une étude de cohorte
Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction[75] Ohta et al (2003)	Étude antérieure à 2011 (publiée en 2003).
Short-Term Preconditioning With Blood Flow Restricted Exercise Preserves Quadriceps Muscle Endurance in Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[76] Zargi et al (2018)	Cette étude traite de l'endurance musculaire du quadriceps et non de nos critères de jugement. De plus elle n'est pas un ECR.
Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles[77] Takarada et al (2000)	Étude antérieure à 2011 (publiée en 2000).
Blood flow restriction therapy preserves whole limb bone and muscle following ACL reconstruction[78] Lambert et al (2019)	Pas d'accès à l'intégralité de l'article.

Tableau 7 : Motif d'exclusion des études

3.1.3. Études incluses

Les données importantes des études sont synthétisées dans le tableau ci-dessous. Elles sont également disponibles de manière plus détaillées en Annexe 3. Une étude a été réalisée aux **États-Unis** (**Curran et al, 2020**), une en **Norvège** (**Iversen et al, 2016**) et trois études sont menées au **Royaume-Unis** par le même auteur (**Luke Hughes**). Sur celles du **Royaume-Unis**, deux sont des rapports de la même étude décrivant différentes mesures de résultats, c'est pourquoi elles ont été incluses.

Auteur, Année, Type d'étude	Participants	Intervention	Comparateur	Critère de jugement
Iversen et al 2016 ECR [79]	24 adultes 18-40 ans Reconstruction du LCA par DIDT Blessure du LCA datant de moins de 6 mois avant l'opération	2 semaines, n=12 5 séries d'exercices de quadriceps (élévation de jambe) de 20 répétitions avec BFR <u>Pression du brassard</u> : 130mmHg le premier jour avec augmentation de 10 mmHg tous les deux jours <u>Largeur du brassard</u> : 14cm	2 semaines, n=12 Mêmes exercices que le groupe intervention, sans BFR	CSA (Cross-sectional area ou surface de section transversale musculaire) du quadriceps mesuré par IRM pour l'Atrophie
Curran et al 2020 ECR [80]	34 patients 14-30 ans Reconstruction du LCA avec divers types de greffe (DIDT, tendon rotulien, tendon quadriceps)	2 fois par semaine pendant 8 semaines à partir de 10 semaines post-opération Un groupe renforcement excentrique et BFR (n=9) Un groupe renforcement concentrique et BFR (n=9) 5 séries de 10 répétitions à 70% de la 1RM sur presse unilatérale (membre chirurgical) <u>Pression du brassard</u> : 80% LOP	2 fois par semaine pendant 8 semaines à partir de 10 semaines post-opération Un groupe renforcement excentrique sans BFR (n=8) Un groupe renforcement concentrique sans BFR (n=8) 5 séries de 10 répétitions à 70% de la 1RM sur presse unilatérale (membre opéré)	Critère de jugement principal : la Force

Hughes et al, (2019a) ECR [81]	28 patients Reconstruction du LCA par DIDT	2 fois par semaine pendant 8 semaines à partir d'un moi post-opératoire, n=14 Presse unilatérale avec BFR à 30% de la 1RM (4 séries de 30,15,15,15 répétitions) <u>Pression du brassard</u> : 80% LOP	2 fois par semaine pendant 8 semaines à partir d'un moi post-opératoire, n=14 Presse unilatérale sans BFR à 70% de la 1RM (3 séries de 10 répétitions)	Critère de jugement principal : la Force Critères de jugement secondaire : -l'Hypertrophie -Douleur articulaire du genou
Hughes et al, 2018 ECR [82]	30 patients 23-39 ans	Séance unique (23 jours post-opératoire en moyenne) n= 10 Presse unilatérale avec BFR à 30% de la 1RM (4 séries de 30,15,15,15 répétitions) <u>Pression du brassard</u> : 80% LOP <u>Largeur du brassard</u> : 11,5 cm	Séance unique (23 jours post-opératoire en moyenne) Presse unilatérale sans BFR à 70% de la 1RM (3 séries de 10 répétitions) Groupe témoin 1 (NI-BFR) n=10 Groupe témoin, 2 (ACLR-HL) n=10	Douleur articulaire au genou
Hughes et al, (2019b) ECR [83]	28 patients Reconstruction du LCA par DIDT	2 fois par semaines pendant 8 semaines à partir du moment où ils remplissent les conditions nécessaire (détaillées en annexe), n=14 Presse unilatérale avec BFR à 30% de la 1RM (4 séries de 30,15,15,15 répétitions) <u>Pression du brassard</u> : 80% LOP <u>Largeur du brassard</u> : 11,5 cm	2 fois par semaines pendant 8 semaines à partir du moment où ils remplissent les conditions nécessaire (détaillées en annexe), n=14 Presse unilatérale sans BFR à 70% de la 1RM (3 séries de 10 répétitions)	Douleur articulaire au genou

Tableau 8 : Synthèse des études incluses

3.2. Risques de biais des études incluses

3.2.1. Grille d'analyse utilisée

L'échelle PEDro a été utilisée pour évaluer la qualité méthodologique des ECR sélectionnés. Elle est composée de plusieurs critères et permet d'accorder à chaque étude une note sur 10 :

- **Critère 1** : Celui-ci ne compte pas dans le score PEDro, il renseigne sur la validité externe de l'étude (critère d'éligibilité), sur les connaissances ainsi que sur la cohérence avec les autres ECR sortis sur le sujet.
- **Critères 2 à 9** : Ils informent sur la validité interne de l'étude et révèlent les biais présents. Ils sont dépendants de la qualité méthodologique des études.
- **Critères 10 et 11** : Ceux-ci renseignent sur la pertinence clinique et sur les résultats statistiques de l'étude.

3.2.2. Synthèse des biais retrouvés.

Le tableau ci-dessous nous informe sur le score PEDro et les biais retrouvés dans chacun des articles de cette revue de littérature. Le signe ✓ indique que l'item est positif, les cases vides, au contraire désignent qu'il est négatif. Au plus le score est élevé, au plus la qualité méthodologique de l'article est fiable, avec peu de biais.

Étude	Items											Score total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>Iversen et al, 2016</i>		✓		✓			✓	✓		✓	✓	6/10
<i>Curran et al, 2020</i>	✓	✓	✓	✓				✓		✓	✓	6/10
<i>Hugues et al, 2019a</i>		✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓	7/10
<i>Hugues et al, 2018</i>	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓	7/10
<i>Hugues et al, 2019b</i>		✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓	7/10

Tableau 9 : Score PEDro des études incluses

Les biais diminuent la fiabilité des articles. En ce qui concerne les études thérapeutiques, il existe plusieurs types de biais rattachés aux items (lorsqu'ils sont négatifs) de l'échelle PEDro :

- **Biais de sélection** : Il correspond au non-respect des **items 2** : randomisation des participants dans les groupes, **item 3** : l'assignation à un groupe est dissimulée et l'**item 4** : les groupes sont similaires en début d'étude. Dans cette revue de littérature, on retrouve ce biais dans une seule étude ne respectant pas l'item 3 : celle de *Iversen et al, 2016*.

- Biais de performance : Il correspond au fait que les sujets (**item 5**) et thérapeutes (**item 6**) ne soient pas en aveugle. Tous les articles de cette revue présentent ce biais.
- Biais de détection : Lorsque l'examineur n'est pas aveuglé (**item 7**). Seul l'article de *Curran et al, 2020* présente ce biais.
- Biais de suivi : Lorsque l'**item 8** est négatif. Aucune étude ne présente ce biais.
- Biais d'attrition : Il correspond à une absence d'analyse selon l'intention de traiter (**item 9**). Ce biais a été retrouvé dans tous les articles étudiés.
- Biais d'évaluation ou de mesure : Lorsque les résultats des comparaisons statistiques intergroupes ne sont pas fournis (**item 10**) et/ou ne décrivent pas une estimation de l'effet (**item 11**). Ces deux items, lorsqu'ils sont positifs concèdent une bonne interprétation des résultats. Ici, aucune étude ne présente ce biais.

	Sélection	Performance	Détection	Suivi	Attrition	Évaluation
<i>Iversen et al, 2016</i>	✓	✓			✓	
<i>Curran et al, 2020</i>		✓	✓		✓	
<i>Hughes et al, (2019a)</i>		✓			✓	
<i>Hughes et al, 2018</i>		✓			✓	
<i>Hughes et al, (2019b)</i>		✓			✓	

Tableau 10 : Tableau récapitulatif des biais retrouvés dans l'étude

✓ : Biais positif dans l'article

Les scores des articles de cette revue de littérature sont tous entre 6/10 et 7/10. Il est important de noter que tous présentent un biais de performance et d'attrition. En effet, dans ce type d'étude le double aveugle est difficilement applicable, les sujets ayant connaissance de leur méthode de traitement. Cependant, les items 10 et 11 concernant l'interprétabilité des résultats étant respectée dans toutes ces études, on peut considérer que celles-ci sont fiables.

3.3. Effets de l'intervention

3.3.1 Synthèse des résultats

Les résultats des différentes études sont synthétisés de manière individuelle dans le tableau qui suit. Dans la partie suivante, nous aurons une vision plus globale dans laquelle nous les joindrons à leurs critères de jugements respectifs.

Auteurs, année	Critères de jugements		Taille d'effet intergroupe et intervalle de confiance à 95% (IC 95%)	Significativité statistique « p »
Iversen et al 2016	CSA du quadriceps (cm2)	Pré-intervention à post-intervention	-0,7 [-1,59 ; -0,19]	P=0,62
Curran et al 2020	Force musculaire	Force isocinétique des extenseurs (60°/s) : -Pré-opération à post-intervention -Pré-opération à RTA	0,09 [-0,58 ; 0,77] 0,26 [-0,43 ; 0,93]	P=0,49 P=0,22
		Contraction isométrique maximale (MVIC) : - Pré-opération à post-intervention - Pré-opération à RTA	-0,13 [-0,80 ; 0,55] 0,01 [-0,66 ; 0,68]	P=0,88 P=0,71
		Presse à jambe 1RM -Pré-intervention à Post-intervention	-0,34 [-1,11 ; 0,43]	P=0,24
	Volume, hypertrophie	-Pré-opération à post-intervention -Pré-opération à RTA	0,33 [-0,36 ; 1,00] 0,06 [-0,61 ; 0,74]	P=0,4 P=0,92
	Résultats fonctionnels (IKDC)	-Pré-opération à post-intervention -Pré-intervention à post-intervention	3,99 [-3,78 ; 11,76] 6,06 [-5,78 ; 17,90]	P=0,23 P=0,6
	Hughes et al, (2019 a)	Force musculaire (Pré-opératoire à Post-intervention)	Force isocinétique des extenseurs : -60°/s -150°/s -300°/s	-0,2 [-0,61 ; 0,21] -0,17 [-0,38 ; 0,04] -0,15 [-0,30 ; 0,00]
Échelle 10RM			Les données ne sont pas disponibles.	P>0,05

	Volume, Hypertrophie	Épaisseur (cm) -Pré-opératoire à Post-intervention	0,02 [-0,02 ; 0,06]	P=0,23
	Douleur articulaire (Score KOOS)	-Pré-opératoire à Post-intervention	-17,75 [-26,08 ; -9,42]	P<0,05
	Résultats fonctionnels (IKDC)	- Pré-opératoire à Post-intervention	-12,3 [-17,54 ; -7,06]	P<0,01
Hughes et al, 2018	Douleur articulaire au genou	Plus faible dans le groupe ACLR-BFR par rapport au groupe ACLR-HL (pendant et 24h après l'exercice)	1,3 [0,750 ; 1,890]	P<0,01
Hughes et al, (2019 b)	Douleur articulaire au genou	-Pendant la séance	2,5 [2,2 ; 2,8]	P<0,05
		-24h après la séance	3,1 [2,9 ; 3,3]	P<0,01

Tableau 11 : Synthèse des résultats

CSA : Cross sectional area

ACLR-BFR : Patient avec reconstruction du LCA et traitement BFR

ACLR-HL : Patient avec reconstruction du LCA et traitement traditionnel à haute intensité

NI-BFR : Patient avec genou sain et traitement BFR

RTA : Retour à l'activité sportive

Score IKDC : International knee documentation committee (Évaluation subjective du genou)

Score KOOS : Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (Evaluation subjective de la douleur au genou)

3.3.2 Effet de l'intervention sur les critères de jugement.

3.3.2.1 Critère de jugement principal : La force.

On remarque qu'il existe plusieurs techniques pour évaluer la force. Celles-ci peuvent varier d'une étude à l'autre ou également au sein d'un même article :

- Mesure de la force globale du membre inférieur réalisée à l'aide d'une **machine à presse (échelle 10RM, 1RM)**
- Mesure caractéristique de la force du quadriceps réalisée par une **contraction isométrique maximale (MVIC)** ou **isocinétique** (machine d'extension simple, appareil d'isocinétisme)

Sur nos 5 études, nous en avons 2 qui étudient ce critère de jugements : celle de **Curran et al, 2020** et celle de **Hughes et al, (2019 a)**.

Curran et al, 2020

Le but de cette étude est d'évaluer l'efficacité du **BFR avec un exercice de haute intensité** en comparaison à des exercices à haute intensité sans BFR sur la récupération de la fonction musculaire du quadriceps chez les patients subissant une ligamentoplastie du LCA. Pour ce faire, les auteurs ont évalué la **force isocinétique** des muscles extenseurs, la **force isométrique** et la **modification de la 1RM** sur la presse à jambe :

- **Préopératoire à post intervention** : Aucune différence significative intergroupe ni dans la force isocinétique maximale (**p=0,49**), ni dans la *force isométrique* (**p=0,88**).
- Préopératoire à RTA** : Aucune différence significative intergroupe ni dans la force isocinétique maximale (**p=0,22**), ni dans la force isométrique (**p=0,71**).
- Pré intervention à post intervention** : Il n'y avait pas non plus de différence significative intergroupe concernant les groupes de presses à jambe 1RM (**p=0,24**).

Dans cet article, le BFR associé à des exercices de haute intensité n'est pas plus efficace qu'un entraînement classique à haute intensité sans BFR pour améliorer la force musculaire.

Hughes et al, (2019 a)

L'objectif de cette étude est de comparer l'efficacité du **BFR avec exercice de faible intensité** et de l'entraînement de résistance à charge lourde (HL-RT) traditionnel pour améliorer la **force**, **l'hypertrophie** des muscles, ainsi que la **douleur** chez des patients après reconstruction du LCA. Concernant la force musculaire, les auteurs ont évalué la force isocinétique des muscles extenseurs ainsi que la modification de la 10RM sur la presse à jambe. La **force à l'échelle 10RM** a augmenté de manière significative ($p < 0,05$) des deux côtés (de $104 \pm 30\%$ avec BFR-RT et de $106 \pm 43\%$ avec HL-RT) **sans différence de groupe**. La **force isocinétique** a été calculée à trois vitesses angulaires différentes :

- **60°/s** : A cette vitesse, nous ne pouvons pas conclure de l'effet du traitement sur cette force car il n'est pas statistiquement significatif (**p =0,20**).

- **150°/s** : On remarque une diminution significativement plus importante (**p<0,05**) de la perte de couple maximale des extenseurs de genou dans le groupe BFR-RT par rapport au groupe HL-RT avec une taille d'effet de **-0,17 IC 95% [-0,38 ; 0,04]**.
- **300°/s** : De même, il y a diminution significativement plus importante (**p<0,05**) de la perte de couple maximale des extenseurs de genou dans le groupe BFR-RT par rapport au groupe HL-RT avec une taille d'effet de **-0,15 IC 95% [-0,30 ; 0,00]**.

Dans cet article, l'entraînement BFR-RT est probablement aussi efficace que l'entraînement HL-RT concernant l'augmentation de la force 10RM. De plus, à **150 et 300°/s** BFR-RT semble avoir plus d'effet sur la force isocinétique du quadriceps que HL-RT.

3.3.2.2 Critère de jugement secondaire : L'hypertrophie.

Curran et al, 2020

Les auteurs ont évalué le **volume du muscle droit fémoral** à différents intervalles :

- **Préopératoire à post intervention** : On note une petite taille d'effet de **-0,33 IC 95% [-0,36 ; 1,00]**. Cependant, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes (**p=0,4**).
- **Préopératoire à RTA** : De même, malgré une petite taille d'effet de **0,06 IC 95% [-0,61 ; 0,74]**, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les groupes (**p=0,92**) qui pourrait prouver un effet du traitement sur le volume musculaire du droit fémoral.

Dans cet article, on ne peut donc pas dire si l'entraînement BFR avec haute intensité est aussi efficace que celui à haute intensité sans BFR en termes de volume musculaire.

Iversen et al, 2016

L'objectif de cette étude est d'étudier l'effet du BFR sur l'**atrophie du quadriceps** après reconstruction du LCA. Pour ce faire, les auteurs ont étudié la surface de **section transversale musculaire du quadriceps (CSA) par IRM**. Ils ont observé qu'à partir de deux jours avant la chirurgie jusqu'à 16 jours après, les deux groupes avaient une réduction significative du CSA du quadriceps. En effet, le groupe BFR a perdu **13,8 %±1,1 %** (moyenne ± écart type) de sa CSA (**p<0,0001**) tandis que le groupe témoin a perdu **13,1 %±1,0 %** (**p<0,0001**). Cependant, il n'y a **pas de différence intergroupe** statistiquement significative (**p=0,62**).

Hughes et al, (2019 a)

Les auteurs ont évalué l'**épaisseur musculaire (cm) du quadriceps** à l'aide d'un échographe. Au cours des 8 semaines d'entraînement, les deux groupes ont respectivement eu des augmentations significatives (**p<0,05**) de l'épaisseur musculaire : **5,8 ± 0,2 %** pour le groupe BFR-RT avec et **6,7 % ± 0,3 %** pour HL-RT. Cependant, malgré des augmentations intragroupes significatives, il n'y a **pas de différence intergroupe statistiquement significative** (**p=0,33**).

3.3.2.3 Critère de jugement secondaire : La douleur.

Hughes et al, 2018

Dans cette étude, les auteurs ont évalué les douleurs articulaires au genou **pendant** la séance d'entraînement et **24h après** à l'aide de l'échelle numérique de la douleur. On constate une **diminution statistiquement significative (p<0,01) de la douleur articulaire** au genou dans le groupe ACLR-BFR par rapport au groupe ACLR-HL (taille d'effet : **1,3** avec **IC 95% [0,750 ; 1,890]**).

Hughes et al, (2019 b)

Dans cette étude, la douleur articulaire au genou a été évaluée de la même façon que dans l'étude précédente. On note également ici une **diminution statistiquement significative de la douleur articulaire** au genou dans le groupe ACLR-BFR par rapport au groupe ACLR-HL :

- **Pendant la séance** : On note une taille d'effet de **2,5** avec **IC 95% [2,2 ; 2,8]**, p<0,05
- **24h après la séance** : Il y a une taille d'effet de **3,1** avec **IC 95% [2,9 ; 3,3]**, p<0,01

Hughes et al, (2019 a)

Dans cette étude, la douleur a été évalué à l'aide du **score KOOS-douleur** (plus le score est bas plus la douleur est élevée). Après 8 semaines d'entraînement, il y a eu une augmentation significativement plus importante (p<0,05) de ce score dans le groupe BFR (**67 ± 10%**) que dans le groupe HL-RT (**39 ± 14%**). De plus, on a donc une **différence intergroupe statistiquement significative** (p<0,05) avec une taille d'effet de **-17,75** avec **IC 95% [-26,08 ; -9,42]**.

3.3.2.4 Critère de jugement secondaire : résultats fonctionnels, qualité de vie.

Curran et al, 2020

Les auteurs ont évalué ces résultats fonctionnels à l'aide du score IKDC. Ce score est subjectif et permet d'évaluer l'opinion d'un patient sur son genou et les problèmes associés (sous-échelles associés pour la fonction dans les activités de la vie quotidienne, la qualité de vie lié au genou). L'étude montre une amélioration au sein du groupe BFR et témoin en intragroupe, cependant elle n'est **pas significative entre les deux groupes (p<0,05)** :

- **Préopératoire à post intervention** : Dans le groupe BFR on a une augmentation moyenne du score de **11,83 ± 16,67**, contre une augmentation moyenne de **17,89 ± 17,20** dans le groupe témoins. Cependant, il n'y a pas de différence intergroupe statistiquement significative (p>0,05).
- **Pré intervention à post intervention** : Les moyennes du score ont augmenté respectivement de **16,49 ± 9,97** et **20,48 ± 12,27** dans les groupes BFR et témoins. De même, il n'y a pas de différence intergroupe statistiquement significative (p>0,05).

Hughes et al, 2019

Dans cet article, le score IKDC a aussi été étudié. Au cours des 8 semaines d'entraînement, il y a eu des augmentations significativement plus importantes de ce score avec le groupe BFR-RT par rapport au groupe HL-RT (augmentation moyenne de **35,63 ± 7,06** dans le groupe BFR-RT contre **23,33 ± 8,76** pour HL-RT). En effet, on a une **différence intergroupe statistiquement significative** ($p < 0,01$) avec une taille d'effet de **-12,3** avec **IC 95% [-18,48 ; -6,12]**.

Dans cette étude l'entraînement BFR-RT pourrait être plus efficace que le HL-RT pour augmenter les résultats fonctionnels et la qualité de vie des patients.

4. Discussion

4.1. Analyse des principaux résultats.

L'objectif de cette revue systématique était d'examiner à l'aide de la littérature actuelle l'intérêt du BFR comme outil de réadaptation après ligamentoplastie du ligament croisé antérieur (LCA). On a cherché à montrer l'efficacité de cet outil sur les paramètres suivants : La **force**, l'**hypertrophie**, la **douleur** et les **résultats fonctionnels** (qualité de vie).

Nous avons transcrit et décomposé les résultats statistiques des études incluses dans le but d'émettre des suppositions sur l'action du traitement sur la population. Les différences inter et intra groupes ne doivent pas être le fruit du hasard pour que le résultat soit interprétable. En effet, pour qu'un résultat soit **statistiquement significatif**, le risque dû au hasard (risque alpha, risque de première espèce) doit être inférieur à 5% ($p < 0,05$). Pour chaque étude et pour chaque critère de jugement, dans le but de juger et évaluer la recherche nous allons prendre en compte :

La **validité interne** : C'est une mesure qui garantit que l'expérience du chercheur suit le principe de cause à effet. Elle s'assure que c'est uniquement la variable indépendante qui cause les changements de la variable dépendante. Elle est évaluée grâce à l'échelle PEDro.

La **validité externe** : Elle révèle que le résultat est en harmonie avec les autres résultats et sur sa cohérence avec la littérature actuelle.

La **pertinence clinique** : C'est la valeur médicale du résultat. Quand celui-ci est pertinent, alors on peut dire que le profit du traitement a un sens thérapeutique et qu'il devient un bénéfice pour le patient. Pour interpréter les résultats, il ne faut pas se baser uniquement sur la significativité statistique des tests. En effet, si on ne veut pas perdre de vue la significativité scientifique d'un résultat, il est important de calculer la taille d'effet qui permet d'apprécier l'effet observé. La **MCID** d'une mesure (**différence minimale cliniquement importante**) est également importante dans l'évaluation de la pertinence clinique et les résultats obtenus devront être comparés à celle-ci quand elle existe. La MCID représente le plus petit changement dans un résultat de traitement qu'un patient identifierait comme important et qui indiquerait un changement dans la prise en charge du patient. [84]

Les deux éléments associés qui constituent la pertinence clinique sont :

- La **taille de l'effet** : Elle correspond à la différence entre l'hypothèse nulle et l'hypothèse de recherche et arbitre l'efficacité du traitement dans la population donnée.
- L'**applicabilité en pratique**, qui a un lien direct avec la taille de l'effet.

Par conséquent, pour chacun des critères de jugement qui ont une différence intergroupe statistiquement significative il est primordial d'analyser la **validité interne** ainsi que la **pertinence clinique** pour savoir s'il est possible de les utiliser sur une plus grande population. Les études informent leurs résultats sous forme de **moyenne** et **écart type** montrant une **comparaison intergroupe**. Avec ces données il nous a été possible de calculer la taille de l'effet et son intervalle de confiance à 95% à l'aide d'un fichier Excel quand ils n'étaient pas donnés explicitement.

4.1.1. La force musculaire

La force musculaire est le **critère de jugement principal** de cette revue. Celui-ci est étudié dans deux des cinq ECR présentés. Il existe plusieurs techniques pour évaluer la force, et les résultats sont différents en fonction des articles.

L'étude de **Hughes et al** (2019 a) semble révéler que le BFR en tant que technique de renforcement permet de retourner plus rapidement à des capacités musculaires préopératoires. Cette étude est jugée de « haute qualité » par sa validité interne qui a un score de **7/10** selon l'échelle PEDro. Cependant, elle présente plusieurs biais :

- Un **biais de performance** : Les critères 5 et 6 n'ont pas été respectés Ni les sujets ni les thérapeutes étaient en aveugle, cet article est en simple aveugle.
- Un **biais d'attrition** : Le critère 9 n'est pas respecté. En effet, il y a 4 patients perdus de vue pendant l'étude pour lesquels ils manquent les mesures de performances. Ce manque de données pourrait biaiser les résultats.

Après ligamentoplastie du LCA, les patients perdent en force musculaire et en volume notamment au niveau des extenseurs de genou, le but est de limiter au maximum cette perte de force. En ce qui concerne la taille de l'effet pour la force isocinétique, l'atténuation de la perte de couple maximale des extenseurs du genou est **en faveur du groupe d'intervention** :

- Taille d'effet intergroupe à 150° /s : **-0,17**
- Taille d'effet intergroupe à 300° /s : **-0,15**

Nous n'avons pas la taille d'effet concernant la force à **l'échelle 10RM**, cependant nous savons que celle-ci a augmenté de manière significative dans les deux groupes **sans différence intergroupe**.

Les intervalles de confiance à 95% correspondant à ces valeurs sont : **[-0,38 ; 0,04]** à 150°/s et **[-0,30 ; 0,00]** à 300°/s. d'après ces bornes, l'effet peut être nul à 300°/s (0,0) et même être plus intéressant dans le groupe contrôle (borne positive 0,04) à 150°/s. L'efficacité est donc difficile à estimer et Il se pourrait qu'en appliquant ce traitement à un échantillon plus grand, le groupe BFR-RT ne présente pas de meilleurs résultats que le groupe contrôle ou que celui ait de meilleurs résultats. On ne peut donc pas affirmer que la différence intergroupe est statistiquement ou cliniquement pertinente.

L'étude de **curran et al** (2020) obtient une note de **6/10** à l'échelle PEDro et présente plusieurs biais que l'on doit prendre en compte dans l'interprétation des résultats :

- Un **biais de performance** : Les critères 5 et 6 n'ont pas été respectés Ni les sujets ni les thérapeutes étaient en aveugle.
- Un **biais de Détection** : Le critère 7 n'a pas été respecté, dans cette étude personne n'était donc aveuglé.
- Un **biais d'attrition** : Il y a eu un perdu de vue pour un patient qui a refusé de subir un test d'activation musculaire en raison de l'inconfort lié à la procédure, il nous manque donc des mesures de performance et le critère 9 n'a pas été respecté.

Concernant les tailles d'effet, on remarque une augmentation de **2,44 kg** de la **1RM** dans le groupe BFR contre 2,10 dans le groupe contrôle. Concernant la **force isocinétique** des extenseurs, de la pré-chirurgie à la post intervention il y a une diminution de la force de **-12,4 N.m** dans le groupe BFR contre -15,0 dans le groupe contrôle. Enfin, quant à la **force isométrique maximale**, entre la pré-chirurgie et post-intervention, on remarque une diminution de la force de **-16,3 N.m** pour le groupe intervention contre -11,8 pour le groupe contrôle.

Cependant, les auteurs ne trouvent **aucune différence statistiquement significative intergroupe** pour la force musculaire, peu importe la technique utilisée et l'intervalle évalué (on a toujours $p > 0,05$).

Bilan des deux études :

Ces articles étudiés obtiennent des résultats différents. En effet, **hughes et al (2019 a)** ont montré une amélioration significative de la force dans le groupe BFR et évoquent même une efficacité supérieure du BFR par rapport à l'entraînement HL-BFR sous certaines conditions (150 et 300°/s) concernant la force isocinétique. Dans l'étude de **Curran et al (2020)** le BFR avec exercice de haute intensité n'a pas augmenté de manière significative la force. Cependant, les patients de ces études n'avaient **pas la même charge de travail** ce qui peut représenter un biais. En effet, dans celle de **Curran et al (2020)**, la charge était à 70% de la 1RM pour le groupe intervention tandis que dans celle de **Hughes et al (2019)** elle était à 30% de la 1RM. On ne peut donc pas réellement comparer ces deux études ayant des **protocoles de rééducation différents**. Enfin, le **nombre de patients** étant **faible** et le fait qu'on ne puisse pas être certain que les résultats sont transposables à une population plus large à la suite du calcul de la taille d'effet et son IC95% rajoute un biais. Par conséquent, on ne peut pas affirmer que l'entraînement avec BFR soit aussi efficace que l'entraînement traditionnel pour augmenter la force musculaire.

4.1.2. Hypertrophie musculaire

L'hypertrophie fait partie de nos critères de jugement secondaires. Il est étudié dans trois des cinq ECR présentés. Les techniques utilisées pour l'évaluer sont différentes en fonction des articles.

Dans l'étude de **curran et al (2020)** entre la pré-intervention et la post-intervention il y a une augmentation du volume de 2,27 cm³ dans le groupe témoin contre 2,44 cm³ dans le groupe BFR. Cependant, les auteurs ne trouvent **pas de différence intergroupe statistiquement significative** concernant le volume musculaire ($p > 0,05$). On ne peut donc pas conclure à un changement cliniquement pertinent entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Les résultats ne peuvent pas être transcrits à une population plus large.

Ainsi dans cet article, les résultats ne sont pas probants, l'entraînement BFR ne semble pas avoir d'intérêt par rapport à l'entraînement traditionnel sur le volume musculaire.

L'étude de **Iversen et al** (2019) obtient une note de **6/10** à l'échelle PEDro et présente plusieurs biais que l'on doit prendre en compte dans l'interprétation des résultats :

- Un **biais de sélection** : non-respect de l'item 3, l'assignation à un groupe n'a pas été dissimulé.
- Un **biais de performance** : non-respect des item 5 et 6, les sujets ainsi que les thérapeutes n'étaient pas aveuglés.
- Un **biais d'attrition** : non-respect de l'item 9.

Entre la pré-opération et la post-intervention il y a une diminution de la surface de section transversale de $-13,8\text{cm}^2$ dans le groupe BFR contre $-13,1\text{cm}^2$ dans le groupe contrôle. Cependant, les auteurs ne trouvent **pas de différence intergroupe statistiquement significative** concernant l'atrophie musculaire ($p>0,05$). On ne peut donc pas conclure à un changement cliniquement pertinent entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Les résultats ne peuvent pas être transcrits à une population plus large. Dans cet article, les résultats ne sont pas en faveur de l'utilisation du BFR pour réduire l'atrophie.

Dans l'étude de **Hughes et al** (2019a) entre la pré-intervention et la post-intervention on note une augmentation de $0,10\pm 0,04$ cm dans le groupe BFR-RT contre $0,12\pm 0,06$ dans le groupe control. Cependant, n'ayant **pas de différence intergroupe statistiquement significative**, on ne peut pas conclure à un changement cliniquement pertinent entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Les résultats ne peuvent pas être transcrits à une population plus large, on ne peut pas justifier que l'entraînement BFR soit préférable au traditionnel pour augmenter l'épaisseur musculaire

Bilan des trois études :

Ces trois articles étudiés utilisent des **techniques différentes** pour évaluer l'hypertrophie musculaire (ceci peut être un biais). Ils arrivent globalement à la même conclusion : le BFR peut faire augmenter l'hypertrophie en intra groupe mais il n'y a pas de différences inter groupe. Cependant, selon **Hughes et al** (2019) bien que n'ayant pas de différence de groupe les augmentations étaient quand même **comparables** dans les deux groupes, il se pourrait donc que l'entraînement BFR ait les mêmes résultats que l'entraînement traditionnel dans cet article. Par ailleurs, les patients de ces études n'avaient **pas la même charge de travail** ce qui peut représenter un biais. En effet, dans celle de **Curran et al** (2020), la charge était à 70% de la 1RM pour le groupe intervention, dans celle de **Hughes et al** (2019) elle était à 30% de la 1RM tandis que dans celle de **Iversen et al** (2016), les patients effectuaient des élévations de jambes sans poids. De plus, les **durées d'intervention n'étaient pas les mêmes** (16 jours pour **Iversen et al** contre 8 semaines dans les deux autres), ce qui rajoute un biais de plus. Enfin, le nombre de patients étant faible et le fait qu'on ne puisse pas être certain que les résultats sont transposables à une population plus large rajoute un biais. Par conséquent, on ne peut pas affirmer que l'entraînement avec BFR soit aussi efficace que l'entraînement traditionnel pour augmenter l'hypertrophie musculaire.

4.1.3. La douleur

La douleur articulaire du genou fait partie de nos critères de jugement secondaires. Elle est étudiée dans trois des cinq ECR présentés. La **MCID** correspond à une **diminution de 2 points** sur l'EN selon *Ferraz et al* [85] et à une augmentation de **6 points** du score « **KOOS-knee injuries** »[73]

L'étude de *Hughes et al (2018)* est jugée de « haute qualité » par sa validité interne qui a un score de 7/10 selon l'échelle PEDro. Cependant, elle présente plusieurs biais :

- Un **biais de performance** : Les critères 5 et 6 n'ont pas été respectés. Ni les sujets ni les thérapeutes étaient en aveugle, cet article est en simple aveugle.
- Un **biais d'attrition** : Le critère 9 n'est pas respecté.

Entre la pré-intervention et la post-intervention la douleur articulaire au genou pendant et 24h après l'entraînement diminue dans le groupe BFR par rapport au groupe témoin avec une **différence intergroupe de 1,3±1 points et son IC95% [0,750 ; 1,890]** avec **p<0,01**. Ces différences sont statistiquement significatives **en faveur du groupe BFR** et peuvent être appliquées à une population plus large. En effet, les valeurs des intervalles sont toujours positives et ne passent pas par « 0 », l'effet ne peut donc pas être nul ou inversé par rapport aux résultats. Cela veut dire que sur 100 répétitions de l'intervention, on aura à 95 reprises une diminution de la douleur articulaire ainsi qu'une augmentation de la douleur musculaire. La taille d'effet (**1,3±1 points**) peut dépasser la MCID comme ne pas la dépasser. Par conséquent, on ne peut pas confirmer que le changement entre le groupe témoin et expérimental est toujours cliniquement pertinent.

L'étude de *Hughes et al (2019b)* est jugée de « haute qualité » par sa validité interne qui a un score de 7/10 selon l'échelle PEDro. Cependant, elle présente plusieurs biais :

- Un **biais de performance** : Les critères 5 et 6 n'ont pas été respectés. Ni les sujets ni les thérapeutes étaient en aveugle, cet article est en simple aveugle.
- Un **biais d'attrition** : Le critère 9 n'est pas respecté.

Entre la pré-intervention et la post-intervention la douleur articulaire au genou pendant l'entraînement diminue dans le groupe BFR par rapport au groupe témoin avec une différence intergroupe de **2,5 points et son IC95% [2,2 ; 2,8]** avec **p<0,05**. Elle diminue également 24h après l'entraînement en faveur du groupe BFR avec une différence intergroupe de **3,1 [2,9 ; 3,3]** avec **p<0,01**. Ces différences sont **statistiquement significatives** (**p<0,05**) et **en faveur du groupe BFR** pour la douleur articulaire. Les valeurs de l'IC 95% sont **fiabiles** et peuvent être appliquées à une plus grande population. De plus, les tailles d'effets sont assez élevées (**2,5 et 3,1 points**) et dépassent la MCID. Ainsi, la diminution de la douleur articulaire est **cliniquement pertinente** dans cet article.

Dans l'étude de *Hughes et al (2019a)* entre la pré-intervention et la post-intervention, il y a une augmentation statistiquement significative du score KOOS-douleur plus importante dans le groupe BFR-RT par rapport au groupe HL-RT avec **une différence intergroupe de -17,75 points et son IC 95% [-26,08 ; -9,42]** avec **p<0,05**. La diminution de la douleur articulaire est significative et **en faveur du groupe BFR**. Les valeurs de l'IC95% sont **fiabiles** et peuvent être appliquées à une population plus large, il faut noter que l'IC est large. La différence de **17,75 points** en faveur du groupe BFR est supérieure à la MCID, La diminution de la douleur articulaire est donc **cliniquement pertinente** dans cet article.

Bilan des trois études :

Ces trois articles étudiés arrivent à la même conclusion : **L'entraînement BFR** à faible intensité montre une **amélioration de la douleur articulaire** au genou par rapport à l'entraînement traditionnel à charge élevé. Les résultats mis en évidence par **Hughes et al** (2018) ne peuvent pas être généralisés car une seule session d'entraînement a été réalisée, ce qui n'est pas représentatif. Cependant, dans l'étude de 2019b **Hughes et al** ont généralisé leurs résultats en réalisant une étude où les patients ont effectué une séance d'entraînement deux fois par semaine pendant huit semaines, ce qui a permis de montrer une diminution significative de la douleur. Cependant, on note la présence de **biais potentiel**. En effet, les **populations** étaient **faibles** et la **douleur** reste un **critère subjectif**. De plus, dans l'étude de **Hughes et al (2019a)** il est précisé que la douleur est évaluée à l'aide du score **KOOS-douleur** tandis que dans les deux autres études, elle est évaluée à l'aide de **l'échelle numérique**. Enfin, ces trois études sont réalisées par les mêmes auteurs, rendant la comparaison difficile et rajoutant donc un biais. En conséquence de ces biais retrouvés, il faudra rester vigilant à l'interprétation des résultats lorsqu'une population plus large sera impliquée. Des études supplémentaires réalisées par d'autres auteurs semblent nécessaires de manière à avoir un esprit critique.

4.1.4. Fonctionnalité, qualité de vie.

La fonctionnalité et/ou qualité de vie font partie de nos critères de jugement secondaires. Elle est étudiée dans trois des cinq ECR présentés. Tout comme la douleur, ces évaluations sont **subjectives** et dépendent du patient. La **MCID** correspond à une augmentation de **11,5 points** sur le score IKDC. [73]

L'étude de **curran et al** (2020) évalue la fonctionnalité et/ou qualité de vie des patients à l'aide du score IKDC. Concernant les tailles d'effet, pendant la période pré opératoire à post intervention il y a une augmentation du score IKDC de 11,84 dans le groupe BFR contre 17,90 dans le groupe témoin. Pendant la période pré intervention à post intervention on note une augmentation du score IKDC de 16,50 dans le groupe BFR contre 20,50 dans le groupe témoin. Cependant, il n'y a **pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes ($p > 0,05$)**. On ne peut donc pas conclure à un changement cliniquement pertinent entre le groupe expérimental et le groupe témoin. Les résultats ne peuvent pas être appliqués à une population plus large. Ainsi dans cet article, l'entraînement BFR à haute intensité ne semble pas avoir d'intérêt sur la fonctionnalité et/ou la qualité de vie des patients.

L'étude de **Hughes et al** (2019a) évalue également ces critères de jugements secondaires par l'intermédiaire du score IKDC. Entre la pré-intervention et la post-intervention, il y a une augmentation statistiquement significative du score IKDC plus importante dans le groupe BFR-RT par rapport au groupe HL-RT avec une **différence intergroupe de -12,3 points et son IC95% [-18,48 ; -6,12]** avec **$p < 0,01$** . L'amélioration de la qualité de vie et/ou la fonctionnalité des patients est statistiquement significative et en **faveur du groupe BFR-RT**. Les valeurs de l'IC95% sont fiables et peuvent être appliquées à une population plus large. Il faut cependant noter que l'intervalle de confiance est large, ce qui pourrait introduire un biais. La différence de **12,3 points** en faveur du groupe BFR est supérieure à la MCID, les résultats sont donc également **cliniquement pertinents**.

Bilan des deux études :

Les deux études obtiennent des résultats différents. En effet, **Curran et al (2020)** n'ont pas trouvé de différence intergroupe statistiquement significative du score IKDC tandis que **Hughes et al (2019)** ont montré une **amélioration statistiquement et cliniquement significative** du groupe BFR-RT par rapport au groupe HL-RT. Cependant, le fait que les patients de ces études n'avaient pas la même charge de travail et qu'ils n'étaient pas nombreux peut être une source de biais. On ne peut donc pas conclure avec certitude sur l'effet positif du BFR sur la fonctionnalité et/ou la qualité de vie des patients. En effet, il faudrait réaliser des études supplémentaires avec le même protocole pour pouvoir affirmer ou infirmer cette hypothèse. Néanmoins, on peut supposer que les effets seraient plus intéressants en associant l'entraînement BFR avec faible charge qu'avec charge lourde.

4.2. Applicabilité des résultats en pratique clinique

L'applicabilité de l'étude sur une population plus grande correspond à la validité externe évaluée par le critère 1 de l'échelle PEDro. Celui-ci est validé à condition que les études précisent les critères d'éligibilité pour les patients ainsi que les conditions du recrutement. Il est nécessaire de savoir si le traitement BFR est concevable et bénéfique à la pratique professionnelle.

4.2.1. La population

Notre revue de littérature a recensé un total de **112 participants** pour **69 hommes** (62%) contre **43 femmes** (38%). Ils ont entre 14/30 ans dans l'étude de **curan et al** et 18/40 ans dans l'étude de **Iversen et al**. Les autres études ne nous donnent pas d'information sur la tranche d'âge. Dans celles qui ne donnent pas ces informations, l'âge moyen est de 29 ans dans les études de **Hughes et al (2019)** et de 29 ans dans le groupe ACLR-BFR contre 31 ans dans le groupe ACLR-HL pour l'étude de **Hughes et al** de 2018.

La population n'est pas identique dans tous les articles, ce qui peut rendre l'adaptation à la population générale compliquée. En effet, dans l'étude **d'Iversen et al** les participants sont des athlètes tandis que dans celles de **Hughes et al (2019)** la population est active. Cependant, les deux autres études ne précisent pas le type de population. On remarque malgré le manque d'information que nous n'avons pas une population âgée mais plutôt jeune en comparant les moyennes et les tranches d'âges des différents articles. De plus les critères d'inclusion et d'exclusion étaient semblables dans les études.

4.2.2. L'intervention.

Dans toutes les études, l'intervention consistait à placer le BFR sur la partie proximale de la cuisse. Cependant, la charge appliquée était différente en fonction des études. En effet, dans l'étude de **Curran et al**, les exercices sont effectués avec une charge à **70 %** de la 1RM, tandis que dans celles de **Hughes et al** les charges sont à **30%** de la 1RM. Dans l'article d'**Iversen et al**, les auteurs utilisent le BFR avec un protocole d'exercices sans préciser à quel pourcentage de la 1RM ils sont effectués. De plus, la pression du brassard n'était pas la même dans l'étude d'**Iversen et al (130mmHg** le premier jour avec augmentation de 10 mmHg tous les deux jours) que dans les autres (réglée à **80% de la LOP**).

Enfin, la durée d'intervention est différente en fonction des études. En effet, elle est de deux semaines dans celle de **Iversen et al**, de huit semaines dans les études de **curran et al** et **Hugues et al** (2019), tandis que dans celle de **Hugues et al** (2018), elle a eu lieu seulement pour une session d'entraînement. Tous ces paramètres peuvent représenter des biais potentiels au moment de l'adaptation à la population générale.

4.2.3. Balance cout/efficacité et bénéfice/risque

Concernant le patient, le port du brassard pneumatique peut devenir un inconvénient et être inconfortable à cause de la pression d'occlusion. Cependant, les patients ont adhéré aux protocoles et aucun sujet n'a eu d'effets secondaires : on suppose que cela est dû au respect des contre-indications. Les auteurs ont décrit de manière détaillée les protocoles accomplis, permettant leur reproductibilité.

Concernant le thérapeute, le BFR requiert un investissement matériel et personnel pouvant vite devenir une **contrainte financière**. Du point de vue matériel, il y a de nombreux brassards pneumatiques avec une diversité des prix. En effet, les brassards avec réglage de la pression (en fonction du pourcentage voulu) autonomes sont très coûteux tandis que ceux où la pression se règle manuellement le sont moins. Du point de vue personnel, il est recommandé de faire une **formation** pour l'utiliser en rééducation laquelle est **payante** et à la charge du patient.

Bien que le BFR présente des points positifs dans son application en pratique clinique, il manque néanmoins un consensus général sur un protocole standardisé de réadaptation. En effet, il existe une **variabilité importante de protocoles** dans les études actuelles qui diffèrent par la pression du brassard, le nombre de séries, de répétitions, d'entraînements par semaine, le type d'exercice et le poids des charges utilisées (en pourcentage de la 1RM). Par conséquent son adaptation dans le monde la kinésithérapie est plus compliquée.

Enfin, le **manque de littérature** et le fait qu'il soit relativement coûteux ne nous permet pas d'inclure le renforcement musculaire sous BFR dans l'arsenal thérapeutique du praticien au même titre qu'un entraînement classique à haute intensité, le rapport **coût/efficacité** étant trop élevé. Cependant il ne faut pas négliger ses avantages. En effet, bien que n'ayant pas fait ses preuves en tant que technique de renforcement, le BFR avec faible intensité est utile pour diminuer les douleurs articulaires au genou et augmenter la qualité de vie des patients. En début de rééducation, les patients ont des douleurs au genou et n'ont pas forcément la force de soulever des charges lourdes. Par conséquent, bien que n'étant pas encore prouvé il serait peut-être intéressant d'utiliser le BFR à faible intensité en début de rééducation jusqu'à la ligamentisation du greffon. En effet, les risques étant faibles (aucun effet indésirable dans les études) en respectant des critères d'inclusion et d'exclusion, le rapport **bénéfice/risque** est donc en faveur des bénéfices et de l'utilisation de cette technique. Il serait donc judicieux d'approfondir ces recherches sur l'impact du BFR en tant qu'outil de réadaptation après ligamentoplastie du LCA.

4.3. Qualité des preuves.

Parmi les différents niveaux de preuve et de gradation des recommandations, dans cette revue de littérature nous choisissons celui de l'HAS. () Le niveau de preuve d'un article est défini par sa capacité à répondre à une question donnée et dépend de plusieurs critères :

- La correspondance entre le protocole de l'étude et la question posée
- Biais potentiels
- L'élaboration de l'analyse statistique
- La taille de l'échantillon ainsi que la puissance de l'étude

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins.
	Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Figure 6 : Grade des recommandations de l'HAS

Notre étude est composée d'essais comparatifs randomisés de puissance modérée (les articles inclus présentent une moyenne de 6,6/10 sur l'échelle PEDro). Ils ont un niveau **2** de preuve qui correspond au grade **B** avec une **présomption** scientifique et non une preuve car ces articles ont des limites :

- Faible population, peu représentative (puissance modérée)
- Certains résultats statistiques ont une faible pertinence clinique
- Résultats statistiquement significatifs peu nombreux
-

4.4. Limites et biais potentiels de la revue

Cette revue a été effectuée de manière objective, nous affirmons qu'aucune ressource financière a influencé nos recherches ainsi que l'analyse des résultats. La méthodologie de cette revue de littérature aurait pu être améliorée. En effet, celle-ci a été réalisée par une seule personne, la sélection des articles a donc pu être influencée. De plus, il est possible qu'un article qui pourrait être pertinent n'ait pas été inclus. Dans certains articles, il n'y avait pas de différence intergroupe. Par conséquent, cette revue aurait été de meilleure qualité si une synthèse quantitative des résultats avait été réalisée.

Le nombre d'étude sur ce sujet est **faible**, ce qui représente un biais principal. En effet, cette technique de rééducation est récente en kinésithérapie et peu d'études portent sur le BFR et la rééducation post ligamentoplastie du LCA.

Le type de population n'était pas spécifié dans chaque article, ce qui représente un biais supplémentaire. De plus, le fait que la revue soit constituée essentiellement de petits échantillons réduit la puissance statistique et complique la comparaison et l'adaptation à la population générale (nombre trop faible pour être représentatif). Il y a donc une faible validité externe.

La durée d'intervention était différente en fonction des articles (deux semaines pour *Iversen et al* contre huit semaines dans les autres études). De plus, les études ont montré entre elles une grande hétérogénéité concernant la charge appliquée avec le BFR (en % de la 1RM), la pression du brassard, le nombre de séries et de répétitions réalisées, le moment d'application du BFR ou la durée de l'entraînement.

Sur les cinq articles que j'étudie, trois sont du même auteur (deux études ont les mêmes participants et viennent d'une même étude que l'auteur a divisé en deux), rajoutant un biais car cette revue de littérature n'est pas assez diversifiée. En effet, notre étude est donc seulement composée d'articles de trois auteurs différents avec des résultats hétérogènes, des protocoles différents, ce qui est peu. De plus, l'étude de *Curran et al* n'a pas indiqué la largeur du brassard utilisé.

De plus, dans les études où l'intervention a duré huit semaines, les séances avec BFR ont eu lieu deux fois par semaine. Or, pour une rééducation post ligamentoplastie du LCA, le patient va chez le kiné trois à quatre fois par semaine. Il aurait donc été intéressant d'appliquer cette technique à chaque séance de rééducation.

Le comparateur était l'entraînement traditionnel à haute intensité. Cependant, dans l'étude d'*Iversen et al*, le comparateur n'est pas celui-ci. En effet, le groupe témoins suivait le même protocole d'exercice que le groupe BFR mais sans le stimulus d'occlusion (contraction isométrique du quadriceps et élévation de jambe). Par conséquent, cet article n'ayant pas le même comparateur, un biais se rajoute donc au moment des résultats.

Une grande partie de nos études n'était pas statistiquement significative. Certains résultats significatifs ne l'étaient pas cliniquement, rendant la comparaison plus compliquée. Il existe donc une forte hétérogénéité statistique et clinique entre les études incluses. De plus, les auteurs ont des manières différentes de mesurer les variables.

La plupart des études ne traitent pas de tous les critères de jugement. Par exemple, *Iversen et al* ne traitent que de l'hypertrophie musculaire, tandis que *curran et al* ne traitent pas la douleur articulaire.

Enfin, il a été impossible de mettre en aveugle les participants et thérapeutes dans ces études. Par conséquent, on a un biais de partialité qui est augmenté et qui peut potentiellement venir influencer les résultats de notre étude.

La qualité méthodologique de cette revue a été effectuée à l'aide de la grille AMSTAR-2 (annexe). Par son évaluation de la qualité méthodologique, elle nous a permis d'analyser les biais potentiels de cette revue. Elle a été créée en 2017 et correspond à une mise à jour de la grille AMSTAR. Elle est constituée de 16 questions auxquelles nous allons répondre par :

- Oui
- Non
- Partiellement oui
- Non évaluable

Question	Réponse	Justification
1) Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?	Oui	Données disponibles dans la partie « méthode, type d'étude »
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 ?	Non	Les critères d'inclusion et la question de recherche n'ont pas fait l'objet d'une déclaration préalable.
3) Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?	Oui	Il a été expliqué que nous avons sélectionné seulement les ECR.
4) Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?	Oui	Nous avons effectué nos recherches à travers plusieurs sources : Pubmed, Cochrane library, PEDro, KinéDoc
5) Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?	Non	La sélection des études a été réalisée par un seul examinateur.
6) Les auteurs ont-ils effectué en double l'extraction des données ?	Non	De même, un seul examinateur.
7) Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?	Oui	Données disponibles dans le tableau 9.
8) Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?	Oui	Les études ont été décrites sous forme de tableau dans la partie résultat et en annexe.
9) Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?	Oui	Nous avons utilisé l'échelle PEDro pour évaluer les différents risques de biais.
10) Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?	Non	Les données à ce sujet n'étaient pas disponibles.

11) Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?	Non évaluable	Nous n'avons pas effectué de méta-analyse.
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 ?	Non évaluable	Nous n'avons pas effectué de méta-analyse.
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 ?	Oui	La partie discussion a été écrite en prenant toujours compte du risque de biais des études.
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 ?	Oui	Cf partie discussion.
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 ?	Non évaluable	Nous n'avons pas utilisé d'outil graphique ou statistique pour évaluer un risque de biais.
16) Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêt, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?	Oui	Dans cette revue de littérature, aucun conflit d'intérêt ni aucune source de financement n'est à déclarer.

Tableau 12 : Grille AMSTAR 2 de notre revue

5. Conclusion

De nos jours, les directives traditionnelles recommandent des entraînements à haute intensité pour un renforcement musculaire efficace. Cependant, en kinésithérapie la pratique clinique est différente. En effet, après reconstruction du LCA, dans les premières phases de rééducation, il est invraisemblable d'utiliser des charges élevées en raison de douleur ou de faiblesse musculaire trop importante. Par conséquent, en séance de rééducation, l'intensité est souvent ajustée de manière à respecter le seuil de douleur du patient, pouvant donc réduire l'efficacité du traitement.

L'objectif de cette revue de littérature était d'extraire les connaissances existantes sur le BFR en tant qu'outil de réadaptation après ligamentoplastie du LCA. Nous avons donc recherché à travers les études des patients ayant subi une chirurgie reconstructrice du LCA.

Les résultats de cette revue sont mitigés concernant l'intérêt du BFR dans le renforcement musculaire. En effet, l'hétérogénéité des protocoles, des durées d'intervention, des échantillons, ainsi que le manque de résultats statistiques et les différents biais ont rendu la réponse à notre question clinique difficile « quel est l'intérêt du BFR dans la rééducation après ligamentoplastie du LCA ? ». La réponse est différente en fonction des auteurs, c'est pour cela qu'il serait intéressant d'approfondir les recherches sur ce sujet. En effet, dans certaines études (*Hughes et al*) les résultats considérant le BFR comme outil de renforcement au même titre que l'entraînement traditionnel étaient statistiquement significatifs et pertinents tandis que dans d'autres (*Iversen et al*, *Curran et al*) aucun des deux. Par conséquent, les données étant trop faibles à l'heure actuelle il n'est pas possible d'avoir une conclusion positive ou négative sur ce traitement pour le renforcement musculaire et l'hypertrophie.

Cependant, le BFR se distingue par ses capacités à améliorer la fonctionnalité, la qualité de vie des patients, ainsi que la douleur articulaire du genou. En effet, les résultats sur ces critères de jugement sont statistiquement significatifs et pertinents. Néanmoins, ces résultats positifs ont été réalisés par les mêmes auteurs, il serait également judicieux de poursuivre les recherches ici avec des auteurs différents.

Si les études venaient à prouver que le BFR a autant d'efficacité que l'entraînement traditionnel pour le renforcement musculaire, alors il pourrait devenir une bonne alternative en début de rééducation après ligamentoplastie du LCA. En effet, allier renforcement efficace et indolence pourrait être une solution envisageable jusqu'à la ligamentisation du greffon (au-delà de cette période, le greffon étant stable, les douleurs diminuent et le BFR ne serait pas nécessaire).

Il ne faut pas oublier que cet outil de réadaptation est récent dans le monde de la kinésithérapie et que les études ne sont pas nombreuses. C'est pourquoi il est important de rester attentif aux futures études scientifiques à propos de celui-ci.

A travers cette revue nous avons remarqué un manque d'étude de haute qualité correspondant à ce sujet. En effet, comme nous l'avons vu dans la discussion, les études sont hétérogènes dans de nombreux domaines et ne permettent pas de conclure à un protocole standard sur cette technique novatrice qu'est le BFR. C'est pourquoi des recherches supplémentaires sont primordiales afin de développer nos connaissances et adopter celui-ci à une pratique courante en kinésithérapie.

Au vu des résultats obtenus, relatifs à la diminution de la douleur articulaire du genou et à l'amélioration de la qualité de vie/fonctionnalité, il serait intéressant d'élargir nos recherches concernant les **bienfaits du BFR sur les pathologies articulaires du genou** tel que **l'arthrose fémoro-patellaire** par exemple. En effet, l'arthrose du genou est une affection douloureuse associée à une qualité de vie réduite à laquelle il n'existe aucun remède connu. Les lignes directrices actuelles mettent également en avant le renforcement à travers l'entraînement à haute intensité pour gérer l'arthrose et prévenir l'invalidité liée à celle-ci. Cependant, le problème est le même que dans cette revue, car l'exercice peut devenir douloureux et réduire l'assiduité des patients. Par conséquent, l'entraînement BFR avec faible intensité pourrait faciliter l'exercice lorsque la douleur est trop intense pour réaliser un exercice à haute intensité. Plusieurs revues de littérature ont déjà été publiées à ce sujet notamment celle de **Van cant et al** [86] qui stipule que le BFR pourrait être une option utile pour les patients souffrant d'affections du genou où le programme conventionnel de renforcement du quadriceps exacerbe les symptômes du genou.

6. Bibliographie

- [1] Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur du membre inférieur 2015;1 3édition:127–37.
- [2] Flandry F, Hommel G. Normal anatomy and biomechanics of the knee. *Sports Med Arthrosc* 2011;19:82–92. <https://doi.org/10.1097/JSA.0B013E318210C0AA>.
- [3] Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur du membre inférieur. vol. 3e édition. 2015.
- [4] Servien PE, Cantin PO, Peltier A, Neyret P. ANATOMIE ET ROLE DES LIGAMENTS DU GENOU n.d.
- [5] Dufour M. Biomécanique fonctionnelle. 2017.
- [6] Biomécanique du Genou Biomécanique du Genou LCA PR GILBERT VERSIER Service de chirurgie orthopédique HIA BEGIN 94160 SAINT-MANDE n.d.
- [7] Anatomie et biomécanique fonctionnelle genou – up-ostéo.net n.d. <https://up-ostéo.net/index.php/anatomie-et-biomecanique-fonctionnelle-genou/> (accessed December 6, 2021).
- [8] 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>.
- [9] LES LESIONS ISOLEES RECENTES DU LIGAMENT CROISE... de Gérard Saillant - Livre - Decitre n.d. <https://www.decitre.fr/livres/les-lesions-isolees-recentes-du-ligament-croise-anterieur-9782225836688.html> (accessed December 7, 2021).
- [10] Hassebrock JD, Gulbrandsen MT, Asprey WL, Makovicka JL, Chhabra A. Knee Ligament Anatomy and Biomechanics. *Sports Med Arthrosc* 2020;28:80–6. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000279>.
- [11] 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>.
- [12] HAS. Prise en charge thérapeutique des lésions méniscales et des lésions isolées du ligament croisé antérieur du genou chez l'adulte 2008. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2008-07/lesions_meniscales_et_du_ligament_croise_anterieur_-_argumentaire.pdf (accessed December 7, 2021).
- [13] Accident de ski rupture ligament croisé n.d. <https://www.isa-orthopedie-marseille.fr/fr/actualites-isam/id-14-rupture-du-ligament-croise-anterieur> (accessed December 7, 2021).
- [14] Osti L, Buda M, Osti R, Massari L, Maffulli N. Preoperative Planning for ACL Revision Surgery. *Sports Med Arthrosc* 2017;25:19–29. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000140>.
- [15] Tamalet B, Rochcongar P. Épidémiologie et prévention de la rupture du ligament croisé antérieur du genou. *Rev Du Rhum Monogr* 2016;83:103–7. <https://doi.org/10.1016/J.MONRHU.2016.01.004>.
- [16] LaBella CR, Hennrikus W, Hewett TE, Brenner JS, Brooks A, Demorest RA, et al. Anterior cruciate ligament injuries: diagnosis, treatment, and prevention. *Pediatrics* 2014;133. <https://doi.org/10.1542/PEDS.2014-0623>.
- [17] Yu B, Garrett WE. Mechanisms of non-contact ACL injuries. *Br J Sports Med* 2007;41 Suppl 1. <https://doi.org/10.1136/BJSM.2007.037192>.
- [18] Rodineau J. LA RUPTURE DU LCA Les mécanismes n.d.
- [19] Brady MP, Weiss W. Clinical Diagnostic Tests Versus MRI Diagnosis of ACL Tears. *J Sport Rehabil* 2018;27:596–600. <https://doi.org/10.1123/JSR.2016-0188>.
- [20] Benjaminse A, Gokeler A, Van Der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006;36:267–88. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2006.2011>.
- [21] Xie X, Liu X, Chen Z, Yu Y, Peng S, Li Q. A meta-analysis of bone-patellar tendon-bone autograft

- versus four-strand hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee* 2015;22:100–10. <https://doi.org/10.1016/J.KNEE.2014.11.014>.
- [22] De Sa D, Shanmugaraj A, Weidman M, Peterson DC, Simunovic N, Musahl V, et al. All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction-A Systematic Review of Techniques, Outcomes, and Complications. *J Knee Surg* 2018;31:895–904. <https://doi.org/10.1055/S-0038-1627446>.
- [23] Rupture du ligament croisé antérieur (LCA) - Centre de Chirurgie orthopédique et sportive n.d. <http://www.ccos.fr/entorse-rupture-ligament-croise-antérieur-lca-genou> (accessed December 8, 2021).
- [24] Claes S, Verdonk P, Forsyth R, Bellemans J. The “ligamentization” process in anterior cruciate ligament reconstruction: what happens to the human graft? A systematic review of the literature. *Am J Sports Med* 2011;39:2476–83. <https://doi.org/10.1177/0363546511402662>.
- [25] Muller B, Bowman KF, Bedi A. ACL graft healing and biologics. *Clin Sports Med* 2013;32:93–109. <https://doi.org/10.1016/J.CSM.2012.08.010>.
- [26] HAS. Critères de suivi en rééducation et d’orientation en ambulatoire ou en SSR Après ligamentoplastie du croisé antérieur du genou n.d.
- [27] Birchmeier T, Lisee C, Kane K, Brazier B, Triplett A, Kuenze C. Quadriceps Muscle Size Following ACL Injury and Reconstruction: A Systematic Review. *J Orthop Res* 2020;38:598–608. <https://doi.org/10.1002/JOR.24489>.
- [28] Humes C, Agüero S, Chahla J, Foad A. Blood Flow Restriction and Its Function in Post-Operative Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Therapy: Expert Opinion. *Arch Bone Jt Surg* 2020;8:570–4. <https://doi.org/10.22038/ABJS.2020.42068.2145>.
- [29] Valentin De Mata. Utilisation du BFR dans la prise en charge rééducative du sportif. *Kinésithérapie Sci* 2019.
- [30] 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>.
- [31] 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;0:533. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2019.00533>.
- [32] M W, J A, T R. Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:401–16. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2008.00788.X>.
- [33] JP L, JM W, GJ W, TJ P, MG B. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports* 2011;21:510–8. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2010.01290.X>.
- [34] TM M, BC C. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev* 2009;37:78–85. <https://doi.org/10.1097/JES.0B013E31819C2E5C>.
- [35] Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, et al. Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow Restriction Training on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health* 2019;11:149–56. <https://doi.org/10.1177/1941738118821929>.
- [36] C C, P W, A G, D K. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2019;49. <https://doi.org/10.1007/S40279-018-0994-1>.
- [37] JP L, JM W, PJ M, MC Z, MG B. 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>.
- [38] L H, B P, B R, C G, SD P. 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>.
- [39] A M, MJ H, JJ R, R T, N M. Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. *J Sci Med Sport* 2013;16:337–42. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMS.2012.08.009>.
- [40] ME L, C U, R B, FC V, MS C, F D, 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>.
- [41] BROUSSAL-DERVAL. Comprendre l’hypertrophie musculaire - PRENDRE DU MUSCLE - ABD. WEB 2020. <https://www.broussal-derval.com/2020/04/11/comprendre-lhypertrophie-musculaire/> (accessed October 30, 2021).
- [42] Panodysey. La tension mécanique et le stress métabolique. Web 2020. <https://panodysey.com/en/article/sport/la-tension-mecanique-et-le-stress-metabolique-pmm7sq6hem9r> (accessed October 30, 2021).
- [43] MA W, WL H, PA A, EA A, V B, BA F, et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation* 2007;116:572–84. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214>.
- [44] Suga T, Okita K, Takada S, Omokawa M, Kadoguchi T, Yokota T, et al. Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol* 2012 11211 2012;112:3915–20. <https://doi.org/10.1007/S00421-012-2377-X>.
- [45] SB C, BC C, LL P-S. Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1708–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E31812383D6>.
- [46] S C, S S. Regeneration of mammalian skeletal muscle. Basic mechanisms and clinical implications. *Curr Pharm Des* 2010;16:906–14. <https://doi.org/10.2174/138161210790883453>.
- [47] Delaney K, Kasprzycka P, Ciemerych MA, Zimowska M. The role of TGF- β 1 during skeletal muscle regeneration. *Cell Biol Int* 2017;41:706–15. <https://doi.org/10.1002/CBIN.10725>.
- [48] JG T. Inflammatory processes in muscle injury and repair. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2005;288. <https://doi.org/10.1152/AJPREGU.00454.2004>.
- [49] Pascal P. Les dommages induits par l’exercice musculaire n.d. <http://prevost.pascal.free.fr/pratique/Sullivan.htm?fbclid=IwAR3mT5wrcWcRIFQCfFnAuYjo3cEWTpXHp-4lAniMuEYiHDpoTvANspsydAE> (accessed December 18, 2021).
- [50] Kuipers H. Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 1994;15:132–5. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021034>.
- [51] Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. Does blood flow restriction result in skeletal muscle damage? A critical review of available evidence. *Scand J Med Sci Sports* 2014;24:e415-422. <https://doi.org/10.1111/SMS.12210>.
- [52] K N, M N. Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:63–9. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00011>.
- [53] Y T, Y N, S A, T O, S M, N I. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* 2000;88:61–5. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.2000.88.1.61>.
- [54] H M, M K, K F, T F, T N. Haemostatic and inflammatory responses to blood flow-restricted exercise in patients with ischaemic heart disease: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging* 2013;33:11–7. <https://doi.org/10.1111/J.1475-097X.2012.01158.X>.
- [55] MM M, JA L, SJ M, DA H, G K. Satellite cells, connective tissue fibroblasts and their interactions are crucial for muscle regeneration. *Development* 2011;138:3625–37. <https://doi.org/10.1242/DEV.064162>.
- [56] Doessing S, Holm L, Feldt-Rasmussen U, Heinemeier KM, Schjerling P, Qvortrup K, et al. GH and IGF1 levels are positively associated with musculotendinous collagen expression: Experiments in acromegalic and GH deficiency patients Tendon Biology-Aspects of Relevance for Tendon Tissue Mechanical Properties View project Plasma alpha-defenins View project CLINICAL STUDY GH and IGF1 levels are positively associated with musculotendinous collagen expression: experiments in acromegalic and GH deficiency patients. *Artic Eur J Endocrinol* 2010;163:853–62. <https://doi.org/10.1530/EJE-10-0818>.

- [57] Gibney J, Healy M-L, Sönksen PH. The Growth Hormone/Insulin-Like Growth Factor-I Axis in Exercise and Sport. *Endocr Rev* 2007;28:603–24. <https://doi.org/10.1210/ER.2006-0052>.
- [58] WJ K, K A, E C, GA D, C D, MS F, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:364–80. <https://doi.org/10.1097/00005768-200202000-00027>.
- [59] Reeves ND, Narici M V., Maganaris CN. Myotendinous plasticity to ageing and resistance exercise in humans. *Exp Physiol* 2006;91:483–98. <https://doi.org/10.1113/EXPPHYSIOL.2005.032896>.
- [60] Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *https://DoiOrg/101152/Jappl200088161* 2000;88:61–5. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.2000.88.1.61>.
- [61] T M, WM S, M S, T M, M S. Oxygen availability and motor unit activity in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;64:552–6. <https://doi.org/10.1007/BF00843767>.
- [62] EN B, R E, H M, G J, K M, P B, et al. Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow Restriction Training on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health* 2019;11:149–56. <https://doi.org/10.1177/1941738118821929>.
- [63] T Y, S F, R O, Y S, T A. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging* 2010;30:338–43. <https://doi.org/10.1111/J.1475-097X.2010.00949.X>.
- [64] Lambert B, Hedt C, Daum J, Taft C, Chaliki K, Epner E, et al. Blood Flow Restriction Training for the Shoulder: A Case for Proximal Benefit. *Am J Sports Med* 2021;49:2716–28. <https://doi.org/10.1177/03635465211017524>.
- [65] Loenneke JP, Thiebaud RS, Fahs CA, Rossow LM, Abe T, Bemben MG. Effect of cuff type on arterial occlusion. *Clin Physiol Funct Imaging* 2013;33:325–7. <https://doi.org/10.1111/CPF.12035>.
- [66] Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, et al. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol* 2012;112:2903–12. <https://doi.org/10.1007/S00421-011-2266-8>.
- [67] Blood Flow Restriction : Kaatsu Method ou principe d’occlusion vasculaire. Pourquoi, pour qui ? n.d. <https://www.thehumanmovementtherapy.com/post/blood-flow-restriction-kaatsu-method-ou-principe-d-occlusion-vasculaire-pourquoi-pour-qui> (accessed November 8, 2021).
- [68] Clark BC, Manini TM, Hoffman RL, Williams PS, Guiler MK, Knutson MJ, et al. Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports* 2011;21:653–62. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2010.01100.X>.
- [69] Robertson BR, Pandolfi M, Nilsson IM. “FIBRINOLYTIC CAPACITY” IN HEALTHY VOLUNTEERS AT DIFFERENT AGES AS STUDIED BY STANDARDIZED VENOUS OCCLUSION OF ARMS AND LEGS. *J Intern Med* 1972;191:199–202. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2796.1972.TB00038.X>.
- [70] Alessi MC. Le système fibrinolytique : activation et inhibition. Ses modifications en cas de CIVD. *Réanimation* 2002;11:591–8. [https://doi.org/10.1016/S1624-0693\(02\)00306-7](https://doi.org/10.1016/S1624-0693(02)00306-7).
- [71] 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* 2020;10:1–23. <https://doi.org/10.3390/JCM10010068>.
- [72] Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am* 2012;94:1737–48. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.01246>.
- [73] Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM. Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster. Arthritis

- Care Res 2011;63. <https://doi.org/10.1002/ACR.20632>.
- [74] 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>.
- [75] 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>.
- [76] 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>.
- [77] Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:2035–9. <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>.
- [78] Lambert B, Hedt CA, Jack RA, Moreno M, Delgado D, Harris JD, et al. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Whole Limb Bone and Muscle Following ACL Reconstruction. *Orthop J Sport Med* 2019;7:2325967119S0019. <https://doi.org/10.1177/2325967119S00196>.
- [79] Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Heal Sci* 2016;5:115–8. <https://doi.org/10.1016/J.JSHS.2014.12.005>.
- [80] 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>.
- [81] 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>.
- [82] 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>.
- [83] 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>.
- [84] Wright A, Hannon J, Hegedus EJ, Kavchak AE. Clinimetrics corner: a closer look at the minimal clinically important difference (MCID). *J Man Manip Ther* 2012;20:160. <https://doi.org/10.1179/2042618612Y.0000000001>.
- [85] Farrar JT, Young JP, LaMoreaux L, Werth JL, Poole RM. Clinical importance of changes in chronic pain intensity measured on an 11-point numerical pain rating scale. *Pain* 2001;94:149–58. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(01\)00349-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(01)00349-9).
- [86] Van Cant J, Dawe-Coz A, Aoun E, Esculier JF. Quadriceps strengthening with blood flow restriction for the rehabilitation of patients with knee conditions: A systematic review with meta-analysis. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2020;33:529–44. <https://doi.org/10.3233/BMR-191684>.

7. Table des illustrations

TABLEAU 1 : LES MUSCLES DU GENOU [3]	1
TABLEAU 2: MOUVEMENTS BIOMECANIQUES DU GENOU [5]	3
TABLEAU 3: MOUVEMENTS BIOMECANIQUES DU LCA [5]	5
TABLEAU 5: TECHNIQUES CONVENTIONNELS DE LIGAMENTOPLASTIE DU LCA.....	7
TABLEAU 6 : MESH TERMS UTILISES POUR L'EQUATION DE RECHERCHE	22
TABLEAU 7: CRITERES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION	23
TABLEAU 8 : MOTIF D'EXCLUSION DES ETUDES.....	26
TABLEAU 9 : SYNTHESE DES ETUDES INCLUSES.....	28
TABLEAU 10 : SCORE PEDRO DES ETUDES INCLUSES	29
TABLEAU 11 : TABLEAU RECAPITULATIF DES BIAIS RETROUVES DANS L'ETUDE	30
TABLEAU 12 : SYNTHESE DES RESULTATS	32
TABLEAU 13 : GRILLE AMSTAR 2 DE NOTRE REVUE	48
FIGURE 1 : RUPTURE DU LCA PAR FLEXION/VALGUS/ROTATION EXTERNE DU GENOU	6
FIGURE 2 : SANGLE AVEC FEEDBACK DE PRESSION.....	15
FIGURE 3 : SANGLE DE COMPRESSION/COMPRESSION DU MEMBRE INFERIEUR	15
FIGURE 4 : MODELE PICO	21
FIGURE 5 : DIAGRAMME DE FLUX	25
FIGURE 6 : GRADE DES RECOMMANDATIONS DE L'HAS	45

8. Annexes

Annexe 1 : Les types de fibres musculaires et leurs caractéristiques

Annexe 2 : Échelle PEDro

Annexe 3 : Tableaux détaillant les études incluses dans la revue

Annexe 4 : Grille AMSTAR-2

Annexe 1 : Les types de fibres musculaires et leurs caractéristiques

Caractéristiques	Type I (Lente)	Type IIa (Rapide)	Type IIb (Rapide)
Vitesse de contraction	Lente (100 millisecondes)	Rapide (50 millisecondes)	Très rapide (25 millisecondes)
Résistance à la fatigue	Élevée	Modéré	Faible
Capacité aérobie	Élevée	Modéré	Faible
Capacité anaérobie	Faible	Modéré	Élevé
Capillaires	Nombreux	Nombreux	Peu nombreux
Teneur en myoglobine	Élevée	Élevée	Faible
Couleur de fibre	Rouge	Blanc	Blanc
Teneur en glycogène	Faible	Modéré	Élevée
Diamètre de fibre	Petit	Grand	Grand

Annexe 2 : Echelle PEDro

Échelle PEDro – Franco-Canadienne

1. les critères d'admissibilité ont été spécifiés non oui où:
 2. les participants ont été assignés de façon aléatoire dans les groupes (lors d'une étude à devis croisé, l'ordre dans lequel les participants ont reçu les interventions a été déterminé de façon aléatoire) non oui où:
 3. l'assignation des participants à un groupe a été dissimulée non oui où:
 4. au début de l'étude, les groupes étaient similaires en ce qui concerne les indicateurs pronostiques les plus importants non oui où:
 5. les participants ignoraient le groupe auquel ils avaient été assignés non oui où:
 6. les intervenants ignoraient le groupe auquel les participants avaient été assignés non oui où:
 7. les évaluateurs ayant mesuré au moins un résultat clé ignoraient le groupe auquel les participants avaient été assignés non oui où:
 8. les mesures d'au moins un résultat clé ont été obtenues chez plus de 85% des participants initialement assignés aux groupes non oui où:
 9. tous les participants pour qui des mesures de résultats étaient disponibles ont reçu l'intervention assignée. Lorsque ce n'était pas le cas, les données d'au moins un résultat clé ont été analysées selon l'intention de traiter non oui où:
 10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont fournis pour au moins un résultat clé non oui où:
 11. l'étude fournit à la fois une mesure de l'ampleur de l'effet et une mesure de dispersion pour au moins un résultat clé non oui où:
-

Annexe 3 : Tableaux des caractéristiques des études incluses

Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction (Erik Iversen; Vibeke rostad; Arne Larmo)	
Date	2016
Méthode	Essai clinique randomisé (score PEDro 6/10)
Objectifs	Étudier l'effet du BFR sur l'atrophie du quadriceps après reconstruction du LCA.
Population	<p><u>Nombre de patient</u> : 24 athlètes entre 18 et 40 ans</p> <p><u>Critères d'inclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les sujets sont physiquement actifs - Ils ont subi leur blessure en participant à un sport - La reconstruction est faite par DIDT <p><u>Critères d'exclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Blessure antérieure au genou - Rupture datant de plus de 6 mois avant la chirurgie <p><u>Moyenne d'âge</u> : 24,9 pour le groupe d'occlusion contre 29,8 pour le groupe BFR.</p>
Intervention	<p>2 fois par jour pendant 16 jours à partir de 2 jours après la chirurgie.</p> <p><u>Groupe expérimental (BFR) (n=12)</u> :</p> <p>Les patients ont effectué des exercices de quadriceps (contraction isométrique progressant vers l'extension de la jambe, et des élévations de jambe). Les patients effectuaient 20 répétitions à chaque période d'occlusion de 5 min. Par séance il y avait 5 périodes d'occlusion donc 100 répétitions par séances et 200 par jour.</p> <p><u>Groupe témoin (n=12)</u> :</p> <p>Le groupe témoins a suivi les mêmes exercices mais sans le stimulus d'occlusion.</p>
Critère de jugement	Mesure de la section musculaire transversale (CSA) par IRM pour l'atrophie musculaire.
Résultats	Au cours de la période d'intervention, le groupe témoins a perdu 13,1% de sa CSA tandis que le groupe BFR a perdu 13,8%. Il n'y a pas eu de différence inter groupe statistiquement significative. Par conséquent, l'application du BFR les 14 premiers jours après chirurgie du LCA n'a pas réduit l'atrophie musculaire du quadriceps mesurée par IRM dans cette population d'athlète.

Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction (Michael T. Curran, Asheesh Bedi, Christopher L. Mendias, Edward M. Wojtys, Megan V. Kujawa, and Riann M. Palmieri-Smith)

Date	2020
Méthode	Essai clinique randomisé (score PEDro 6/10)
Objectifs	Étudier l'effet du BFR avec un exercice de haute intensité sur la récupération de la fonction musculaire du quadriceps chez des patients après reconstruction du LCA.
Population	<p><u>Nombre de patient</u> : 34 patients (19 femmes, 15 hommes)</p> <p><u>Critères d'inclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les sujets âgés de 14 à 30 ans <p><u>Critères d'exclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Blessure ou chirurgie antérieure au genou - Stimulateur cardiaque - Antécédents de caillots sanguins, thrombose, maladie cérébrovasculaire - Antécédents de diabète, de drépanocytose - Hypertension sévère et femme enceinte <p><u>Moyenne d'âge</u> : 17,5 pour le groupe d'occlusion contre 15,8 pour le groupe BFR.</p>
Intervention	<p>2 fois par semaine pendant 8 semaines à partir de 10 semaines après l'opération. Les patients ont effectué l'évaluation de la 1RM le premier jour de l'intervention puis une fois par semaine.</p> <p><u>Groupe expérimental (BFR) (n=18)</u> :</p> <p>Les patients ont effectué des exercices de presse à une jambe avec un stimulus d'occlusion (brassard) placé au niveau proximal de la hanche (5 séries de 10 répétitions à 70% de la 1RM avec deux minutes de repos entre chaque série). La première série était un échauffement à 20 % de la 1RM. Le brassard a été dégonflé après chaque série pendant la période de repos et regonflé au début de chaque série.</p> <p><u>Groupe témoin (n=16)</u> :</p> <p>Le groupe témoins a suivi les mêmes exercices avec la même intensité mais sans le stimulus d'occlusion.</p>
Critère de jugement	<p><u>Primaire</u> : La force (Force isocinétique des extenseurs ; contraction isométrique maximale ; Presse à une jambe 1RM)</p> <p><u>Secondaire</u> : l'hypertrophie musculaire (volume du muscle droit fémoral), Résultats fonctionnels, qualité de vie (score IKDC)</p>
Résultats	Aucune différence statistiquement significative ($p < 0,05$) n'a été retrouvée entre le groupe témoins et le groupe BFR pour aucun des critères de jugement. Par conséquent, une intervention BFR de 8 semaines avec un exercice de haute intensité n'a pas amélioré de manière significative la force, l'hypertrophie musculaire ainsi que la qualité de vie des patients subissant une reconstruction du LCA.

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)

Date	2019
Méthode	Essai clinique randomisé (score PEDro 7/10)
Objectifs	Comparer l'efficacité de l'entraînement sous BFR avec charge légère et de l'entraînement traditionnel à charge lourde pour améliorer la force, l'hypertrophie des muscles squelettiques ainsi que la douleur et la qualité de vie des patients.
Population	<p><u>Nombre de patients</u> : 28 patients (17 hommes, 7 femmes et 4 perdus de vu)</p> <p><u>Critères d'inclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Non-fumeurs actifs - Aucun antécédent neurologique - Aucune affection cardiaque, pulmonaire ou métabolique <p><u>Critères d'exclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ruptures ou traumatismes ligamentaires multiples - Polyarthrite rhumatoïde ou autre comorbidités importantes - Antécédent de thrombose veineuse profonde ou pathologie vasculaire - Injections intra articulaires dans le genou au cours des 6 mois précédents - Médicaments anticoagulants et Attelle de jambe postopératoire <p><u>Moyenne d'âge</u> : 29 pour le groupe d'occlusion contre 29 pour le groupe BFR.</p>
Intervention	<p>2 fois par semaine pendant 8 semaines à partir de 2 semaines après l'opération (à condition de remplir les critères pour commencer l'entraînement). La 1RM a été calculé à partir de la 10 RM et le BFR a été appliqué aux deux membres.</p> <p><u>Groupe expérimental (BFR) (n=14)</u> :</p> <p>Les patients ont effectué des exercices de presse à une jambe avec un stimulus d'occlusion (brassard) placé au niveau proximal de la hanche (5 séries de 10 répétitions à 30% de la 1RM avec deux minutes de repos entre chaque série). Les participants effectuaient les exercices avec une flexion de genou entre 0 et 90°.</p> <p><u>Groupe témoin (n=14)</u> :</p> <p>Le groupe témoins a suivi les mêmes exercices avec une intensité à 70% de la 1RM mais sans le stimulus d'occlusion.</p>
Critère de jugement	<p><u>Primaire</u> : La force (Force isocinétique des extenseurs ; Presse à une jambe 10 RM)</p> <p><u>Secondaire</u> : l'hypertrophie musculaire du vaste latéral (épaisseur par échographie), Résultats fonctionnels, qualité de vie (score IKDC), Douleur (Score KOOS)</p>
Résultats	<p>La force isocinétique a augmenté de manière significative à 150°/s et 300°/s dans le groupe BFR par rapport au groupe témoins tandis que la force à l'échelle 10RM a augmenté dans le membre blessé mais sans différence de groupe. De même l'épaisseur musculaire a augmenté dans les deux groupes sans différence de groupe. Enfin, on note que la douleur articulaire était plus faible et la qualité de vie des patients meilleure significativement dans le groupe BFR.</p>

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)

Date	2019
Méthode	Essai clinique randomisé (score PEDro 7/10)
Objectifs	Examiner les douleurs articulaires et musculaires ressenties lors de l'entraînement sous restriction du débit sanguin avec charge légère (30% de la 1RM) par rapport à l'entraînement traditionnel avec charges lourdes (70% de la 1RM) chez des patients ayant subi une reconstruction du LCA.
Population	<p><u>Nombre de patients</u> : 28 patients (17 hommes, 7 femmes et 4 perdus de vu)</p> <p><u>Critères d'inclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Non-fumeurs actifs - Aucun antécédent neurologique - Aucune affection cardiaque, pulmonaire ou métabolique <p><u>Critères d'exclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ruptures ou traumatismes ligamentaires multiples - Polyarthrite rhumatoïde ou autres comorbidités importantes - Antécédent de thrombose veineuse profonde ou pathologie vasculaire - Injections intra articulaires dans le genou au cours des 6 mois précédents - Médicaments anticoagulants et Attelle de jambe postopératoire <p><u>Moyenne d'âge</u> : 29 pour le groupe d'occlusion contre 29 pour le groupe BFR.</p>
Intervention	<p>2 fois par semaine pendant 8 semaines à partir de 2 semaines après l'opération (à condition de remplir les critères pour commencer l'entraînement). La 1RM a été calculé à partir de la 10 RM et le BFR a été appliqué aux deux membres.</p> <p><u>Groupe expérimental (BFR) (n=18)</u> :</p> <p>Les patients ont effectué des exercices de presse à une jambe avec un stimulus d'occlusion (brassard) placé au niveau proximal de la hanche (4 séries de 30,15,15,15 répétitions à 30% de la 1RM avec 30 secondes de repos entre chaque série). Les participants effectuaient les exercices avec une flexion de genou entre 0 et 90°. Le stimulus était gardé pendant les temps de repos.</p> <p><u>Groupe témoin (n=16)</u> :</p> <p>Les patients ont effectué des exercices de presse à une jambe unilatérale (3 séries de 10 répétitions à 70% de la 1RM avec 30 secondes de repos entre chaque série). Les participants effectuaient les exercices avec une flexion de genou entre 0 et 90°.</p>
Critère de jugement	<u>Secondaire</u> : Douleur musculaire, Douleur articulaire au genou (pendant et après la séance).
Résultats	La douleur articulaire au genou était statistiquement plus faible dans le groupe BFR-RT que dans le groupe témoins pendant et 24h après l'entraînement. La douleur musculaire était plus élevée significativement dans le groupe BFR-RT par rapport au groupe témoins. Par conséquent, l'entraînement BFR avec faible intensité peut être plus avantageux pendant les premières phases de la rééducation post-opératoire du LCA.

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)

Date	2018
Méthode	Essai clinique randomisé (score PEDro 7/10)
Objectifs	Examiner les douleurs articulaires et musculaires ressenties lors de l'entraînement sous restriction du débit sanguin avec charge légère (30% de la 1RM) chez des patients avec reconstruction du LCA et des patients sains par rapport à l'entraînement traditionnel avec charges lourdes (70% de la 1RM) chez des patients ayant subi une reconstruction du LCA sur une seule séance.
Population	<p><u>Nombre de patients</u> : 30 patients entre 23 et 39 ans (23 hommes, 7 femmes)</p> <p><u>Critères d'inclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Non-fumeurs actifs - Aucun antécédent neurologique - Aucune affection cardiaque, pulmonaire ou métabolique <p><u>Critères d'exclusion</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ruptures ou traumatismes ligamentaires multiples - Polyarthrite rhumatoïde ou autres comorbidités importantes - Antécédent de thrombose veineuse profonde ou pathologie vasculaire - Injections intra articulaires dans le genou au cours des 6 mois précédents - Médicaments anticoagulants et Attelle de jambe postopératoire <p><u>Moyenne d'âge</u> : 28 pour le groupe NI-BFR (genou non blessé avec BFR), 31 pour le groupe ACLR-HL (genou blessé avec entraînement traditionnel) et 29 pour le groupe ACLR-BFR (genou blessé avec BFR)</p>
Intervention	<p>L'intervention se fait sur une séance unique (les patients étaient en moyenne à leur 23^{ème} jour post opératoire) et est composée de trois groupes :</p> <p><u>Groupe expérimental (ACLR-BFR) (n=10)</u> :</p> <p>Les patients ont effectué des exercices de presse à une jambe avec un stimulus d'occlusion (brassard) placé au niveau proximal de la hanche (4 séries de 30,15,15,15 répétitions à 30% de la 1RM avec 30 secondes de repos entre chaque série). Les participants effectuaient les exercices avec une flexion de genou entre 0 et 90°. Le stimulus était gardé pendant les temps de repos.</p> <p><u>Groupe témoin 1 (NI-BFR) (n=10)</u> :</p> <p>Les principes d'entraînement étaient les mêmes que dans le groupe ACLR-BFR à la seule différence que les patients n'étaient pas blessés (le BFR est appliqué sur la jambe dominante).</p> <p><u>Groupe témoin 2 (ACLR-HL) (n=10)</u> :</p> <p>Les patients ont effectué des exercices de presse à une jambe unilatérale (3 séries de 10 répétitions à 70% de la 1RM avec 30 secondes de repos entre chaque série). Les participants effectuaient les exercices avec une flexion de genou entre 0 et 90°.</p>

Critère de jugement	Secondaire : Douleur musculaire (à l'aide de l'échelle de Borg), Douleur articulaire au genou (pendant et après la séance à l'aide d'échelle de la douleur).
Résultats	La douleur musculaire a été évaluée dans les 3 groupes tandis que la douleur articulaire n'a pas été évaluée dans le groupe NI-BFR. Au cours de cette unique séance, l'entraînement BFR a diminué les douleurs articulaires et augmenté les douleurs musculaires significativement par rapport au groupe témoin.

Annexe 4 : Grille AMSTAR-2

Tableau I. Traduction française de AMSTAR-2.

Items	Cotation
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 ?

Résumé

Introduction : Après ligamentoplastie du ligament croisé antérieur (LCA), on retrouve fréquemment des déficits de force et de masse du quadriceps. Depuis des années, les protocoles traditionnels de renforcement préconisent l'utilisation de charges élevées mais celles-ci peuvent avoir des effets négatifs sur les douleurs articulaires du genou. Le renforcement sous restriction du débit sanguin (BFR) est présenté comme une alternative à la rééducation traditionnelle de la force musculaire.

Objectif : À travers cette revue de littérature nous avons recueilli les études scientifiques récentes afin d'étudier l'effet de l'entraînement avec BFR comme outil de réadaptation après reconstruction du LCA.

Méthodologie de recherche : Nous avons consultés différents moteurs de recherches tels que Pubmed, PEDro, Cochrane Library. Au total, cinq essais cliniques randomisés ont été inclus et l'échelle PEDro a été utilisé pour évaluer les risques de biais.

Résultats : Les critères de jugement de cette revue sont : la force, l'hypertrophie, la douleur articulaire et la qualité de vie et sont étudiés sur une population de 112 patients. L'entraînement BFR semble avoir un intérêt pour diminuer la douleur articulaire du genou ainsi que pour la qualité de vie. Cependant, les résultats sont mitigés quant à son intérêt dans la récupération de la force et du volume.

Discussion : L'hétérogénéité des protocoles, des échantillons, le faible nombre de patient inclus, le manque de résultats statistique et les différents biais de cette étude rendent l'interprétation des résultats et de leur applicabilité sur une population plus grande difficile. Par conséquent, des études supplémentaires de hautes qualités semblent nécessaires pour la pertinence clinique des preuves et l'homogénéisation d'un protocole standard.

Mots clés : Restriction du flux sanguin, Reconstruction du ligament croisé antérieur, haute intensité, Faible intensité, Force, Hypertrophie

Abstract

Introduction: After anterior cruciate ligament surgery, a deficit of strength and mass of the quadriceps is frequently found again. For years traditional strengthening protocols advocate the use of high loads but they can have negative effects on the knee joint pain. The strengthening under blood flow restriction is presented as an alternative to the traditional reeducation.

Objective: Thanks to this literature review we have collected the recent scientific studies to study the training with BFR as a rehabilitation tool after ACL reconstruction.

Research methods: Five randomized clinical trials were included by searching the Pubmed, Cochrane Library and PEDro databases. The PEDro scale was used for estimating the risk of bias.

Results: The outcomes of this review are strength, hypertrophy, joint pain, quality of life among a population of 112 patients. The BFR training seems to be interesting to reduce the knee as well as the life. However, the results are mixed as for the recovery of strength and mass.

Discussion: The heterogeneity of the protocols, the samples, the small number of patients, the lack of statistical results and the different bias of this study make the interpretation of the results difficult to apply on a large population. Consequently, additional high-quality studies seem necessary for the clinical relevance of evidences and the homogenization of a standard protocol.

Keywords: Blood flow restriction, anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR, high intensity, low intensity, strength, hypertrophy