

Faculté des sciences de la motricité

**The Impact of Blood Flow Restriction
Therapy on Pain Following ACL
Reconstruction: A Systematic Review**

Auteurs : Matteo Masala / Hadrien Delferrière

Promoteur(s) : COLLES Sacha / VANNOORENBERGHE Cédric

Année académique 2025-2026

Master en kinésithérapie et réadaptation [60.0] - KINE2M

UCLouvain FSM : Déclaration d'utilisation des aides et outils Intelligence Artificielle (IA)

J'ai utilisé l'IA pour ce projet : ☒ Oui
☐ Non

Si vous avez utilisé l'IA dans ce travail, veuillez préciser comment ci-dessous :

Texte (par exemple, vérification orthographique, génération de texte, production d'idées, ...)

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Reformulation de texte
Génération de plan
Orthographe

Images

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Code, aide à la programmation, ou algorithmes

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Autres utilisations

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Recherche d'articles
Tri d'articles

Je connais les règles de de la Faculté des sciences de la motricité de l'UCLouvain en matière d'intelligence artificielle. Je déclare que toute utilisation d'aides ou d'outils d'intelligence artificielle est explicitement mentionnée dans le présent formulaire de déclaration

Nom	MASALA / DELFERRIERE	Prénom	MATTEO / HADRIEN
-----	----------------------	--------	------------------

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre gratitude envers nos promoteurs, Monsieur Cédric Vannoorenberghe et Monsieur Sacha Colles, pour leur encadrement, leur disponibilité et leurs conseils avisés tout au long de ce travail.

Grâce à leur expertise et à leur accompagnement, nous avons pu approfondir notre réflexion et mener à bien notre mémoire.

Nous remercions également l'Université Catholique de Louvain et, tout particulièrement, nos professeurs pour nous avoir transmis les connaissances nécessaires pour la rédaction de ce travail.

Enfin, nous souhaitons également remercier nos proches pour leur soutien constant, leur patience et leurs encouragements. Leur présence a été essentielle dans l'aboutissement de notre mémoire.

Table des matières

I. Introduction.....	1
1.1. Contexte théorique.....	1
1.2. Qu'est-ce que le Blood Flow Restriction : BFR ?.....	3
1.2.1. Définition et utilisation :.....	3
1.2.2. Effets physiologiques du BFR :.....	5
1.2.3. Rôle du BFR dans la rééducation de l'ACLR :.....	5
1.2.4. BFR et gestion de la douleur :.....	6
II. Méthodologie.....	8
2.1. Plan de l'étude et objectif.....	8
2.2. Méthode de recherche.....	8
2.3. Critères d'éligibilité :.....	9
2.4. Risque de biais et qualité méthodologique des études :.....	10
2.5. Éléments de données :.....	10
III. Résultats.....	12
3.1. Sélection des études :.....	12
3.2. Caractéristiques des études :.....	13
3.3. Tableaux sur les caractéristiques, variables et résultats des études :.....	15
3.4. Mesures de la douleur à différentes semaines de suivi entre les groupes d'intervention et contrôle :.....	19
3.5. Résultats des effets du BFR sur la douleur au dernier temps de suivi :.....	21
3.6. Hétérogénéité décrite et résumé des résultats :.....	23
3.7. Niveau de confiance des données probantes :.....	24
3.8. Déclaration résumée :.....	25
IV. Discussion.....	26
4.1. Interprétation principale des résultats :.....	26
4.2. Analyse des études discordantes :.....	26
4.3. Limites méthodologiques :.....	31
4.4. Mise en perspective avec la littérature :.....	32
4.5. Influence des paramètres du BFR et des modalités d'entraînement :.....	32
4.6. Effets du BFR sur la douleur musculaire pendant l'exercice :.....	34
4.7. Implications cliniques futures et perspectives de recherche :.....	35
V. Conclusion.....	37
VI. Annexes.....	38
VII. Références bibliographiques.....	45

Liste des abréviations

- BFR : Blood Flow Restriction (restriction de l'afflux sanguin)
- BFRT : Blood Flow Restriction Training
- VS : Versus
- W/o : Without (sans)
- NR : Non Reporté
- DIDT : Tendon droit interne et demi-tendineux
- LCA : Ligament croisé antérieur
- KOOS : Knee Blessure and Osteoarthritis Outcome Score
- ACLR : Reconstruction du ligament croisé antérieur
- AM : Faisceau antéro-médial
- PL : Faisceau postéro-latéral
- EIH : Hypoalgésie induite par l'exercice
- CPM : Conditioned Pain Modulation (modulation conditionnée de la douleur)
- RCT : Randomised Controlled Trial (étude contrôlée randomisée)

- AMI : Inhibition Musculaire Arthrogène
- RM : Répétition maximale
- AOP : Pression d'occlusion artérielle
- SBP : Systolic Blood Pressure (Tension artérielle systolique)
- ECB : Endocannabinoïde
- VAS : Échelle visuelle analogique
- BPS : Borg Pain Scale
- PPT : Pressure Pain Threshold (Seuil de douleur à la pression)
- LL : Low Load (charge faible)
- HL : High Load (charge élevée)
- CI : intervalle de confiance
- LIE : Low intensity exercise (exercice basse intensité)
- HIE : High intensity exercise (exercice haute intensité)

I. Introduction

Le Blood Flow Restriction (BFR) est une technique de plus en plus utilisée ces dernières années en kinésithérapie. Principalement étudiée dans le cadre de l'hypertrophie musculaire, cette approche suscite désormais un intérêt croissant dans la prise en charge après reconstruction du ligament croisé antérieur (ACLR).

Dans ce contexte, ce mémoire a pour objectif de réaliser une revue systématique de la littérature afin d'évaluer l'impact du Blood Flow Restriction sur la douleur après reconstruction du ligament croisé antérieur, en réponse à la question de recherche suivante : "The impact of Blood Flow Restriction Therapy on pain following ACL reconstruction". Ci-après seront développés l'incidence de la rupture du ligament croisé antérieur ainsi que les différentes approches de prise en charge actuellement envisagées.

1.1. Contexte théorique

La rupture du ligament croisé antérieur est une blessure sportive fréquente, avec un taux d'incidence estimé à 35 cas pour 100 000 individus [10]. Elle survient le plus souvent lors d'un changement de direction rapide, lors d'une décélération ou d'un changement de vitesse, entraînant des contraintes combinées en valgus et en rotation au niveau du genou [2,32].

Le ligament croisé antérieur du genou joue un rôle essentiel dans la cinématique de l'articulation du genou. Il est constitué de deux faisceaux : le faisceau antéromédial et postérolatéral.

Le faisceau AM est principalement mis en tension lors de la flexion du genou et contribue à limiter la translation antérieure du tibia. Le faisceau PL, quant à lui, est mis en tension lors de l'extension du genou afin de stabiliser l'articulation contre les mouvements de rotation interne du tibia [1,31].

Malgré les progrès chirurgicaux et les protocoles de rééducation, la récupération complète reste un défi clinique. En effet, environ 80 % des patients reprennent une activité sportive après une reconstruction du ligament croisé antérieur (ACLR), mais seulement 65 % retrouvent leur niveau de performance pré-blessure [3].

Bien que la chirurgie du ligament croisé antérieur ne soit pas la prise en charge la plus fréquente pour pallier une rupture du LCA, seulement 196 589 patients ont bénéficié d'une chirurgie du ligament croisé antérieur sur 931 186 ruptures aux États-Unis [4]. Elle reste toutefois un traitement de choix pour un sportif souhaitant retourner à sa forme d'excellence pré-blessure.

La rupture du ligament croisé antérieur constitue une lésion majeure, car elle implique une période prolongée de récupération fonctionnelle, avec un retour aux activités physiques généralement estimé entre 6 et 13 mois [5].

Cette période correspond au temps nécessaire pour la cicatrisation, la reconstruction chirurgicale et la rééducation intensive. Cependant, elle peut varier en fonction du sport pratiqué, de la rigueur du protocole de rééducation et du niveau de performance du patient. De ce fait, cela peut engendrer une frustration importante chez les patients car ils souhaitent continuer leur activité sportive [29,30].

La technique chirurgicale la plus fréquemment utilisée est le DIDT (droit interne et demi-tendineux), avec une prévalence de 91 % aux États-Unis. Il s'agit d'une technique d'autogreffe qui consiste à prélever une partie du tendon du muscle droit interne (gracile) et demi-tendineux. La longueur de tendon prélevée est généralement comprise entre 6 et 7 cm. La voie d'abord antéromédial est la technique de référence pour prélever les tendons [7].

Après la chirurgie, le greffon passe par trois grandes étapes. La première correspond à une phase de nécrose initiale : le greffon subit une phase initiale de nécrose cellulaire induisant une réaction inflammatoire qui aura comme impact une destruction du collagène existant avec repeuplement par les nouvelles cellules. Cela explique la fragilité du greffon au début de la rééducation [7].

La deuxième phase est appelée la phase proliférative. Environ trois semaines après l'intervention, une production de facteurs de croissance endothéliaux vasculaires induit un processus de revascularisation du greffon. Cette phase s'accompagne d'un repeuplement cellulaire contribuant à la viabilité et à l'intégration du tissu implanté [7].

La troisième et dernière phase correspond à la phase de maturation. Elle marque le début de l'ostéointégration du greffon. En effet, de nouveaux fibroblastes sont produits et migrent du tunnel créé par le forage, lors de l'implémentation du tendon pendant la chirurgie, vers le greffon, favorisant ainsi la production de collagène de type 3 [7].

Après la chirurgie, une rééducation est nécessaire afin que le patient puisse retrouver son niveau pré-lésionnel. Ce début de rééducation s'accompagne généralement de douleur, de gonflement, de diminution de l'amplitude articulaire, d'une atrophie musculaire due à l'inactivité prolongée et d'une diminution de la qualité de vie [1].

Toutes ces complications résultent du traumatisme initial causant la rupture du ligament croisé antérieur, mais également de l'acte chirurgical qui implique différents éléments tels que : l'incision cutanée, le prélèvement tendineux, la gestion du garrot ou encore la réalisation de tunnels osseux lors du forage afin de permettre la fixation du greffon utilisé pour la reconstruction du ligament croisé antérieur [7]. La tendance de ces dernières années est de favoriser une prise en charge aussi précoce que possible afin de limiter le déconditionnement physique du patient et d'optimiser les conditions préopératoires.

Dans certains cas, une phase de pré-habilitation est instaurée avant l'intervention chirurgicale afin de restaurer l'extension complète du genou et de corriger l'inhibition musculaire arthrogène (AMI).

Ce mécanisme neurophysiologique central entraîne un déficit d'activation du quadriceps, souvent associé à une contracture réflexe des ischio-jambiers d'origine spinale, responsable du flexum fréquemment observé après rupture du ligament croisé antérieur.

Pour ce faire, un protocole a été mis en œuvre par [Sonnery-Cottet et al.](#) et a pour but de lever cette contracture réflexe, permettant de restaurer l'extension et de diminuer le risque de raideur post-opératoire. D'autre part, la littérature souligne qu'une chirurgie réalisée en présence d'un déficit d'extension et d'une AMI persistante est associée à une récupération plus longue et à un risque accru de complications [15].

L'un des principaux problèmes de la rééducation du ligament croisé est la fonte musculaire, principalement causée par la diminution d'activité induite par la chirurgie, la douleur, l'inflammation, le gonflement du genou ainsi que l'inhibition musculaire.

Dans ce contexte, la technique BFR s'avère être un allié précieux, car elle permet de commencer le renforcement musculaire de manière précoce, induisant des adaptations physiologiques significatives comprises entre 20 et 30 % de la charge maximale (1RM).

1.2. Qu'est-ce que le Blood Flow Restriction : BFR ?

1.2.1. Définition et utilisation :

Le BFR est une méthode d'entraînement avec restriction partielle de l'apport sanguin artériel et une restriction quasi complète du retour veineux lors d'un exercice de renforcement musculaire [11].

Cette technique a été développée par le Dr Yoshiaki Sato en 1996 au Japon. Elle était, initialement, intitulée "KAATSU" et s'est ensuite développée aux États-Unis puis plus récemment en Europe dans le domaine médical, notamment en kinésithérapie et en préparation physique [12].

En 2013, une méthode pour déterminer la pression restrictive, pouvant être utilisée durant un exercice avec le BFR, a été proposée par *Wilson et al.* Elle reposait sur l'utilisation d'une échelle de perception de la pression douloureuse variant de 0 à 10. Les auteurs suggèrent que le brassard du BFR devait être serré autour du membre, jusqu'à générer une pression modérée sans causer de douleur.

Plus récemment, le principe de l'individualisation a été introduit pour régler la pression restrictive pendant des exercices traditionnels du BFR et ce, à une variété de pourcentages de l'occlusion artérielle totale, pour un renforcement du membre mesuré par ultrasons Doppler ou, prédit en utilisant des équations standards développées en utilisant des mesures biométriques, telles que la circonférence du membre.

Les pressions d'occlusion utilisées sont plus raisonnables et se situent entre 40 et 80%. D'autre part, pour des raisons de sécurité, des protocoles de dépistage de pathologies artérielles périphériques sont utilisés avant toute inclusion de sujet dans une étude utilisant le BFR [33].

Le principal intérêt est d'obtenir des adaptations musculaires significatives en faisant un entraînement de renforcement musculaire avec des charges faibles (20-40% 1RM) comparables à celles obtenues à un entraînement avec des charges élevées (80% 1RM).

Pour ce faire, la pression optimale du brassard utilisée doit être de 40 à 80% de pression d'occlusion artérielle (AOP) pendant l'exercice. Pour ce qui est du volume et de la fréquence d'entraînement, un des protocoles recommandés serait composé de 2 à 3 séances par semaine avec 3 à 5 séries (75 répétitions au total) par séance.

D'autre part, le temps de repos idéal entre les séries est de 30 à 60 secondes avec une restriction du flux sanguin maintenue ou intermittente. Ce programme dure en majorité plus de 3 semaines et des adaptations sont observées dès les premières semaines d'entraînement [11]. Ses protocoles d'utilisation ont évolué au fil du temps.

En effet, à sa création, le BFR était utilisé comme un simple garrot réglé arbitrairement à 200 mmHg. Il a ensuite été proposé en 2005, au Japon, par Sato et Takano d'utiliser une pression d'occlusion de 120% de la "systolic blood pressure" (SBP) pour les membres supérieurs et de 140% de la SBP pour les membres inférieurs.

Utiliser cette méthode équivaut à réaliser des exercices de renforcement avec le même poids ou de faire courir à une même allure plusieurs individus sans prendre en compte les différences intrinsèques de ces individus.

D'autre part, l'utilisation de pressions d'occlusions arbitraires fixes est actuellement contre-indiquée car le fait d'augmenter une pression au-delà de la pression occlusive totale, augmente le risque de blessures ischémiques et nerveuses.

1.2.2. Effets physiologiques du BFR :

La réduction du retour veineux induite par le BFR entraîne une accumulation importante de métabolites dans le muscle, tels que le lactate, les ions hydrogène ou encore le phosphate inorganique.

Cette accumulation augmente le stress métabolique intramusculaire, stimule les voies anaboliques (mTORC1 et S6K) et inhibe les voies cataboliques comme MuRF1 et la myostatine, faisant ainsi pencher la balance vers la synthèse protéique et favorisant donc l'hypertrophie musculaire [8][33].

De plus, l'occlusion induit une ischémie tissulaire et donc une hypoxie, responsable d'une cascade de réactions stimulant l'activation des interleukines (IL-6), des neutrophiles et des macrophages, qui ont pour rôle d'activer la protéine mTOR, stimulant ainsi la synthèse protéique, mais aussi la prolifération et la croissance cellulaires.

En raison de cette hypoxie locale, le BFR induit également un recrutement précoce des fibres glycolytiques (type 2) car les fibres oxydatives (type 1) vont se fatiguer plus vite à cause de l'hypoxie tissulaire [8][12].

D'autre part, on observe aussi une augmentation de la réponse hormonale de l'hormone de croissance (GH), résultant en une augmentation de l'IGF1 ainsi qu'un gonflement cellulaire lié à une accumulation de fluide dans le muscle générée par la restriction du flux sanguin lors du retour veineux [8][33].

L'accumulation de produits métaboliques est également associée à l'activation de fibres nerveuses afférentes de groupe III et IV qui inhibent les motoneurones- α innervant les fibres des unités motrices lentes. Cela accélère le recrutement des fibres des unités motrices rapides qui sont plus réceptives aux adaptations hypertrophiques.

De plus, il est spéculé que la stimulation des chémorécepteurs centraux et périphériques par cette accumulation de métabolites après avoir dégonflé le brassard du BFR et réduit le volume diastolique (précharge) dû à la réduction du retour veineux lié au brassard pourrait être responsable de plusieurs changements physiologiques et d'adaptations liées à l'entraînement [33].

1.2.3. Rôle du BFR dans la rééducation de l'ACLR :

Les six premières semaines après une chirurgie de reconstruction du LCA représentent une période critique pour protéger la greffe. En conséquence, la mise en place d'exercices de renforcement musculaire à charge élevée (70-80% 1RM) est compliquée durant cette période.

De plus, l'atrophie et la faiblesse musculaire sont un problème commun que l'on doit privilégier chez les patients ayant subi une reconstruction du LCA. Le quadriceps fémoral est le muscle le plus affecté après blessure et reconstruction du LCA. Une revue de 2020 rapporte que le BFRT pourrait être une méthode

efficace pour augmenter la zone de section du quadriceps fémoral, lorsqu'il est incorporé dans un protocole de rééducation post-ACLR, comparé à un groupe de rééducation sans BFR [13].

La technique BFR pourrait permettre d'accélérer le processus de récupération musculaire en vue de son effet métabolique sur la croissance des myocytes, et ainsi permettrait aux patients d'accéder plus rapidement aux stades suivants de la rééducation.

La thérapie BFR associée à une thérapie "Low-Load" (20-40% 1RM) serait une alternative pertinente durant cette phase précoce de la rééducation. Cependant, par la suite, une fois que c'est possible, la méthode de renforcement à charge élevée (70-80% 1RM) est plus stimulante pour générer de l'hypertrophie musculaire et donc récupérer plus rapidement une meilleure fonctionnalité de son genou.

Selon de récentes études, le BFR améliorerait la fonction du genou et générerait des adaptations musculaires avec des effets similaires à l'entraînement "high load" (70-80% de la 1RM) sans porter atteinte à l'intégrité du greffon durant cette phase précoce de la rééducation postopératoire de l'ACLR [9][10]. L'utilisation du BFR améliorerait également la récupération et la fonction du genou (IKDC) selon une méta-analyse et revue systématique de 2025 [19].

Selon les guidelines de pratique clinique de la rééducation de l'ACLR de 2022, l'entraînement de "low load + BFR" pourrait améliorer la force des quadriceps et prévenir son atrophie dans la phase aiguë de rééducation. Il y a également un effet important sur la réduction du gonflement et les sensations d'inconfort durant l'exercice [14].

1.2.4. BFR et gestion de la douleur :

Les hypothèses neurophysiologiques sur les effets du BFR concernant la modulation de la douleur ont déjà été explorées par la littérature scientifique, notamment dans deux études : [Hughes, L., & Patterson, S. D. \(2020\)](#) et [Yang, J. et al \(2024\)](#). Il a été démontré que le BFR s'inscrit dans les mécanismes classiques de l'hypoalgésie induite par l'exercice (EIH) notamment via l'activation de circuits centraux (voies descendantes spinales et supraspinales) qui diminuent la transmission nociceptive.

L'EIH pourrait également être médiée par l'activation du système opioïde endogène via la libération de β -endorphines par l'axe neuroendocrinien. La libération de β -endorphines est permise par l'activation des fibres afférentes métabosensibles de type III et IV, qui sont stimulées par l'accumulation de lactate, la baisse de pH, l'hypoxie et l'ischémie générées par la restriction du retour veineux. Ces fibres vont également être activées par l'augmentation de la pression artérielle excitant le système sympathique et le niveau de stress global.

Une majorité du mécanisme d'hyperalgésie serait causée par un phénomène d'habituation impliquant une boucle inhibitrice appelée "Conditioned Pain Modulation" (CPM). Ce phénomène repose sur l'augmentation de la perception d'effort (RPE) et de la douleur perçue, essentielle à l'activation des afférences nociceptives et du déclenchement du CPM. Le BFR agit alors comme un stimulus nociceptif conditionnant qui va élever le seuil de perception de la douleur via cette boucle inhibitrice.

L'implication du système des endocannabinoïdes (ECB) et son rôle dans le phénomène d'EIH ont été remis en question dans ces articles et une augmentation de l'activité des récepteurs ECB (pas de modification significative de la 2-AG) n'a pas été relevée dans les études de [Hughes, L., & Patterson, S. D. \(2020\)](#) et [Yang, J. et al \(2024\)](#).

La gestion de la douleur postopératoire après une blessure du LCA est un enjeu de taille dans la phase aiguë de la prise en charge des patients ACLR. Elle est un frein majeur à la progression de la réhabilitation et au retour aux activités fonctionnelles en limitant la qualité de vie et en nourrissant l'appréhension.

D'autre part, une étude en neuroimagerie indique que la peur de la douleur et de la récurrence sont des entraves significatives au retour au sport après une ACLR[16].

Une autre étude explique que la kinésiophobie et la peur de récurrence sont des facteurs psychologiques limitants, entretenus par la douleur et qui diminuent le potentiel de rééducation [17][18].

Il est donc crucial durant cette phase précoce d'introduire un traitement antalgique permettant d'accélérer la récupération des patients et facilitant un passage vers des exercices de renforcement sans appréhension.

Ces dernières années, le Blood Flow Restriction a suscité un intérêt croissant dans le domaine de la rééducation du ligament croisé antérieur. De nombreuses études ont mis en évidence ses effets positifs sur le renforcement musculaire. Toutefois, si les bénéfices du BFR sur la force et la masse musculaire sont largement documentés, son impact sur la douleur postopératoire d'une chirurgie du ligament croisé, l'est beaucoup moins.

Dans ce contexte, l'objectif de cette revue systématique est d'évaluer les effets du BFR sur la douleur chez les patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA. Nous émettons l'hypothèse que l'utilisation du BFR, comparé à une thérapie sans BFR, associée à de faibles charges (20-40%1RM) conduit à une diminution de la douleur pendant et après la séance d'exercice.

II. Méthodologie

Cette partie exposera la méthodologie adoptée pour construire la question de recherche, en s'appuyant sur les critères PICO's. Elle présentera également la stratégie de recherche documentaire, en précisant les critères de sélection des articles, tout en justifiant la pertinence de ceux retenus en lien avec la question de recherche.

2.1. Plan de l'étude et objectif

Ce mémoire suit les guidelines PRISMA de 2020 (Page et al., 2021), présentées en détail au [tableau 8](#) en annexe.

Comme expliqué précédemment, l'objectif principal de cette revue systématique de la littérature est d'évaluer les effets d'un entraînement avec BFR, comparé à un entraînement conventionnel, sur la gestion de la douleur après une opération de reconstitution du LCA.

2.2. Méthode de recherche

Les critères PICO's ont été utilisés afin de trouver les différents mots-clés en lien avec notre question de recherche : « Quels sont les effets du BFR sur la douleur chez les patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA ? »

L'équation de recherche a été établie à l'aide du moteur de recherche avancée d'Embase d'un commun accord entre les 2 auteurs de ce mémoire.

Les opérateurs booléens « AND » et « OR » ont permis d'associer ces différents mots-clés.

Enfin, les recherches d'études ont été faites sur les bases de données PubMed, Embase et Cochrane via l'équation de recherches. Vous pouvez retrouver celle-ci dans le [tableau 3](#) en annexe.

Tandis qu'à la page suivante figure le tableau reprenant les différents critères PICO's.

Tableau des critères PICO's :

<u>Critères PICO's</u>			
	Termes en Anglais	Termes en Français	MeSH Termes
Population	Anterior Cruciate Ligament Reconstruction	Reconstruction du Ligament Croisé Antérieur	Anterior Cruciate Ligament
Intervention	Blood Flow Restriction	restriction de l'afflux sanguin	Blood Flow Restriction Therapy
Comparator	/	/	/
Outcome	Pain	douleur	Pain
Study Design	Randomized controlled trial	Étude randomisée contrôlée	Randomized Controlled Trial

2.3. Critères d'éligibilité :

a. Critères d'inclusion

- Patients adultes en période de rééducation postopératoire après reconstruction du ligament croisé antérieur
- Des exercices de rééducation post-opératoires incorporant une méthode d'entraînement de restriction du flux sanguin (BFR);
- Évaluation de la douleur après et/ou pendant l'utilisation du BFR;
- Tous les essais contrôlés randomisés (RCT) correspondant à nos critères PICO.

b. Critères d'exclusion

- Patients âgés de moins de 18 ans;
- Utilisation du BFR inférieure à 10 jours;
- Absence de groupe contrôle;
- Étude ne mesurant pas la douleur comme variable principale ou secondaire ou n'utilisant pas d'échelle d'évaluation valide (VAS, KOOS Pain, Pressure Pain Threshold (PPT), Borg Pain Scale);
- Revues systématiques et méta-analyses.

2.4. Risque de biais et qualité méthodologique des études :

Afin d'évaluer la qualité méthodologique de ces études, l'échelle PEDro (Physiotherapy Evidence Database) a été utilisée pour chacune d'entre elles.

Cette échelle est constituée de 11 items dont seuls les items 2 à 11 sont comptabilisés. Chaque étude a été évaluée parmi les domaines de la randomisation, l'aveuglement, la complétude des données, les critères d'éligibilité et l'assignation secrète.

L'évaluation PEDro a été réalisée sur chaque article par chacun des 2 auteurs, puis une mise en commun a été faite pour diminuer le risque de biais.

Parmi les neuf articles sélectionnés, l'article [Curran et al. \(2020\)](#) a finalement été exclu car son score PEDro est de 4/10, ce qui traduit une qualité méthodologique faible.

Par conséquent, huit articles ont été retenus et utilisés pour la rédaction de ce mémoire.

Sur ces huit articles :

- 5 articles ont un score PEDro élevé, allant de 7 à 9/10
- 3 articles ont un score PEDro moyen, allant de 5 à 6/10

Les scores PEDro détaillés sont présentés dans le [tableau 6](#) en annexe.

2.5. Éléments de données :

Toutes ces études ont étudié la douleur, soit comme critère de jugement principal, soit comme critère de jugement secondaire.

Les échelles sélectionnées pour l'extraction de données sont l'échelle visuelle analogique (VAS), Borg pain scale et la sous-échelle Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Pain (KOOS Pain). Ces échelles sont présentées dans le [tableau 1](#) en fonction des études.

Pour chaque étude incluse, les variables suivantes ont été extraites : sexe des participants, âge, type d'intervention, méthode de greffe utilisée, durée et fréquence de l'intervention. Le pourcentage d'occlusion du BFR ainsi que les types d'exercices effectués.

Dans l'étude de [Curley et al \(2021\)](#), l'âge moyen et le type de greffe, la fréquence, le type d'exercice et le pourcentage d'occlusion n'étaient pas précisés.

Tandis que dans l'étude de [Hughes et al \(2018\)](#), la fréquence des interventions n'était pas rapportée.

Ces données ont été considérées comme non rapportées.

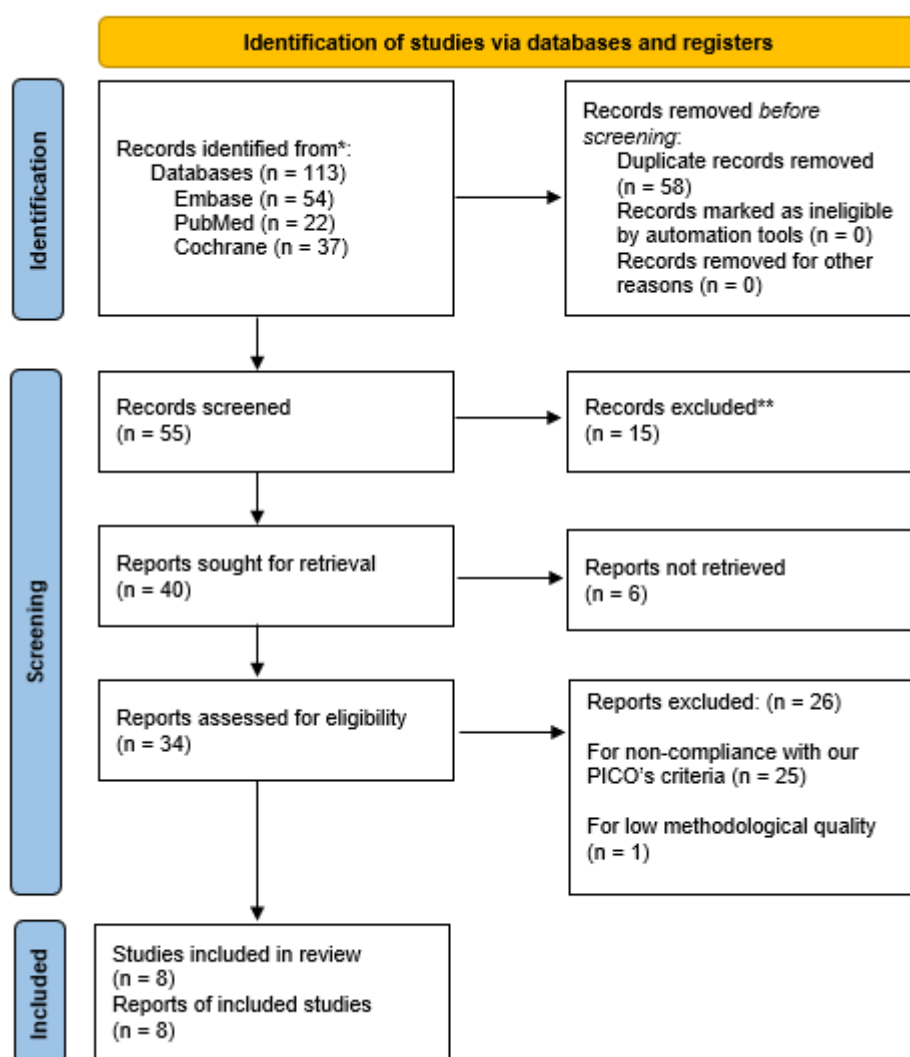
Toutes les autres variables ont été extraites selon les informations disponibles dans les articles.

Un résumé des données extraites a été réalisé dans le tableau d'extraction de données ([tableau 7](#)) en annexe.

III. Résultats

3.1. Sélection des études :

Le diagramme de flux PRISMA ci-dessous illustre l'ensemble des étapes ayant conduit à la sélection de ces huit articles.



L'entièreté des résultats de ces 3 bases de données a été regroupée sur le logiciel Endnote.

Ce qui a permis d'obtenir 113 articles : 22 sur PubMed, 54 sur Embase et 37 sur Cochrane.

Par la suite, 58 doublons ont été identifiés et supprimés.

Parmi les 55 articles restants, 15 ont été exclus car non pertinents au regard de notre sujet.

Au total, 40 articles ont été conservés à l'issue de la recherche.

La sélection des articles les plus pertinents parmi les 40 *articles restants* a été réalisée indépendamment par chacun des auteurs, suivie d'une mise en commun des résultats.

Les deux auteurs ont donc indépendamment examiné tous les articles restants et ont exclu ceux qu'ils jugeaient incohérents, sur base des critères d'exclusion établis au préalable. Chaque auteur a utilisé la même méthodologie et les différends ont été résolus par un consensus. Une relecture a permis de confirmer la sélection des articles.

Après mise en commun, neuf articles ont été retenus.

Cependant, comme précisé au point 2.4, l'étude de [Curran et al. \(2020\)](#) n'a pas été retenue pour la rédaction de ce mémoire en raison d'un score PEDro de 4/10.

Ce travail repose donc sur un total de huit essais contrôlés randomisés (RCT).

Il est important de préciser que la recherche d'articles a été faite à deux reprises.

La première recherche a été réalisée durant une période s'étalant de septembre 2025 à novembre 2025. La seconde a été réalisée en février 2026 afin d'être certain d'avoir les articles les plus récents avant le début de la rédaction de ce mémoire.

3.2. Caractéristiques des études :

Les huit RCT inclus impliquent un nombre total de 220 participants (âge moyen: 30,17 ans; dont 77,3% d'hommes).

La durée des interventions varie de 2 à 12 semaines, avec une fréquence d'entraînement située entre 2 et 3 séances par semaine.

La méthode de ACLR effectuée était en majorité une autogreffe des ischio-jambiers ou de type DIDT (sauf pour l'étude de Okoroha et al. 2023).

Le BFR était généralement appliqué pendant un entraînement de résistance à faible charge (20-30% de la 1RM), sauf pour deux articles où il n'y avait pas de techniques d'évaluation de la 1RM (Khalil et al. 2023 ; Okoroha et al. 2023). La pression d'occlusion était située à chaque fois à 80% de l'OAP (pression d'occlusion artérielle). Mis à part dans l'article de Curley et al. où l'OAP n'a pas été décrite.

Les exercices les plus communément inclus dans le groupe intervention sont : la presse à jambe unilatérale et bilatérale, le leg curl, leg extension et les squats ainsi que des exercices proprioceptifs (Khalil et al. 2023).

Les groupes contrôles ou groupes comparateurs utilisent un protocole d'entraînement de résistance à faible charge (LL) ou à charge élevée (HL : 70-80% de la 1RM) sans BFR, incluant une population ACLR ou de patients non blessés (NI). Le protocole d'exercice utilisé est le même que pour les groupes d'intervention.

Les critères d'évaluation principaux et/ou secondaires analysés sont : la perception de douleur mesurée à l'aide de l'échelle VAS (dans 4 des 8 études), le score de douleur KOOS (dans 2 des 8 études) et l'échelle Borg pain scale (dans 2 des 8 études). Une description détaillée des populations, méthode de RCLA, designs, critères de jugement et résultats est présentée dans le [tableau 1](#).

Un résumé des paramètres d'intervention est présent dans le [tableau 2](#).

3.3. Tableaux sur les caractéristiques, variables et résultats des études :

Tableau 1. Caractéristiques et résultats des études incluses

Étude	Population	ACLR méthode	Design et interventions	Outcomes	Résultats
Barzyk et al (2026)	Patients ACLR (n=30) Genre : 25H et 6F Age : 32.3 +-12.4	Autogreffe depuis semi-tendineux (DIDT)	RCT Intervention : BFR-LL (n = 15) 4 semaines Contrôle : même protocole LL w/o BFR (n = 15)	Douleur (PPT et VAS)	Pas de différence significative entre BFR-LL et LL sans BFR avec un P>0.05
Curley et al (2021)	Patients ACLR (n = 26) Âge : NR	NR	RCT Intervention : 12 semaines BFRT (n = 12) Contrôle : même protocole W/o BFR (n = 14)	Douleur (VAS,)	VAS : BFRT > contrôle (p = 0.041) à la semaine 6 et pas de différence significative à la semaine 12 (p = 0,912)
Hughes et al (2018)	Patients sains n=10) et ACLR (n = 20) Genre : 23H et 7F Âge : 28 +-5 (1) 29 +-5 (2) 31 +-7 (3)	Autogreffe ischios	RCT 2-3 weeks (1) NI-BFR (n = 10) (2) ACLR-BFR (n = 10) (3) ACLR-HL (n = 10)	Douleur musculaire et du genou (Borg pain scale)	Douleur musculaire : ACLR-BFR > NI-BFR (p<0.05) ACLR-BFR>ACLR-HL (P<0.01) Douleur du genou : ACLR-BFR < ACLR-HL (P<0.01)

Hughes, Rosenblatt et al (2019)	Patients ACLR (n = 28) Genre : 17H et 7F Âge : 29+-7	Autogreffe Ischios	RCT 8 semaines Intervention : BFR-RT (n = 14) Contrôle : HL-RT (n = 14)	Douleur (KOOS Pain) : score élevé = moins de douleur	KOOS : BFR-RT > HL-RT (P<0,01)
Hughes, Patterson et al (2019)				Douleur du genou pendant et 24h post-session Douleur musculaire (Borg Pain Scale)	Douleur de genou : pendant la session : BFR-RT < HL-RT (P<0.05) 24h après : BFR-RT < HL-RT de la session 4 à 10 (P<0.01) Douleur musculaire : BFR-RT > HL-RT (P<0.05)
Khalil et al. (2023)	Patients ACLR (n = 36) Genre : 31H et 5F Age : (A) 23.78+-3.934 (B) 25.22+-4.76	Autogreffe DIDT	RCT 3 mois Intervention : (A) CRP-BFR (n = 18) (B) Contrôle : CRP (n = 18)	Douleur (VAS)	pas de différence significative (P > 0.05)
Okoroha et al (2023)	Patients ACLR (n = 46) Genre : 28H et 18F Âge : (A) 25.4 +- 10.6 (B) 27.5 +-12	Autogreffes : (A) 13 BTB (tendon patellaire), 7 HS, 2 QT (B) 17 BTB, 6 HS, A QT	RCT 3 mois Intervention : (A) BFR (n = 16) Contrôle : (B) CRP (n = 22)	Douleur (VAS)	VAS : Pas de différence significative (P=0.068)
Vieira de Melo et al (2023)	ACLR patients (n = 24) Genre : 17H et 7F Âge : (A) 41.1+-9.8 (B) 39.6 +-10.8	Autogreffe ischios	RCT 12 semaines Intervention : (A) BFR (n = 12) (B) Contrôle : CRP (n = 12)	Douleur (KOOS)	KOOS :BFR > CRP (P<0.01)

Tableau 2. Variables extraites du groupe d'intervention (BFR) de chaque étude incluse

Études	Délai post-op	pression BFR	Charge (%1RM)	Fréquences (sessions/semaines)	Nombre de séries et répétitions/séance	Durée	Types d'exercices
Barzyk et al (2026)	4 semaines	80% OAP	20-30% (10RM)	2x/sem	4 séries : 30, 15, 15, 15.	4 sem	presse à cuisse bilatérale
Curley et al (2021)	1 semaine	NR	20-30%	NR	NR	12 sem	NR
Hughes et al (2018)	1 à 2 semaines	80% OAP	30%	NR	4 séries : 30, 15, 15, 15.	2 à 3 sem	presse à cuisse unilatérale
Hughes, Rosenblatt et al (2019)	2 semaines	80% OAP	30%	2x/sem	4 séries : 30, 15, 15, 15	8 sem	presse à cuisse unilatérale
Hughes, Patterson et al (2019)	2 semaines	80% OAP	30%	2x/sem	4 séries : 30, 15, 15, 15	8 sem	presse à cuisse unilatérale
Khalil et al. (2023)	2 semaines	80% OAP	30%	3x/sem	3 séries : 3 x 10 reps puis 3 x 15 reps	12 sem	exercices de proprio et de renfo progressif avec élastique.

<u>Okoroha et al (2023)</u>	3 jours	80% OAP	NR	2-3x/sem	1 série : 30, 15, 15, 15.	12 sem	squats, extensions de genou, de mollets, abduction et extension de hanche
<u>Vieira de Melo et al (2023)</u>	4 semaines	80% OAP	20-30% 1RM	2x/sem	4 séries : 30, 15, 15, 15.	12 sem	presse à cuisse unilatérale, flexion de genou unilatérale

3.4. Mesures de la douleur à différentes semaines de suivi entre les groupes d'intervention et contrôle :

Ce tableau reprend l'ensemble des points de mesure des différentes études aux semaines 1, 4, 6, 8 et 12, lorsque les données étaient disponibles.

Lorsqu'un graphique était fourni, les données ont été extraites à l'aide du logiciel WebPlotDigitizer.

	Echelle	Semaine 1	Semaine 4	Semaine 6	Semaine 8	Semaine 12
Barzyk et al. (2026)	VAS	C : 3,7 ± 1,9 I: 3,2 ± 2,2	C : 1,5 ± 1,3 I : 1,3 ± 1,4	/	/	/
Curley et al (2021)	VAS	C : 3.37 I : 1.99	/	C : 2.5 I : 0.6 #	/	C : 0.9 I : 1.0
Hughes et al (2018)	BPS	Différence de 1.3 en faveur du groupe BFR à 3 semaines post-op #				
Hughes, Patterson et al (2019)	KOOS Pain	C : 3.43 ± 1.64 I : 1.38 ± 0.96	C : 2.59 I : 0.5 #	C : 1.8 I : 0.35 #	/	C : 1.37 I : 0.12 #

Hughes, Rosenblatt et al (2019)	BPS	Différence moyenne semaine 0 à 4 C :11.67±6.11 I : 30.25±9.29 #	Différence moyenne semaine 0 à 8 C :22.00±7.48 I :39.75±11.74 #	/	/	/
Khalil et al. (2023)	VAS	Pré-opération C :5.24 ± 1.48 I :5.35 ± 1.64	/	1.5m (± 6 sem) C : 4.22 ±1.26 I : 4.06 ±1.43	/	3m (± 12 sem) C : 1.39 ± 0.70 I : 1.00 ± 1.19
Okoroha et al (2023)	VAS	C : 2.9 ±2.5 I : 1.8 ± 1.5	/	/	/	C : 0.50 ± 0.89 I : 0.79 ± 0.80
Vieira de Melo et al (2023)	KOOS Pain	/	C :70.67±3.30 I : 90.58±3.20	/	C : 76.92±3.94 I : 99.50±0.48	C : 88,00±2,35 I : 100,00±0 #

Légende :

- C : groupe contrôle
- I : groupe intervention
- Les données mise en “gras” ont été extraites de graphes via le logiciel WebPlotDigitizer.
- # : la différence entre les groupes est significative.

3.5. Résultats des effets du BFR sur la douleur au dernier temps de suivi :

Les huit RCTs présentes évaluent la perception subjective de la douleur (en général) et la douleur du genou pendant la session d'exercice (VAS, KOOS) :

- Quatre d'entre elles rapportent une diminution significative de la douleur lors de l'intervention BFR :
 - (Hughes et al. 2018) : score d'échelle de la douleur de Borg plus bas dans le groupe ACLR-BFR comparé au groupe ACLR-HL, avec une différence moyenne de 1,3 (95% CI: 1.890 à 0.750, $p<0.01$).
 - (Hughes, Rosenblatt et al. 2019) : le score de l'échelle de douleur KOOS est significativement plus grand après 8 semaines d'entraînement avec BFR-RT ($67 \pm 10\%$ vs. $39 \pm 14\%$; $P<0,05$)
 - (Hughes, Patterson et al. 2019) : la moyenne de la douleur du genou est plus basse dans le groupe BFR-RT comparé au groupe HL-RT durant chaque session ($p<0.05$, différence moyenne = 2.5 (95% CI: 2.2 to 2.8)).
 - (Vieira de Melo et al. 2023) : le questionnaire KOOS montre des différences statistiques significatives ($P < 0.01$) après 12 semaines pour le groupe BFR. Les scores du KOOS sont de 88 pour le groupe contrôle et de 100 pour le groupe BFR.
- Quatre d'entre elles ne rapportent aucune différence significative entre les groupes :
 - (Barzyk et al. 2026) : la douleur objective (PPT) et subjective (VAS) mesurée n'a pas démontré de différence significative entre les groupes. Les scores VAS pour l'évaluation de la douleur quotidienne sont 1.3 ± 1.4 dans le groupe d'intervention et 1.5 ± 1.3 dans le groupe contrôle.
 - (Khalil et al. 2023) : il n'y a pas de différence significative entre les groupes ($P>0.05$). Le score de l'échelle VAS est de 1.39 ± 0.7 dans le groupe CRP et de 1.00 ± 1.19 dans le groupe CRP+BFR.

- (Okoroha et al. 2023) : pas de différence significative entre le groupe BFR (VAS = 0.79 ± 0.80) et le groupe contrôle (VAS = 0.50 ± 0.89) avec un $P = 0.191$.
- (Curley et al. 2021) : pas de différence significative à la semaine 12, le score VAS du groupe BFR est de 1 et le score VAS du groupe contrôle est de 0.9 ($P = 0.912$).

Une des huit RCT évaluait la douleur du genou 24h après la session d'entraînement et rapporte une diminution significative lors de l'intervention BFR:

- (Hughes, Patterson et al. 2029b) : la douleur du genou moyenne après entraînement est plus basse dans le groupe BFR-RT comparé au groupe HL-RT à tous les moments (($p < 0.01$, différence moyenne = 3.1 (95% CI: 2.9 to 3.3)) (Borg Pain Scale).

3.6. Hétérogénéité décrite et résumé des résultats :

Globalement, les résultats apparaissent hétérogènes, avec une tendance en faveur du BFR pour certaines échelles (KOOS Pain, Borg Pain Scale), tandis qu'aucune différence significative, ni tendance claire ne se dégage pour la VAS.

L'hétérogénéité des résultats est sûrement due à la répartition des sexes, aux différents protocoles d'exercices, à la variabilité des échelles d'évaluation de la douleur, et au temps de rééducation (2-12 semaines post-ACLR).

Une synthèse est retrouvée dans le [tableau 4](#) ci-dessous.

Tableau 4. Résumé des variables et cohérence directionnelle

Outcome	Études (nombre)	Tendance (BFR vs contrôle)	Fiabilité/cohérence	Différence moyenne (MD)
Douleur générale du genou	8	4 tendent vers une diminution 4 tendent pour des résultats égaux	KOOS Pain : modéré vers diminution douleur VAS : faible car absence de tendance claire entre les groupes Borg Pain Scale : modéré vers diminution douleur	KOOS : +12 à +28 points VAS : -0.29 à +0.39 points Borg Pain scale : -1.3 à -2.5 points
Douleur du genou 24h>	1	diminution	/	Borg Pain Scale : -3.1 points

3.7. Niveau de confiance des données probantes :

Parmi les huit essais contrôlés randomisés sélectionnés, quatre rapportent un intervalle de confiance (CI) à 95 %, tandis que les quatre autres ne le mentionnent pas pour le critère de jugement principal.

Détails des CI dans le [tableau 5](#), ci-dessous.

Tableau 5. Résumé des CI par critère de jugement

Articles	Outcomes	Niveau de confiance (CI)
Barzyk et al.(2026)	douleur générale du genou	NR
Curley et al. (2021)	douleur générale du genou	NR
Hughes et al (2018)	douleur musculaire	95% (2.942 - 7.758)
	douleur du genou	95% (1.890 - 0.750)
Hughes, Rosenblatt et al. (2019)	douleur générale du genou	95% (23,11 à 36,39) pour BFR et (17,77 à 26,23) pour contrôle
Hughes, Patterson et al. (2019)	douleur du genou pendant la session	95% (2,2-2,8)
	douleur du genou >24h	95% (2.9-3.3)
	douleur musculaire	NR
Khalil et al. (2023)	douleur générale du genou	NR
Okoroha et al. (2023)	douleur générale du genou	NR
Vieira de Melo et al. (2022)	douleur générale du genou	95% (83.52-92.72) pour groupe contrôle et 95% (100-100) pour BFR

3.8. Déclaration résumée :

À travers les huit essais contrôlés randomisés (RCT) analysés, seuls quatre montrent qu'un entraînement avec BFR permet une diminution de la douleur globale du genou.

Cette amélioration est principalement observée dans les études utilisant les échelles KOOS Pain et Borg Pain Scale, mais pas dans celles ayant recours à l'échelle VAS, à l'exception d'une diminution de la douleur du genou 24 heures après l'exercice (réduction de -2,9 à -3,3 points sur l'échelle VAS).

Le BFR pourrait ainsi constituer une approche pertinente pour la gestion de la douleur après une reconstruction du ligament croisé antérieur (ACLR) et représenter un outil thérapeutique intéressant durant la phase de rééducation post-opératoire.

IV. Discussion

4.1. Interprétation principale des résultats :

Comme observé dans les résultats, quatre des huit articles inclus rapportent une réduction significative de la douleur par rapport au groupe contrôle.

À l'analyse de la tendance générale, comme illustré dans le [tableau 4](#), une diminution de la douleur semble se dégager en faveur des groupes BFR. Néanmoins, il reste difficile d'en tirer des conclusions robustes en raison du faible nombre d'études incluses dans ce travail, ainsi que de l'importante hétérogénéité des protocoles utilisés. Cette variabilité s'explique notamment par l'absence de protocoles clairs et standardisés concernant l'utilisation du Blood Flow Restriction.

4.2. Analyse des études discordantes :

Bien que plusieurs études incluses dans cette revue rapportent des effets significatifs de l'entraînement avec restriction du flux sanguin, certaines présentent des résultats divergents. Cette hétérogénéité des conclusions nécessite une analyse approfondie afin d'identifier les facteurs susceptibles d'expliquer ces discordances, qu'ils soient liés aux caractéristiques des populations, aux protocoles d'intervention ou aux méthodes d'évaluation.

Commençons par l'étude de [Curley et al. \(2021\)](#) où de nombreuses informations concernant le protocole utilisé sont manquantes, telles que le pourcentage d'OAP, la fréquence de l'intervention, le nombre de répétitions d'exercices, ainsi que le type d'exercices effectués.

Ce manque de précisions méthodologiques limite l'interprétation des résultats. Ce qui reste néanmoins particulièrement intéressant dans cette étude, malgré le manque de précision concernant le protocole, est l'évolution du score VAS : entre le temps initial (T0) et la sixième semaine d'utilisation du BFR, un écart se creuse progressivement entre les groupes, atteignant un maximum à la semaine 6.

Par la suite, entre la semaine 6 et la semaine 12, cet écart diminue progressivement, les scores des deux groupes se rapprochant jusqu'à devenir presque équivalents. Cela laisse suggérer que l'utilisation du Blood Flow Restriction dans les premières semaines de rééducation pourrait améliorer la douleur du genou chez les patients après une reconstruction du ligament croisé

antérieur. En revanche, sur le moyen et long terme (12 semaines et au-delà) le BFR ne semble pas apporter plus de bénéfice qu'une rééducation classique du point de vue de la douleur.

Des résultats similaires sont également rapportés dans l'étude de [Hughes et al. \(2018\)](#), où le protocole de rééducation avec BFR a été initié entre la première et la deuxième semaine postopératoire, des effets significatifs sur la douleur du genou ont été observés sur l'échelle Borg Pain Scale, malgré une durée d'intervention relativement courte, n'excédant pas trois semaines.

Bien que ces deux dernières études utilisent des échelles différentes pour évaluer la douleur, l'échelle Borg Pain Scale et la VAS présentent une corrélation positive très élevée ($r \approx 0,99$), suggérant que les variations de perception rapportées par ces deux outils évoluent de manière similaire. Cette forte association permet donc une comparaison prudente des résultats entre les deux échelles. Toutefois, ces échelles ne mesurent pas le même construit : la Borg Pain Scale reflète une perception globale de l'effort incluant la douleur, tandis que la VAS évalue plus spécifiquement la douleur perçue [\[45\]](#).

Le moment d'introduction du BFR dans le protocole de rééducation pourrait influencer les résultats observés. Comme observé dans l'étude de [Curley et al. \(2021\)](#), le groupe BFR présente une amélioration plus marquée de la douleur à mi-parcours du protocole, avant que cette différence ne s'atténue à la douzième semaine du protocole, correspondant à la treizième semaine post-opératoire. Cela pourrait être dû à l'évolution naturelle de la douleur lors d'une rééducation du ligament croisé classique.

En effet, la littérature suggère l'apparition d'une phase de plateau de la douleur entre la douzième et la quatorzième semaine post-opératoire, ce qui correspond au moment des dernières mesures dans cette étude [\[40\]](#).

Dans ce contexte, l'absence de différence entre les groupes à long terme ne signifie pas nécessairement une inefficacité du BFR durant la rééducation, mais pourrait refléter une convergence liée à l'évolution naturelle de la douleur.

Ces résultats soulignent l'hypothèse selon laquelle le BFR pourrait principalement agir en phase précoce de rééducation, en permettant une diminution plus rapide de la douleur par rapport à une prise en charge classique.

Le BFR pourrait-il constituer un outil permettant d'accélérer la récupération de la fonction du genou, grâce à une amélioration précoce de la douleur durant les premières semaines post-opératoires ?

Actuellement, les recommandations en matière de prise en charge après reconstruction du ligament croisé antérieur ne reposent plus sur des protocoles

stricts et standardisés, mais privilégient une approche individualisée. Celle-ci consiste à adapter progressivement les séances en fonction de l'évolution du patient et de l'état clinique de son genou, notamment la douleur, l'inflammation ou encore le gonflement, qui constituent des critères déterminants dans la progression de la rééducation.

Dans ce contexte, les résultats observés sur la douleur sont encourageants dans une optique d'optimisation de la prise en charge. En effet, si la douleur tend à atteindre une phase de plateau, l'utilisation du BFR semble permettre d'y parvenir plus rapidement qu'une rééducation conventionnelle. Ainsi, en réduisant plus précocement la douleur, le BFR pourrait faciliter une progression plus rapide dans les différentes étapes de la prise en charge. Cela favoriserait alors une récupération plus efficace d'autres paramètres essentiels du genou, tels que la fonction globale ou encore les capacités musculaires.

L'analyse des résultats de l'étude de [Vieira de Melo et al. \(2023\)](#) montre une nette amélioration du KOOS Pain à 12 semaines avec une taille d'effet (d de Cohen) de 1,96 entre le groupe contrôle et le groupe BFR.

Cela indique une différence importante entre les moyennes des deux groupes, en faveur du groupe ayant utilisé le BFR. Il est particulièrement intéressant de constater que cette différence reste significative à 12 semaines post-opératoires.

À l'inverse, dans l'étude de [Curley et al. \(2021\)](#), qui utilise l'échelle VAS, aucune différence significative n'est observée entre les groupes à ce même délai. Cela peut être expliqué par le fait que ces deux échelles sont différentes, malgré le fait qu'elles évaluent toutes les deux la douleur.

L'échelle KOOS Pain évalue la douleur globale du genou de manière plus fonctionnelle. Et ce, à travers différentes questions portant sur divers mouvements et activités de la vie quotidienne, la fréquence des douleurs, la nuit, etc. Elle est ainsi considérée comme plus fonctionnelle et plus complète que l'échelle VAS.

L'échelle VAS reste malgré tout une échelle intéressante et reconnue permettant de déterminer la douleur du patient à l'instant T. Ces deux échelles apparaissent complémentaires. Néanmoins, l'hétérogénéité des outils utilisés entre les études limite la comparabilité des résultats. L'intégration conjointe d'une échelle évaluant la douleur fonctionnelle (ex. : KOOS Pain) et d'une échelle mesurant la douleur à un instant donné (ex. : VAS) au sein de chaque étude évaluant la douleur aurait permis de préciser les mesures et d'assurer une meilleure comparabilité inter-études.

Intéressons-nous à présent à l'étude de [Barzyk et al. \(2026\)](#) qui n'observe pas de différence significative entre les groupes concernant la douleur.

Dans cette étude, l'intervention débute à quatre semaines post-opératoires et se termine à huit semaines, donnant des résultats équivalents entre les deux groupes. Il s'agit également de l'un des protocoles les plus tardifs parmi les études incluses, comparable à celui de [Vieira de Melo et al. \(2023\)](#).

L'absence de différence significative pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs méthodologiques.

Tout d'abord, la rééducation avec BFR a peut-être été introduite trop tard. En effet, le temps nécessaire au développement des adaptations physiologiques pourrait conduire à dépasser la sixième semaine, qui, d'après l'étude de [Curley et al. \(2021\)](#), semble correspondre à une période clé d'amélioration de la douleur.

Ensuite, le volume d'entraînement semble limité, avec un protocole reposant uniquement sur de la presse à cuisse bilatérale, réalisé à raison de quatre séries, deux fois par semaine. Cette faible dose d'entraînement pourrait ne pas être suffisante pour induire une adaptation notable de la douleur, en lien avec les principes de dose-réponse décrits dans la littérature, qui seront mieux détaillés au point [4.5](#) de ce travail.

De plus, comme mentionné précédemment, le seul exercice effectué ici était de la presse à cuisse en bilatéral. Or, dans les quatre études qui ont démontré un effet significatif du BFR sur la douleur, les protocoles incluent des exercices unilatéraux avec une charge entre 20 et 30% de la 1RM.

Au vu de ces éléments, l'intégration d'exercices unilatéraux, permettant de cibler spécifiquement le membre pathologique, pourrait favoriser une meilleure récupération en termes de douleur par rapport à des exercices réalisés de manière bilatérale.

Plusieurs études ont mis en évidence la présence de phénomènes de "fear avoidance" et de kinésiophobie après reconstruction du ligament croisé antérieur. Ces facteurs psychologiques peuvent influencer le comportement moteur des patients lors de la rééducation, en induisant une diminution de la sollicitation du membre opéré, par peur de douleur ou de re-blessure.

Dans ce contexte, lors d'exercices bilatéraux, une répartition asymétrique de la charge au profit du membre sain pourrait être observée [[43,44](#)].

D'après la littérature, une rééducation incluant des exercices unilatéraux comparativement aux exercices bilatéraux donne de meilleurs résultats en termes de symétrie fonctionnelle et musculaire des membres inférieurs [[42](#)]. Cependant aucune étude n'a été identifiée comparant les exercices bilatéraux et unilatéraux

avec la douleur comme critère de jugement principal. Au vu de la tendance observée, il serait pertinent d'investiguer davantage cette piste.

Au regard des différents éléments discutés concernant l'étude de [Barzyk et al. \(2026\)](#), les résultats non significatifs observés pourraient s'expliquer par une combinaison de ces différents facteurs : timing relativement tardif, faible volume d'entraînement ainsi qu'une absence de travail unilatéral.

Un constat similaire peut être établi pour les deux études suivantes : [Khalil et al. \(2023\)](#) et [Okoroha et al. \(2023\)](#). Il est probable qu'un manque de volume et d'intensité dans les exercices réalisés ait limité les adaptations physiologiques attendues.

Dans la première étude, le protocole repose principalement sur des exercices de proprioception et un renforcement progressif à l'élastique. Il est possible que les contraintes mécaniques appliquées aient été insuffisantes pour induire des adaptations significatives.

De plus, la mise en place d'une surcharge progressive précise à l'aide d'un élastique demeure complexe, en raison de la variabilité de la résistance générée tout au long du mouvement.

Dans la seconde étude, une seule série par exercice a été prescrite aux patients. De plus, aucune information n'est fournie concernant les charges ou les pourcentages de 1RM utilisés.

La comparaison avec les études ayant mis en évidence des effets bénéfiques du BFR sur la douleur laisse suggérer que le volume et l'intensité des exercices constituent des facteurs déterminants pour induire une diminution de la douleur du genou. Cela pourrait ainsi expliquer l'absence de résultats significatifs observée dans cette étude en ce qui concerne la douleur.

Les deux dernières études, [Hughes, Rosenblatt et al. \(2019\)](#) et [Hughes, Patterson et al. \(2019\)](#), ont été menées simultanément sur un même échantillon de patients. Après huit semaines d'intervention, la première met en évidence une amélioration significative du score KOOS Pain dans le groupe BFR par rapport au groupe contrôle, tandis que la seconde rapporte une diminution significative de la douleur évaluée à l'aide de l'échelle Borg Pain Scale dans le groupe BFR, comparativement au groupe contrôle.

Il est important de préciser que le groupe contrôle correspondait à un groupe "high load", travaillant donc avec des charges élevées (70 % de 1RM).

Il est donc légitime de se demander si les meilleurs résultats observés dans le groupe BFR ne sont pas liés à la forte contrainte appliquée au groupe contrôle, qui aurait pu engendrer des douleurs plus importantes au niveau du genou.

Les auteurs rapportent qu'il n'y avait aucune différence de perception de l'effort entre les 2 groupes. Ils déclarent également que le BFR semble intéressant en phase précoce de rééducation.

Ces résultats rejoignent le message général de ce mémoire : l'efficacité du BFR semble dépendre du protocole utilisé, de l'intensité des exercices et du moment de son introduction dans la rééducation.

4.3. Limites méthodologiques :

Le Blood Flow Restriction (BFR) apparaît comme une technique encore relativement récente dans la littérature scientifique. Le manque de protocoles standardisés rend difficile l'établissement de conclusions robustes.

En effet, une forte hétérogénéité existe entre les études, tant au niveau de la durée des interventions que des exercices proposés.

Par ailleurs, ce travail porte sur l'évaluation de la douleur, qui constitue, par définition, une expérience subjective. Il est donc difficile d'obtenir une mesure parfaitement fiable de cette variable.

De plus, il n'a pas été possible de regrouper l'ensemble des résultats issus des différentes échelles en une seule mesure synthétique. En raison de l'hétérogénéité des études, plusieurs outils d'évaluation ont été utilisés (VAS, KOOS Pain, Borg Pain Scale), ce qui limite la comparabilité directe des résultats.

Dans les études sélectionnées, aucun groupe placebo utilisant une technique simulant le BFR n'a été identifié ; les groupes dits « contrôle » suivaient uniquement un traitement conventionnel. Cela constitue une limite méthodologique de ce travail et pourrait contribuer à un biais potentiel dans les résultats.

4.4. Mise en perspective avec la littérature :

Cette revue systématique de la littérature publiée en 2024 [46], qui est à notre connaissance la plus récente sur le sujet, rapporte des résultats concordants avec les nôtres concernant l'effet du BFR sur la douleur. Cette revue inclut trois des huit études utilisées dans la rédaction de ce mémoire.

Les auteurs mettent en évidence une diminution significative de la douleur, bien que les résultats demeurent limités et hétérogènes. Ces conclusions rejoignent notre réflexion quant à la nécessité d'établir un protocole standardisé de Blood Flow Restriction afin d'optimiser ses effets sur la douleur.

Ainsi, des études supplémentaires sont nécessaires pour approfondir l'analyse de cette approche.

4.5. Influence des paramètres du BFR et des modalités d'entraînement :

Il est établi que générer des adaptations musculaires en hypertrophie et en force repose sur une relation dose-réponse. Elle est influencée par plusieurs paramètres dans la technique d'utilisation du BFR et dans les modalités d'entraînements utilisées.

Une méta-analyse a évalué la relation dose-réponse du BFR en fonction de différentes variables (comme la fréquence d'entraînement par semaine, la durée d'entraînement, le pourcentage de la 1RM utilisée avec le BFR et la pression d'occlusion maximale) sur le gain en force des extenseurs et fléchisseurs du genou, ainsi que sur la progression de la 1RM au squat.

D'après leurs résultats, les conditions optimales d'entraînement observées sont une charge de 30% de la 1RM, une fréquence d'entraînement de trois fois par semaine, et une pression d'occlusion d'au moins 200 mmHg [36].

Évidemment, les normes des conditions de dose-réponse établies pour les adaptations musculaires ne sont pas directement transposables aux effets du BFR sur la douleur. Il n'existe pas de consensus clair dans la littérature scientifique actuelle concernant les modalités optimales du BFR et de l'entraînement pour générer un effet antalgique.

Cependant, plusieurs études suggèrent une relation incertaine entre la pression d'occlusion artérielle (OAP) et le taux d'hypoalgésie induit par l'exercice (EIH). Selon les résultats d'une revue systématique, on observe une augmentation du seuil de perception de la douleur dans un groupe BFR avec une OAP à 80% par rapport à un groupe BFR avec une OAP à 40%, cinq minutes après l'arrêt de

l'exercice. La méthode BFR utilisée dans les deux groupes était associée à une faible charge d'entraînement (30% de la 1RM)[[37](#)].

Des résultats similaires sont retrouvés dans une revue narrative reprenant plusieurs études qui traitent de l'hypoalgésie induite par l'exercice selon le protocole d'utilisation du BFR.

Ces différentes découvertes nous montrent que les différents paramètres d'entraînement et de modalité d'utilisation du BFR influencent fortement l'effet qu'ils peuvent avoir sur la douleur, sans pour autant qu'il y ait une corrélation stricte de dose-réponse.

Il semble que l'effet du BFR associé à des charges faibles pourrait conférer une réponse hypoalgésique similaire à celle observée avec un entraînement avec charge lourde et ce, de manière plus importante, si la pression d'occlusion est élevée (proche de 80% d'OAP). Cependant, il reste d'autres facteurs à prendre en considération qui modulent certainement l'EIH [[37](#)][[38](#)].

Dans l'étude de [Karanasios et al. \(2023\)](#), on voit également, dans la partie résultats, qu'il y a un meilleur effet d'hypoalgésie (PPT plus élevé) dans le groupe LIE-BFR (Low intensity exercise + BFR) par rapport au groupe LIE seul à tous les moments de mesures.

Il est aussi indiqué que le groupe HIE (high intensity) a montré un seuil de perception à la douleur plus élevé que le groupe LIE (low intensity) à tous les moments de mesures, cinq minutes après l'exercice.

Ce qui signifie également un effet hypoalgésique plus puissant lorsque l'intensité est plus élevée. Ce qui montre qu'il y a un effet plus important sur l'hypoalgésie lorsque l'intensité de l'exercice est plus élevée [[37](#)].

L'étude de [Hughes et al. \(2020\)](#), comprise dans la méta-analyse de [Yang et al. \(2022\)](#) donne une indication supplémentaire : les effets du BFR additionné à un entraînement de basse intensité, ainsi que l'entraînement à haute intensité, démontrent une augmentation significative du seuil de perception de la douleur (diminution de la douleur) par rapport à un groupe LIE (basse intensité uniquement).

Ceci nous indique que le BFR + LIE semblent avoir des effets hypoalgésiques similaires à la thérapie HIE. Il est possible d'émettre l'hypothèse qu'il y a une plus-value d'utiliser le BFR seulement lorsque l'utilisation d'exercice à haute intensité (charges élevées) n'est pas envisageable, ce qui est cohérent avec les recommandations d'utilisation pour l'hypertrophie ou les gains de force.

Il est plausible que les effets du BFR reposent sur des mécanismes similaires à ceux mobilisés lors d'exercices de haute intensité, suggérant un possible effet plafond.

Toutefois, cette hypothèse nécessite d'être confirmée par des études comparant directement les conditions HIE avec et sans BFR [[34](#)].

4.6. Effets du BFR sur la douleur musculaire pendant l'exercice :

Dans l'étude de [Hughes, Patterson et al. \(2019\)](#) et [Hughes et al. \(2018\)](#), la douleur musculaire du genou durant l'exercice est également évaluée.

Les résultats indiquent une augmentation de la douleur évaluée à l'aide de l'échelle "Borg pain scale" (issue de l'échelle de Borg) : la douleur musculaire est plus élevée dans le groupe ACLR-BFR comparativement au groupe NI-BFR, avec une différence moyenne de 2.7 ± 1 (95% CI: 0.292 à 5.058, $p < 0.05$) (Hughes et al. 2018).

Il semble assez intuitif de se dire qu'un exercice de renforcement avec utilisation de BFR peut produire des sensations désagréables semblables à de la douleur au patient qui l'effectue. Cela peut s'expliquer par le fait que, pendant l'exercice, l'hypoxie cellulaire induite par l'application même du BFR est désagréable et génère une sensation de "brûlure" aux patients.

Il se peut que cette sensation désagréable générée par le BFR durant l'exercice influence négativement la sensibilité à la douleur du patient lors de l'évaluation de la douleur après l'exercice.

Cependant, on voit que cette douleur disparaît immédiatement après l'arrêt de l'exercice, lorsque la pression d'occlusion exercée par le garrot est relâchée. L'hypoxie cellulaire n'induit donc pas de répercussions négatives sur la douleur du genou après l'exercice et dans la suite du traitement.

De plus, il faut faire la différence entre la douleur articulaire du genou et l'inconfort ou douleur musculaire ressentie lors de l'exercice, qui peut être présente, de par l'ischémie tissulaire générée par l'utilisation du BFR, mais également qui peut être simplement due à la fatigue musculaire de l'exercice sans BFR [\[23\]](#)[\[27\]](#).

4.7. Implications cliniques futures et perspectives de recherche :

Ce mémoire suggère le rôle potentiel du BFR dans la gestion de la douleur durant les premières semaines de prise en charge qui suivent l'opération de reconstruction du LCA. Ces résultats encouragent la poursuite des recherches sur cette technique innovante qu'est le BFR.

Les résultats de ce travail sont assez hétérogènes en raison d'une variabilité importante dans la standardisation des protocoles de l'utilisation du BFR et il y a un manque de rigueur sur certains points méthodologiques des études, sans oublier la présence d'un nombre assez restreint d'études sélectionnées. Cela confère à ce travail un niveau de preuve limité, nécessitant une interprétation prudente des résultats.

Des études futures sur le sujet, portant sur une population plus large et un protocole d'entraînement plus strict, sont nécessaires pour confirmer ces hypothèses et permettre de mieux définir la place du BFR dans la rééducation post-op du ACLR.

De plus, il serait intéressant de standardiser l'échelle d'évaluation subjective de la douleur pour permettre une comparaison fiable entre chaque donnée de résultats pour les prochaines études évaluant la douleur subjective du genou.

Il serait aussi pertinent d'orienter les recherches suivantes sur l'évaluation de la douleur objective du genou comme dans l'étude de [Barzyk et al. \(2026\)](#).

C'est un critère de jugement plus fiable qui présente sans doute moins de variabilité qu'un élément subjectif qu'est la douleur ressentie et décrite par le patient sur une échelle VAS.

Une des possibilités d'évaluer objectivement la douleur est d'utiliser la méthode de "pressure pain threshold" (PPT) ou seuil de pression à la douleur qui est utilisée dans l'étude de [Barzyk et al. \(2026\)](#).

Cependant, en pratique clinique, la douleur subjective reste un élément central pour guider la prise en charge. Celle-ci va nous permettre de guider notre traitement et le dosage de l'intensité des exercices que l'on prescrit, en fonction de si elle évolue favorablement ou non.

En ce qui concerne nos recommandations pour l'utilisation du BFR en vue de diminuer la douleur ressentie par le patient dans les prises en charge post-opératoires futures des patients ACLR, basées sur ce mémoire et les connaissances des deux auteurs accumulées sur le sujet.

Pour optimiser l'effet d'hypoalgésie, il semble que le dosage optimal soit proche de celui utilisé pour générer de l'hypertrophie et de la force musculaire.

À savoir, une OAP proche de 80%, une charge égale à 20-30% de la 1RM de l'individu, ainsi que des exercices permettant de générer une intensité et une progression de la contrainte mécanique suffisante.

En privilégiant des exercices utilisant une résistance mécanique continue et facilement modulable, plutôt que des exercices avec élastiques ou à dominante proprioceptive afin d'assurer une progression plus précise de la contrainte appliquée et donc d'optimiser au mieux les effets hypoalgésiques recherchés.

Il semble également que l'utilisation exclusive d'exercices de renforcement réalisés de manière bilatérale n'est pas suffisante et qu'il serait nécessaire d'y ajouter des exercices unilatéraux de type "leg extension" ou "leg press" pour avoir des résultats significatifs.

Les différents résultats significatifs sur la diminution de la douleur, repris dans les études analysées dans cette revue systématique, suggèrent également que la fenêtre temporelle optimale pour l'utilisation du BFR est d'environ six semaines après l'intervention d'ACLR et, au plus elle est mise en place précocement, au plus les effets hypoalgésiques seront importants.

Pour l'évaluation de la douleur subjective du patient après l'exercice, les échelles qui ont permis de mettre en évidence une diminution de la douleur semblent être l'échelle KOOS et la Borg Pain Scale (échelle proche de la VAS tirée de l'échelle de Borg).

V. Conclusion

Au terme de ce travail, l'analyse des données disponibles suggère que l'utilisation du Blood Flow Restriction dans la rééducation post-opératoire après reconstruction du ligament croisé antérieur pourrait présenter un intérêt dans la diminution de la douleur, en particulier durant les phases précoces de la prise en charge.

En effet, plusieurs éléments convergents émergent : une introduction précoce du BFR, un volume d'entraînement suffisant, ainsi que l'utilisation d'exercices unilatéraux semblent favoriser un effet hypoalgésique plus marqué, permettant une réduction plus rapide de la douleur en début de rééducation, sans nécessairement modifier les résultats à moyen ou long terme, et ce, probablement suite à l'évolution naturelle de la symptomatologie.

Dans cette optique, le BFR pourrait être un traitement de choix afin d'optimiser les premières phases de la rééducation, en facilitant la progression fonctionnelle du patient suite à une réduction de douleur plus importante.

Néanmoins, la portée de ces conclusions reste limitée, et ce, par le faible nombre d'études disponibles, leur hétérogénéité méthodologique (types d'exercices, fréquence, volume, intensité, timing d'introduction du BFR), ainsi que le caractère subjectif de la douleur restant difficile à mesurer de manière précise.

D'autre part, l'absence de groupes placebo et la diversité des outils d'évaluation renforcent également la nécessité d'interpréter ces résultats avec prudence.

Par conséquent, il nous semble primordial que des recherches complémentaires soient menées afin de mieux définir les conditions d'utilisation optimale du BFR dans un objectif antalgique après ACLR. Des études futures incluant des échantillons plus larges, des protocoles standardisés et une complémentarité dans les échelles de douleurs utilisées, permettront de préciser de manière spécifique la place qu'a le BFR dans la gestion de la douleur post-opératoire du ligament croisé antérieur.

En conclusion, nous pensons qu'en pratique clinique, le BFR apparaît comme une technique prometteuse quant à la réduction de la douleur après ACLR et par conséquent, il pourrait contribuer à améliorer la qualité et l'efficacité d'une prise en charge en kinésithérapie.

VI. Annexes

Tableau 3 : Equation de recherche

('anterior cruciate ligament reconstruction'/exp OR 'acl reconstruction' OR 'acl repair' OR 'acl surgery' OR 'anterior cruciate ligament reconstruction' OR 'anterior cruciate ligament repair' OR 'anterior cruciate ligament surgery' OR 'anterior cruciate ligament reconstruction'/exp OR 'acl reconstruction' OR 'acl repair' OR 'acl surgery' OR 'anterior cruciate ligament reconstruction' OR 'anterior cruciate ligament repair' OR 'anterior cruciate ligament surgery') AND ('blood flow restriction training'/exp OR 'bfr exercise' OR 'bfr therapy' OR 'bfr training' OR 'blood flow restriction (bfr) exercise' OR 'blood flow restriction (bfr) therapy' OR 'blood flow restriction (bfr) training' OR 'blood flow restriction exercise' OR 'blood flow restriction therapy' OR 'blood flow restriction training') AND ('pain'/exp OR 'acute pain' OR 'deep pain' OR 'lightning pain' OR 'nocturnal pain' OR 'pain' OR 'pain response' OR 'pain syndrome' OR 'treatment related pain' OR 'pain reduction'/exp OR 'analgesia'/exp OR 'analgaesia' OR 'analgesia' OR 'pain management' OR 'pain relief' OR 'sequential analgetic analgesia' OR 'surgical analgesia' OR 'pain'/exp OR 'acute pain' OR 'deep pain' OR 'lightning pain' OR 'nocturnal pain' OR 'pain' OR 'pain response' OR 'pain syndrome' OR 'treatment related pain')

Tableau 6 : Score PEDro

<u>PEDro Scale</u>					
Items / Auteurs	Barzyk et al. (2026)	Curley et al. (2021)	Curran et al. (2020)	Hughes et al. (2018)	Hughes, Rosenblatt et al. (2019)
1) Les critères d'éligibilité ont été précisés	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
2) Les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
3) La répartition a respecté une assignation secrète	Non	Non	Oui	Oui	Oui
4) Les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	Oui	Non	Non	Oui	Oui
5) Tous les sujets étaient "en aveugle"	Non	Non	Non	Non	Non
6) Tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	Non	Non	Non	Non	Non
7) Tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	Non	Non	Non	Oui	Oui
8) Les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	Oui	Oui	Non	Oui	Oui
9) Tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	Oui	Oui	Non	Non	Non
10) Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
11) Pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<u>Score Pedro</u>	6/10	5/10	4/10	7/10	7/10

PEDro Scale				
Items / Auteurs	Hughes, Patterson et al. (2019)	Khalil et al. (2023)	Okoroha et al. (2023)	Vieira de Melo et al. (2023)
1) Les critères d'éligibilité ont été précisés	Oui	Oui	Oui	Oui
2) Les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes	Oui	Oui	Oui	Oui
3) La répartition a respecté une assignation secrète	Oui	Oui	Oui	Oui
4) Les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	Oui	Oui	Oui	Oui
5) Tous les sujets étaient "en aveugle"	Non	Oui	Non	Non
6) Tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	Non	Non	Non	Non
7) Tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	Oui	Oui	Non	Non
8) Les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	Oui	Oui	Non	Oui
9) Tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	Non	Oui	Non	Non
10) Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	Oui	Oui	Oui	Oui
11) Pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	Oui	Oui	Oui	Oui
Score Pedro	7/10	9/10	5/10	6/10

Tableau 7 : Extraction de données

<u>Extraction de donnée</u>					
Auteurs	Titre	Type d'étude	Sujets de l'étude	Types d'intervention	Score Pedro
Barzyk et al. (2026)	Effect of blood flow restriction training in early postoperative rehabilitation after ACL reconstruction: a randomised controlled trial	RCT	Déterminer si une rééducation Low Load avec BFR a un impact significatif sur la douleur VS Low Load sans BFR après chirurgie du LCA	BFR	6/10
Curley et al. (2021)	Early use of blood flow restriction training with low-intensity exercises following anterior cruciate ligament reconstruction improves quadriceps strength and post-operative pain: A randomized controlled trial	RCT	Déterminer si le BFR en light-weight peut améliorer la force, la fonction, la douleur des quadriceps après chirurgie du LCA	BFR	5/10
Hughes et al. (2018)	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	RCT	Comparer la réponse physiologique aiguë de l'entraînement low load BFR chez une personne saine VS opéré du LCA. Comparer l'effet physiologique aigu de l'entraînement low load BFR VS high load sans BFR chez opéré du LCA	BFR	7/10
Hughes, Rosenblatt et al. (2019)	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	RCT	Examiner si les réponses à la perception de fatigue, de douleur musculaire et de l'articulation du genou sont altérées après de multiples sessions d'entraînement et comparer si ces réponses sont similaires à ce que l'on observe à travers l'entraînement High Load	BFR	7/10

Extraction de donnée					
Hughes, Patterson et al. (2019)	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	RCT	Comparer l'efficacité du BFR-RT et du HL-RT sur l'hypertrophie musculaire, la force, la fonction physique, la douleur et l'effusion chez les patients après chirurgie du LCA	BFR	7/10
Khalil et al. (2023)	Influence Of Blood Flow Restriction Training on Knee Pain After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Double Blinded Randomized Controlled Trial	RCT	Déterminer si l'ajout du BFR lors de la rééducation du LCA a une influence sur la douleur de genou du patient.	BFR	9/10
Okoroha et al. (2023)	Effects of a Perioperative Blood Flow Restriction Therapy Program on Early Quadriceps Strength and Patient-Reported Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction	RCT	Déterminer si le BFR permet d'accélérer le renforcement/force du quadriceps afin de revenir au sport le plus rapidement possible	BFR	5/10
Vieira de Melo et al. (2023)	Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial	RCT	Évaluer les gains de force musculaire du quadriceps et ischio-jambiers lors d'une rééducation du LCA avec BFR en low intensity VS sans BFR en high intensity	BFR	6/10

Tableau 8 : Liste de contrôle PRISMA 2020

Section et thème	Item de la liste de contrôle	Validation
TITRE		
Titre	1 Identifier le rapport comme une revue systématique.	page de couverture
RÉSUMÉ		
Résumé	2 Voir la liste de contrôle PRISMA 2020 pour les résumés.	P. 60
INTRODUCTION		
Justification	3 Décrire la justification de la revue dans le contexte des connaissances actuelles.	P. 1-6
Objectifs	4 Fournir un énoncé explicite de l'objectif ou de la question que la revue aborde.	P. 7
MÉTHODES		
Critères d'éligibilité	5 Préciser les critères d'inclusion et d'exclusion de la revue et la manière dont les études ont été regroupées pour les synthèses.	P. 9
Sources d'information	6 Préciser toutes les bases de données, registres d'essais, sites web, organisations, références bibliographiques et autres sources recherchées ou consultées pour identifier les études. Spécifier la date à laquelle chaque source a été recherchée ou consultée pour la dernière fois.	P. 8
Stratégie de recherche documentaire	7 Présenter les stratégies de recherche complètes pour toutes les bases de données, tous les registres et tous les sites web, y compris les filtres et les limites utilisés.	P. 8-9
Processus de sélection	8 Préciser les méthodes utilisées pour décider si une étude répond aux critères d'inclusion de la revue, y compris le nombre d'évaluateurs qui ont examiné chaque document et chaque rapport récupéré, s'ils ont travaillé indépendamment et, le cas échéant, les détails des outils d'automatisation utilisés dans le processus.	P. 13
Processus de collecte des données	9 Préciser les méthodes utilisées pour collecter les données des rapports, y compris le nombre d'évaluateurs qui ont collecté les données de chaque rapport, s'ils ont travaillé de manière indépendante, les processus d'obtention ou de confirmation des données auprès des investigateurs de l'étude et, le cas échéant, les détails des outils d'automatisation utilisés dans le processus.	P. 13
Éléments de données	10 a Lister et définir tous les critères de jugement pour lesquels des données ont été recherchées. Préciser si tous les résultats compatibles avec chaque domaine des critères de jugement de chaque étude ont été recherchés (par exemple, pour toutes les mesures, tous les points de mesure, toutes les analyses) et, dans la négative, les méthodes utilisées pour décider des résultats à collecter.	P. 10-11
	10 b Lister et définir toutes les autres variables pour lesquelles des données ont été recherchées (par exemple, les caractéristiques des participants et de l'intervention, les sources de financement). Décrire les hypothèses formulées à propos des informations manquantes ou imprécises.	P. 10-11
Évaluation du risque de biais de l'étude	11 Préciser les méthodes utilisées pour évaluer le risque de biais dans les études incluses, y compris les détails de l'outil ou des outils utilisés, le nombre d'évaluateurs qui ont évalué chaque étude et s'ils ont travaillé indépendamment, et le cas échéant, les détails des outils d'automatisation utilisés dans le processus.	P. 10
Mesures de l'effet	12 Préciser pour chaque critère de jugement la ou les mesures d'effet (par exemple, risque relatif, différence de moyennes) utilisées dans la synthèse ou la présentation des résultats.	NR
Méthodes de synthèse	13 a Décrire les processus utilisés pour décider quelles études étaient éligibles pour chaque synthèse (par exemple, tabulation des caractéristiques de l'intervention de l'étude et comparaison avec les groupes prévus pour chaque synthèse (item 5)).	NR
	13 b Décrire les méthodes nécessaires pour préparer les données en vue de la présentation ou de la synthèse, telles que le traitement des statistiques récapitulatives manquantes ou les conversions de données.	NR
	13 c Décrire les méthodes utilisées pour présenter sous forme de tableau ou de graphique les résultats des études individuelles et des synthèses.	NR
	13 d Décrire les méthodes utilisées pour synthétiser les résultats et justifier le(s) choix. Si une méta-analyse a été réalisée, décrire le(s) modèle(s), la(les) méthode(s) permettant d'identifier la présence et l'étendue de l'hétérogénéité statistique, et le(s) logiciel(s) utilisé(s).	NR
	13 e Décrire les méthodes utilisées pour explorer les causes possibles de l'hétérogénéité des résultats des études (par exemple, analyse des sous-groupes, méta-régression).	NR
	13f Décrire les analyses de sensibilité effectuées pour évaluer la robustesse des résultats synthétisés.	NR
Évaluation du biais de notification	14 Décrire les méthodes utilisées pour évaluer le risque de biais dû aux résultats manquants dans une synthèse (résultant de biais de notification).	NR
Évaluation du niveau de confiance	15 Décrire les méthodes utilisées pour évaluer le niveau de confiance dans l'ensemble des données probantes relatives à un critère de jugement.	NR
RÉSULTATS		
Sélection de l'étude	16 a Décrire les résultats du processus de recherche et de sélection, depuis le nombre des documents identifiés lors de la recherche jusqu'au nombre d'études incluses dans la revue, de préférence à l'aide d'un diagramme de flux.	P. 12
	16 b Citer les études qui pourraient sembler répondre aux critères d'inclusion, mais qui ont été exclues, et expliquer pourquoi elles ont été exclues.	P. 12-13
Caractéristique	1 Citer chaque étude incluse et présenter ses caractéristiques.	P. 13-14

Section et thème	Item N°	Item de la liste de contrôle	Validation
es des études	7		
Risque de biais dans les études	18	Présenter les évaluations du risque de biais pour chaque étude incluse.	P. 10
Résultats des études individuelles	19	Pour tous les critères de jugements, présenter, pour chaque étude : (a) des statistiques sommaires pour chaque groupe (le cas échéant) et (b) une estimation de l'effet et sa précision (par exemple, intervalle de confiance/crédibilité), idéalement à l'aide de tableaux ou de graphiques structurés.	P. 15-16
Résultats des synthèses	20a	Pour chaque synthèse, résumer brièvement les caractéristiques et le risque de biais des études participantes.	P. 17-18
	20b	Présenter les résultats de toutes les synthèses statistiques réalisées. Si une méta-analyse a été réalisée, présenter pour chacune l'estimation globale et sa précision (par exemple, l'intervalle de confiance/crédibilité) et les mesures de l'hétérogénéité statistique. Si vous comparez des groupes, décrivez la direction de l'effet.	P. 23
	20c	Présenter les résultats de toutes les recherches sur les causes possibles de l'hétérogénéité des résultats des études.	P. 23
	20d	Présenter les résultats de toutes les analyses de sensibilité effectuées pour évaluer la robustesse des résultats synthétisés.	NR
Biais de notification	21	Présenter les évaluations du risque de biais dû aux résultats manquants (résultant des biais de notification) pour chaque synthèse évaluée.	NR
Niveau de confiance des données probantes	22	Présenter les évaluations du niveau de confiance dans l'ensemble des données probantes pour chaque critère de jugement évalué.	P. 24
DISCUSSION			
Discussion	23a	Fournir une interprétation générale des résultats dans le contexte d'autres données probantes.	P. 26-31
	23b	Discuter des limites éventuelles des données probantes incluses dans la revue.	P. 31
	23c	Discuter des limites éventuelles des processus de la revue utilisés.	P. 31
	23d	Discuter des implications des résultats pour la pratique, la politique et la recherche future.	P. 34-36
AUTRES INFORMATIONS			
Enregistrement et protocole	24a	Fournir les informations relatives à l'enregistrement de la revue, y compris le nom du registre et le numéro d'enregistrement, ou indiquer que la revue n'a pas été enregistrée.	NR
	24b	Indiquer où le protocole de la revue peut être consulté où préciser qu'aucun protocole n'a été préparé.	NR
	24c	Décrire et expliquer toute modification apportée aux informations fournies lors de l'enregistrement ou dans le protocole.	NR
Soutien	25	Décrire les sources de soutien financier ou non financier pour la revue et le rôle des bailleurs de fonds ou des sponsors dans la revue.	NR
Déclaration d'intérêts	26	Déclarer les conflits d'intérêts des auteurs de la revue.	NR
Disponibilité des données, du code et d'autres matériels	27	Indiquer quels sont les éléments suivants qui sont accessibles au public et où ils peuvent être trouvés : modèles de formulaires de collecte de données ; données extraites des études incluses ; données utilisées pour toutes les analyses ; code analytique ; tout autre matériel utilisé dans le cadre de la revue.	P. 46-53

VII. Références bibliographiques

1. Kochman, M., Kasprzak, M., & Kielar, A. (2022). ACL Reconstruction: Which Additional Physiotherapy Interventions Improve Early-Stage Rehabilitation? A Systematic Review. *International journal of environmental research and public health*, 19(23), 15893. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315893>
2. Busto Villarreal, J. M., Ambrocio Escudero, J. E., & Prado Peláez, J. (2025). Lesiones de rodilla más comunes en el fútbol. *Revista de Investigación y Educación en Ciencias de la Salud (RIECS)*, 10(2), 75–84. <https://doi.org/10.37536/riecs.2025.10.2.476>
3. Ferré-Aniorte, A., Bolibar, I., Cugat, R., & Alentorn-Geli, E. (2025). Anterior cruciate ligament injury incidence in male and female soccer players: A longitudinal study over six consecutive seasons. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 33(12), 4426–4434. <https://doi.org/10.1002/ksa.70046>
4. Bergstein, V. E., Ahirakwe, U., Haft, M., Fox, H., & Best, M. J. (2025). Decreasing Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Increasing Utilization of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in the United States From 2010 to 2020. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 41(6), 1912–1918.e1911. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arthro.2024.08.018>
5. Lai, C. C. H., Arden, C. L., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2018). Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes. *British journal of sports medicine*, 52(2), 128. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096836>

6. Raj, S., Ridha, A., Searle, H. K. C., Khatri, C., Ahmed, I., Metcalfe, A., & Smith, N. (2024). Quadriceps tendon versus hamstring tendon graft for primary anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis of randomised trials. *The Knee*, 49, 226–240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.knee.2024.07.002>

7. Boulazaib, I., Benalia, K., Zari, saber, Sammouni, otmane, Lachkar , A., Yacoubi , H., & Najib , A. (2025). Le greffon DIDT dans la reconstruction du ligament croisé antérieur : Du prélèvement à l'ostéo-intégration. *Revue Marocaine De Chirurgie Orthopédique Et Traumatologique*, (102), 31–37. <https://doi.org/10.34874/PRSM/rmacot-n102.3833>

8. Miller, B. C., Tirko, A. W., Shipe, J. M., Sumeriski, O. R., & Moran, K. (2021). The Systemic Effects of Blood Flow Restriction Training: A Systematic Review. *International journal of sports physical therapy*, 16(4), 978–990. <https://doi.org/10.26603/001c.25791>

9. Glattkke, K. E., Tummala, S. V., & Chhabra, A. (2022). Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Recovery and Rehabilitation: A Systematic Review. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 104(8), 739–754. <https://doi.org/10.2106/JBJS.21.00688>

10. Lin, Q., Zhang, Y., Qin, J., & Wu, F. (2024). Effects of Low-Load Blood Flow Restriction Training on Muscle Volume After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 12(12), 23259671241301731. <https://doi.org/10.1177/23259671241301731>

11. Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in physiology*, 10, 533. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>

12. Planque, F., & Tamalet, B. (2021). L'exercice avec restriction du flux sanguin (BFR) : une mode ? Une alternative ? Une méthode miracle ? L'expérience du centre médical FFF de Clairefontaine. *Journal de Traumatologie du Sport*, 38(2), 94–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jts.2021.02.002>

13. Bobes Álvarez, C., Issa-Khozouz Santamaría, P., Fernández-Matías, R., Pecos-Martín, D., Achalandabaso-Ochoa, A., Fernández-Carnero, S., Martínez-Amat, A., & Gallego-Izquierdo, T. (2020). Comparison of Blood Flow Restriction Training versus Non-Occlusive Training in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction or Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*, 10(1), 68. <https://doi.org/10.3390/jcm10010068>

14. Kotsifaki, R., Korakakis, V., King, E., Barbosa, O., Maree, D., Pantouveris, M., Bjerregaard, A., Luomajoki, J., Wilhelmsen, J., & Whiteley, R. (2023). Aspetar clinical practice guideline on rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *British journal of sports medicine*, 57(9), 500–514. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106158>

15. Sonnery-Cottet, B., Ripoll, T., & Cavaignac, E. (2024). Prevention of knee stiffness following ligament reconstruction: Understanding the role of Arthrogenic Muscle Inhibition (AMI). *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 110(1S), 103784. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2023.103784>

16. Zhang, Y., Xue, X., Yang, G., Wang, H., Lu, R., Wang, H., & Hua, Y. (2026). Neuroimaging Analysis of Patients With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Pain-Driven Inhibition of Return to Sports. *Sports health*, 19417381251411817. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/19417381251411817>

17. Walker, A., Hing, W., Gough, S., & Lorimer, A. (2022). 'Such a massive part of rehab is between the ears'; barriers to and facilitators of anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: a qualitative focus group analysis. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 14(1), 106. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00499-x>
18. Nedder, V. J., Raju, A. G., Moyal, A. J., Calcei, J. G., & Voos, J. E. (2025). Impact of Psychological Factors on Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Sports health*, 17(2), 291–298. <https://doi.org/10.1177/19417381241256930>
19. Gopinath, V., Garcia, J. R., Reid, I. K., Knapik, D. M., Verma, N. N., & Chahla, J. (2025). Blood Flow Restriction Enhances Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 41(4), 1048–1060. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2024.05.032>
20. Curran, M. T., Bedi, A., Mendias, C. L., Wojtys, E. M., Kujawa, M. V., & Palmieri-Smith, R. M. (2020). Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(4), 825–837. <https://doi.org/10.1177/0363546520904008>
21. Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., Paton, B., & Patterson, S. D. (2019). 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*, 49(11), 1787–1805. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>

22. Vieira de Melo, R. F., Komatsu, W. R., Freitas, M. S., Vieira de Melo, M. E., & Cohen, M. (2022). Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. *J Rehabil Med*, 54, jrm00337. <https://doi.org/10.2340/jrm.v54.2550>
23. Hughes, L., Paton, B., Haddad, F., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2018). 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*, 33, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.07.002>
24. Curley, A., Galel, A., Fryar, C., Lewis, J., Wang, D., Fackler, N., & Chang, E. (2021). Early use of blood flow restriction training with low-intensity exercises following anterior cruciate ligament reconstruction improves quadriceps strength and post-operative pain: A randomized controlled trial [Conference Abstract]. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(7 SUPPL 4). <https://doi.org/10.1177/2325967121S00226>
25. Barzyk, P., Fiedler, C., Schlag, M., Heitner, A., Bender, J., & Paul, J. (2026). Effect of blood flow restriction training in early postoperative rehabilitation after ACL reconstruction: a randomised controlled trial [Original Research]. *Frontiers in Sports and Active Living*, Volume 7 - 2025. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1689257>
26. Okoroha, K. R., Tramer, J. S., Khalil, L. S., Jildeh, T. R., Abbas, M. J., Buckley, P. J., Lindell, C., & Moutzouros, V. (2023). Effects of a Perioperative Blood Flow Restriction Therapy Program on Early Quadriceps Strength and Patient-Reported Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med*, 11(11), 23259671231209694. <https://doi.org/10.1177/23259671231209694>

27. Hughes, L., Patterson, S. D., Haddad, F., Rosenblatt, B., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., & Paton, B. (2019). 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*, 39, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.06.014>

28. Khalil, A. A., Fayaz, N. A., Fawzy, E., Mohamed, N. A., Waly, A. H., & Mohammed, M. M. (2023). Influence Of Blood Flow Restriction Training On Knee Pain After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Double Blinded Randomized Controlled Trial [Article]. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*, 30(7), e30–e38. <https://doi.org/10.47750/jptcp.2023.30.07.005>

29. Alanazi, S. A., Alamrani, S. A., Bajuaifer, S. S., Alhammad, L., Alotaibi, N., Alrashdi, N. Z., Alzhrani, M., Alanazi, A. D., Almansour, A. M., Alfayyadh, A., & Alenazi, A. M. (2025). "Returning to Sport Is Not Just About the Knee": Physiotherapists' Experiences of the Management of Anterior Cruciate Ligament Injury: A Qualitative Study. *Journal of clinical medicine*, 14(20), 7301. <https://doi.org/10.3390/jcm14207301>

30. Martinez-Calderon, J., Infante-Cano, M., Matias-Soto, J., Perez-Cabezas, V., Galan-Mercant, A., & Garcia-Muñoz, C. (2025). The Incidence of Sport-Related Anterior Cruciate Ligament Injuries: An Overview of Systematic Reviews Including 51 Meta-Analyses. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 10(2), 174. <https://doi.org/10.3390/jfmk10020174>

31. Petersen, W., & Zantop, T. (2007). Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clinical orthopaedics and related research*, 454, 35–47. <https://doi.org/10.1097/BLO.0b013e31802b4a59>

32. Gopinath, V., Smith, M. V., Matava, M. J., Brophy, R. H., & Knapik, D. M. (2025). Most Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Athletes Occur Without Contact to the Injured Knee: A Systematic Review of Video Analysis Studies. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 41(4), 1155–1162.e1151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arthro.2024.03.047>

33. Freitas, E. D. S., Karabulut, M., & Bemben, M. G. (2021). The Evolution of Blood Flow Restricted Exercise. *Frontiers in physiology*, 12, 747759. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.747759>
34. Hughes, L., & Patterson, S. D. (2020). The effect of blood flow restriction exercise on exercise-induced hypoalgesia and endogenous opioid and endocannabinoid mechanisms of pain modulation. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 128(4), 914–924. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00768.2019>
35. Yang, J., Rolnick, N., Merriwether, E., & Rao, S. (2024). Hypoalgesia and Conditioned Pain Modulation in Blood Flow Restriction Resistance Exercise. *International journal of sports medicine*, 45(11), 810–819. <https://doi.org/10.1055/a-2301-9115>
36. Yang, Q., He, X. J., Li, Y. D., Zhang, Y. Z., Ding, C. S., Li, G. X., & Sun, J. (2022). Dose-response relationship of blood flow restriction training on isometric muscle strength, maximum strength and lower limb extensor strength: A meta-analysis. *Frontiers in physiology*, 13, 1046625. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1046625>
37. Karanasios, S., Lignos, I., Kouvaras, K., Moutzouri, M., & Gifotsos, G. (2023). Low-Intensity Blood Flow Restriction Exercises Modulate Pain Sensitivity in Healthy Adults: A Systematic Review. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 11(5), 726. <https://doi.org/10.3390/healthcare11050726>
38. Song, J. S., Spitz, R. W., Yamada, Y., Bell, Z. W., Wong, V., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2021). Exercise-induced hypoalgesia and pain reduction following blood flow restriction: A brief review. *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 50, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.04.005>
39. Gopinath, V., Garcia, J. R., Reid, I. K., Knapik, D. M., Verma, N. N., & Chahla, J. (2025). Blood Flow Restriction Enhances Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 41(4), 1048–1060. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arthro.2024.05.032>

40. Cupido, C., Peterson, D., Sutherland, M. S., Ayeni, O., & Stratford, P. W. (2014). Tracking patient outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physiotherapy Canada. Physiotherapie Canada*, 66(2), 199–205. <https://doi.org/10.3138/ptc.2013-19B>

41. Gopinath, V., Garcia, J.R., Reid, I.K., Knapik, D.M., Verma, N.N. and Chahla, J. (2025), Blood Flow Restriction Enhances Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy*, 41: 1048-1060. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2024.05.032>

42. Oliveira, M., Júnior, P. L., Imoto, A. M., Santos, T., Borges, J. H. S., Nunes, P., Barin, F. R., Damando, M., & Peccin, M. S. (2022). Unilateral Versus Bilateral Resistance Exercise in Postoperative Rehabilitation After ACL Reconstruction With Bone-Patellar Tendon-Bone Graft: A Randomized Controlled Trial. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 10(4), 23259671221088830. <https://doi.org/10.1177/23259671221088830>

43. Bullock, G. S., Sell, T. C., Zarega, R., Reiter, C., King, V., Wrona, H., Mills, N., Ganderton, C., Duhig, S., Räsänen, A., Ledbetter, L., Collins, G. S., Kvist, J., & Filbay, S. R. (2022). Kinesiophobia, Knee Self-Efficacy, and Fear Avoidance Beliefs in People with ACL Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(12), 3001–3019. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01739-3>

44. Padron, M. A. R., Jorgensen, A., Werner, D. M., Tao, M. A., & Wellsandt, E. (2025). Knee Loading Asymmetries During Descent and Ascent Phases of Squatting After ACL Reconstruction. *Applied sciences (Basel, Switzerland)*, 15(14), 10.3390/app15147780. <https://doi.org/10.3390/app15147780>

45. Capodaglio E. M. (2001). Comparison between the CR10 Borg's scale and the VAS (visual analogue scale) during an arm-cranking exercise. *Journal of occupational rehabilitation*, 11(2), 69–74. <https://doi.org/10.1023/a:1016649717326>

46. Gopinath, V., Garcia, J. R., Reid, I. K., Knapik, D. M., Verma, N. N., & Chahla, J. (2025). Blood Flow Restriction Enhances Recovery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 41(4), 1048–1060.
<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2024.05.032>

Résumé :

Objectifs : Notre mémoire a pour but de réaliser une revue systématique de la littérature afin d'évaluer l'influence du blood flow restriction sur la douleur pendant la période post-opératoire des patients ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur (ACLR).

Méthodologie : Huit études randomisées et contrôlées (RCT), comprenant un total de 220 participants d'une moyenne d'âge de 30 ans, sont incluses dans cette revue systématique.

Résultats : Cette revue systématique montre des résultats mitigés concernant l'effet du BFR sur la diminution de la douleur post-opératoire chez les patients ACLR. Quatre RCT's rapportent une diminution significative de la douleur lors de l'intervention du BFR, une RCT rapporte une diminution significative de la douleur 24h après l'intervention BFR et quatre RCT's ne rapportent aucune différence significative entre le groupe contrôle et le groupe intervention (BFR).

Conclusion : Le Blood Flow Restriction présente un intérêt dans la diminution de la douleur après ACLR, particulièrement durant les phases précoces de la rééducation, notamment de par son effet hypoalgésique induit par l'exercice. Dans cette optique, le BFR pourrait être un traitement de choix afin d'optimiser les premières phases de la rééducation, en facilitant la progression fonctionnelle du patient suite à une réduction de douleur plus importante.