



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation

Pays de la Loire.

54, rue de la Baugerie - 44230 SAINT- SÉBASTIEN SUR LOIRE

**Le développement de la force par Blood Flow Restriction,  
ses effets et limites dans le traitement de la douleur  
fémoro-patellaire**

*Revue systématique de la littérature*

**Antonin GIBAUD**

Mémoire UE28

Semestre 10

Année scolaire 2022-2023

REGION DES PAYS DE LA LOIRE





**AVERTISSEMENT**

Les mémoires des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.



Je, soussigné (e)

GIBAUD Antonin, déclare être

pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à Nantes

Le 20/04/2023

Signature :





## Remerciements

---

Ce mémoire marque la fin de mes études et je tiens à exprimer ma reconnaissance à de nombreuses personnes ayant permis cet accomplissement.

Ces années d'études supérieures n'ont pas été un long fleuve tranquille. Je tiens à remercier en premier lieu mes parents ayant permis de construire un bateau du bois le plus fort possible en m'accompagnant et m'écoutant tout au long de ma scolarité. Leur pédagogie et leur soutien ont permis de mettre l'embarcation dans le droit chemin. Je remercie également mon frère et ma sœur qui m'ont permis de naviguer avec beaucoup plus de légèreté. Sans la proximité avec eux et notamment ma sœur, je n'aurai peut-être jamais eu l'idée d'emprunter ce canal...

Un grand merci à mes amis, que je les ai connu avant d'entamer mes études de kiné ou bien pendant ces dernières. Grâce à leur bonne humeur et leur joie de vivre, je n'aurai pu imaginer meilleur équipage sur mon bateau.

Un immense merci à l'ensemble des instituteurs, professeurs et enseignants m'ayant permis par leurs multiples conseils et apprentissages, d'atteindre l'embouchure de l'océan. Je remercie un peu plus particulièrement mon directeur de mémoire m'ayant guidé sur les derniers coups de gouvernail afin de produire ce travail.



## Résumé

---

**Introduction** : La douleur fémoro-patellaire est une affection musculo-squelettique très présente dans la population générale et a une tendance à se chroniciser. Les recommandations actuelles des cliniciens, basent la thérapie par l'exercice des muscles de la hanche et du quadriceps, comme la technique de référence. Un développement de la force de ces muscles avec des charges lourdes est régulièrement proposé. Le Blood Flow Restriction est un nouvel outil de travail musculaire permettant des gains similaires à un travail contre charges lourdes par le biais du stress métabolique. L'objectif de cette revue de littérature est d'identifier quels bénéfices possède l'utilisation du Blood Flow Restriction dans le cadre de la prise en charge d'une douleur fémoro-patellaire.

**Méthode** : Quatre bases de données (PubMed, PEDro, ScienceDirect et Google Scholar) ont été interrogées afin d'identifier les études pertinentes pour répondre à la question clinique. Trois essais contrôlés randomisés et une étude transversale, publiés entre 2017 et 2023, ont été inclus.

**Résultats** : Les résultats suggèrent des effets équivalents sur la force, l'hypertrophie, la fonction et la douleur entre un protocole BFR et un travail musculaire à charges élevées. Son effet clinique serait supérieur chez les patients plus douloureux. Le BFR permet une meilleure amélioration de la force qu'un protocole à charges faibles.

**Discussion** : L'interprétation de ces résultats est à nuancer, compte tenu des limites et biais méthodologiques identifiés ainsi que de l'hétérogénéité des protocoles de développement de la force. Ainsi, de futures recherches permettant une comparaison fiable des protocoles, sont nécessaires afin de confirmer et valider les résultats.

## Mots clés

---

- Douleur fémoro-patellaire
- Développement de la force
- Blood Flow Restriction
- Rééducation

## Abstract

---

**Introduction** : Patellofemoral pain is a musculoskeletal condition that is very common in the general population, and tends to become chronic. Current clinician recommendations rely on exercise therapy for the hip and quadriceps muscles as the gold standard technique. Developing strength in these muscles with heavy loads is often recommended. Blood flow restriction is a new muscle training tool that allows for similar gains as heavy load training through metabolic stress. The objective of this literature review is to identify the benefits of using blood flow restriction in the management of patellofemoral pain.

**Methods** : Four databases (PubMed, PEDro, ScienceDirect, and Google Scholar) were investigated to identify relevant studies to answer the clinical question. Three randomized controlled trials and one cross-sectional study, published between 2017 and 2023, were included.

**Results** : The results suggest equivalent improvements on strength, hypertrophy, function, and pain between a BFR protocol and heavy load muscle training. Its clinical effect would be superior in more painful patients. BFR allows for greater strength improvement than a low load protocol.

**Discussion** : The interpretation of these results needs to be nuanced, considering the identified methodological limitations and biases as well as the heterogeneity of strength development protocols. Thus, future research, that allows for a reliable comparison of protocols, is necessary to confirm and validate the results.

## Key words

---

- Patellofemoral pain
- Strength development
- Blood Flow Restriction
- Rehabilitation

## GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS

6MWT : 6-Minute Walk Test

30-SCST : 30-Second Chair Stand Test

ACSM : American College of Sport Medicine

AKPS : Anterior Knee Pain Scale

AOP : Pression d'Occlusion Artérielle

AVQ : Activités de la Vie Quotidienne

BFR : Blood Flow Restriction

CSA : Surface de section transversale

DFP : Douleur Fémoro-Patellaire

DMCI : Différence Minimale Cliniquement Importante

DSDT : Decline Step Down Test

EBP : Evidence-Based-Practice

ECR : Essai Contrôlé Randomisé

EVA : Echelle Visuelle Analogique

Fmax : Force maximale

FPPA : Angle de Projection du Plan Frontal

FSDT : Forward Step-Down Test

HAS : Haute Autorité de la Santé

IMC : Indice de Masse Corporelle

JOSPT : Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy

KOOS-PF : Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score – Patellofemoral subscale

LCA : Ligament Croisé Antérieur

MI : Membre Inférieur

MK : Masseur-Kinésithérapeute

MS : Membre Supérieur

MVIC : Contraction Maximale Volontaire Isométrique

NPRS : Numeric Pain-Rating Scale

RER : Répétitions en Réserve

SCT : timed Stair Climb Test

SDFP : Syndrome Douloureux Fémoro-Patellaire

TEV : ThromboEmbolie Veineuse

TTA : Tubérosité Tibiale Antérieure

UM : Unité Motrice

VAS : Visual Analogue Scale

## Table des matières

1	Introduction.....	1
2	Cadre théorique.....	2
2.1	La douleur fémoro-patellaire .....	2
2.1.1	Epidémiologie .....	2
2.1.2	Diagnostic clinique.....	2
2.1.3	Physiopathologie .....	3
2.1.4	Facteurs de risques.....	5
2.1.5	Classification .....	6
2.1.6	Recommandations de traitements.....	8
2.1.7	Pronostic.....	9
2.2	Développer la force musculaire .....	10
2.2.1	Les mécanismes nerveux.....	10
2.2.2	Les mécanismes de l’hypertrophie.....	12
2.2.3	Les variables du développement de la force maximale .....	14
2.3	Le Blood flow restriction .....	15
2.3.1	Localisation du brassard .....	16
2.3.2	Matière et taille .....	16
2.3.3	Pression .....	17
2.3.4	Charge et temps d’application .....	18
2.3.5	Précautions et contre-indications .....	19
2.3.6	Applications cliniques.....	20
3	Problématisation .....	21
4	Méthodologie de recherche .....	23
4.1	Choix de la méthodologie.....	23
4.2	Critères PICO.....	23
4.3	Interrogation des bases de données .....	23
4.4	Mots-clés et équations de recherche.....	24

4.5	Critères d'éligibilité .....	25
4.6	Sélection des publications.....	26
5	Résultats.....	27
5.1	Présentation des publications.....	27
5.2	Caractéristiques des publications retenues .....	28
5.3	Evaluation méthodologique des études.....	31
5.4	Présentation des résultats.....	31
5.4.1	Douleur.....	32
5.4.2	Force musculaire .....	34
5.4.3	Fonction.....	36
5.4.4	Volume musculaire.....	37
6	Discussion.....	38
6.1	Analyse et interprétation des résultats.....	38
6.2	Synthèse des résultats.....	39
6.3	Limites de la revue de littérature .....	40
6.3.1	Limites de la qualité méthodologique de la revue .....	40
6.3.2	Limites des études analysées .....	41
6.4	Perspectives professionnelles .....	43
6.4.1	Intérêts et limites de l'application du BFR .....	43
6.4.2	Intérêts et limites du développement de la force.....	44
6.4.3	Perspectives dans la prise en charge de la DFP.....	48
7	Conclusion .....	50
	Bibliographie.....	

*Cet écrit utilise la norme VANCOUVER*

## 1 Introduction

La douleur fémoro-patellaire (DFP) est la nouvelle terminologie depuis 2019 du Syndrome Dououreux Fémoro-Patellaire (SDFP) (1). Elle est caractérisée par une douleur peu précise dans la région antérieure du genou, et représente une des pathologies que nous avons le plus rencontré au cours de nos expériences professionnelles (1,2). Ce trouble musculo-squelettique survient chez près d'1/4 de la population générale dans l'année (3). Les causes de cette pathologie sont floues et la majorité des Masseur-Kinésithérapeutes (MK) ne se base que sur leur seule expérience personnelle afin de proposer un traitement au patient (1,4,5). Cette proposition de soin démontre une chronicisation chez plus de 50% des sujets (6).

La tendance actuelle en rééducation se base sur un travail musculaire actif du membre inférieur, mais aucune modalité spécifique de travail musculaire n'est indiquée dans le traitement de la DFP (1,6). Afin de développer la force musculaire, les MK s'appuient sur les preuves actuelles, selon lesquelles l'application de fortes résistances sont nécessaires (7–9). Cette pratique, reposant en grande partie sur l'augmentation de la tension mécanique, semble inapproprié dans un contexte où les patients souffrant de DFP possèdent déjà un important stress mécanique articulaire (7,8).

De nouvelles alternatives innovantes émergent et montrent leur intérêt dans la gestion de la douleur. L'entraînement par Blood Flow Restriction en fait partie (10). L'application de ce brassard permettant d'oblitérer partiellement le flux sanguin serait à l'origine d'un développement similaire en force et en hypertrophie qu'un renforcement à hautes charges (11,12). Ces effets s'ajouteraient également à une diminution de douleur lors de rééducation du genou (13,14). Cet outil est récent et les derniers consensus autour du traitement de la DFP ne disposaient pas assez d'études dans la littérature scientifique afin de statuer sur l'efficacité de cette méthode de rééducation (1,6). Dans le cadre d'une initiation à la recherche, nous nous sommes posé la question suivante : L'utilisation du BFR représente-t-elle une solution de développement de la force efficace dans la prise en charge de patients souffrants de DFP ? Pour répondre à cette question, nous allons effectuer une revue systématique de la littérature. Nous présenterons la méthodologie utilisée ainsi que les résultats obtenus. L'analyse et l'interprétation des résultats permettront d'ouvrir des axes de discussion et d'en sortir des perspectives d'évolutions professionnelles.

## 2 Cadre théorique

### 2.1 La douleur fémoro-patellaire

Le dernier guide de recommandations clinique autour de la douleur fémoro-patellaire a été publié en 2019 par le « *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* » (JOSPT) (1). Il a défini la DFP par une « affection musculo-squelettique courante qui se caractérise par l'apparition insidieuse d'une douleur mal définie, localisée dans la région rétropatellaire antérieure et/ou péripatellaire du genou » (1). Il est précisé que la DFP, par sa terminologie récente, peut également être retrouvée dans les écrits et recherches sous le nom de syndrome douloureux fémoro-patellaire (SDFP), chondromalacie patellaire, douleur antérieure du genou et genou du coureur (« *runner's knee* ») (2).

#### 2.1.1 Epidémiologie

La douleur fémoro-patellaire est une pathologie courante. Sa prévalence annuelle dans la population générale est d'environ 23% (3). Elle représente 40% de l'ensemble des pathologies du genou (15). Résidant dans la mise en contrainte de l'articulation, elle touche d'autant plus la population active en représentant près de 25 à 40% de l'ensemble des blessures prises en charges en médecine sportive dans le monde (16). Les militaires sont les plus touchés avec une recrue sur dix présentant des DFP (3). Pouvant se manifester à tout âge, du jeune enfant jusqu'à la personne âgée sédentaire, la douleur fémoro-patellaire est néanmoins la plus présente chez les jeunes de 12 à 19 ans (1). Les femmes développent davantage de DFP que les hommes. La prévalence chez cette population peut aller de 24% jusqu'à plus de 200% de plus que chez les hommes et dépend du contexte dans laquelle la population évolue et des critères d'inclusion de la DFP appliqués dans l'étude (1,3).

#### 2.1.2 Diagnostic clinique

Le diagnostic clinique se fait essentiellement par exclusion (17). Il existe peu de tests spécifiques à cette pathologie atraumatique et la majorité d'entre eux possèdent une faible valeur diagnostic (2,18). Les clusters de tests ne se sont pas révélés plus précis (18). Il est recommandé selon un grade A (haut niveau de preuve) de reproduire une douleur rétro ou péri-patellaire pendant l'accroupissement ou lors d'autres activités fonctionnelles mettant le genou en position de flexion comme la montée/descente d'escaliers ou la position assise

prolongée. Il est notifié l'importance d'exclure toutes autres conditions qui pourrait causer une douleur antérieure de genou (1).

La présentation algique du patient peut être complété par des critères supplémentaires mais non essentiels, tels qu'une crépitation ou sensation de grincement de l'articulation fémoro-patellaire lors de la flexion du genou, une sensibilité à la palpation des facettes patellaires, un léger épanchement ou une douleur en position assise (2). Cette douleur pouvant être bilatérale ou unilatérale, est insidieuse et progressive, ce qui rend le diagnostic encore plus difficile (17). En termes d'outils d'évaluation, les cliniciens doivent utiliser la « *Visual Analogue Scale* » (VAS), l'EVA en français, correspondant à l'Echelle Visuelle Analogique ou la « *Numeric Pain-Rating Scale* » (NPRS) (Echelle Numérique de la Douleur) pour mesurer la douleur (1).

Afin de mesurer la fonction et la qualité de vie chez les patients souffrant de DFP, les cliniciens devraient utiliser les questionnaires « *Anterior Knee Pain Scale* » (AKPS) ou le « *Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score – Patellofemoral subscale* » (KOOS-PF) (1,5).

Par sa définition assez large, la DFP regroupe sous une même entité de multiples patients différents. Ce regroupement amène à se demander comment survient cette douleur.

### 2.1.3 Physiopathologie

La pathogenèse de la DFP est encore mal comprise aujourd'hui. La DFP semble représenter le résultat final d'une augmentation du stress au niveau de l'articulation fémoro-patellaire (1,19,20). Cette notion de stress mécanique articulaire repose sur le fait que la patella est sujette à un équilibre des forces médiales et latérales qui l'orientent pendant les mouvements de flexion et d'extension du genou et limitent les contraintes qu'elle subit (21). Tout déséquilibre dans ce système pourrait être à l'origine d'une augmentation du stress fémoro-patellaire, de contrainte articulaire trop importante et de douleur à posteriori (20).

L'articulation fémoro-patellaire, étant une articulation ginglyme, met en contact la surface patellaire du fémur, avec la face postérieure de la patella. Cette dernière est séparée en 2 joues par une crête verticale qui viendra s'articuler dans la trochlée fémorale, inversement formée (une gorge sagittale et deux joues) (22). La patella s'intègre dans l'appareil extenseur du membre inférieur en étant la base de plusieurs insertions tissulaires. A sa base proximale s'attache le tendon quadricipital, ce qui la relie directement avec le muscle quadriceps. A son

apex se retrouve le ligament patellaire, orienté obliquement vers le bas et le dehors en direction de la tubérosité tibiale antérieure (TTA). Le déplacement de la patella, lors des mouvements de flexion et d'extension du genou, est ainsi induit par le quadriceps (23).

L'articulation fémoro-patellaire subit des contraintes axiales suivant la force de réaction (R). La force de réaction est expliquée comme la force de compression résultante agissant sur l'articulation. Elle dépend de l'angle de flexion du genou et de la tension musculaire (Figure 1) (21). Plus le muscle quadriceps va être contracté et sous tension mécanique, plus le tendon quadricipital ( $F_q$ ) et le ligament patellaire ( $F_p$ ) vont développer de la tension également, et l'appliquer sur l'articulation fémoro-patellaire. Ainsi, en chaîne cinétique fermée, avec la mise en charge et la contraction excentrique du quadriceps, la contrainte va augmenter avec le degré de flexion et se répartir sur les facettes patellaires (23). La force de réaction est différente selon les activités, allant de la moitié du poids du corps à la marche à 3 fois ce poids lors de montée d'escaliers et 7 fois le poids corporel lors d'accroupissements (24). C'est pour cela que la DFP est principalement reproduite lors des activités d'accroupissement, représentant le mouvement où le stress mécanique articulaire est le plus important (1).

Au cours de la flexion, la patella tend à se déplacer latéralement résultant des forces de tractions latérales du tendon quadricipital et du ligament patellaire. Ces 2 structures sont orientées vers le dehors formant un angle obtus (appelé « angle Q ») par le prolongement de leurs tendons (respectivement l'épine iliaque antéro-supérieure et la TTA) et vont induire une contrainte latérale à l'articulation fémoro-patellaire (Figure 2) (25).

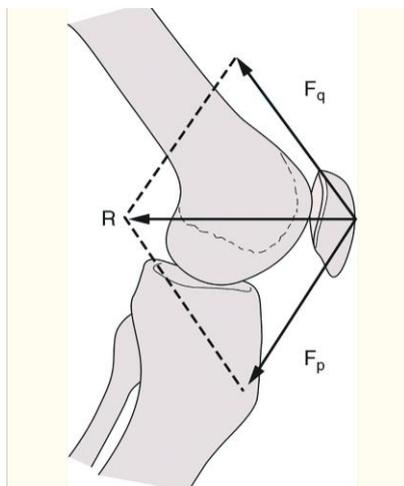


Figure 1 : Schéma de la force de réaction appliquée à l'articulation fémoro-patellaire (21)

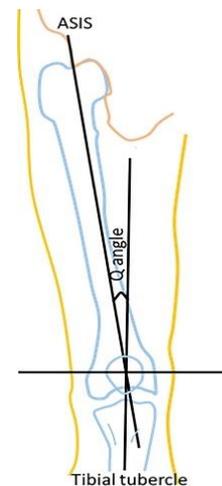


Figure 2 : Angle Q et emplacement des marqueurs : Épine iliaque antéro-supérieure (ASIS) et tubérosité tibiale. (26)

Le valgus physiologique est pourvoyeur d'une augmentation de l'angle Q et une augmentation du vecteur force vers le dehors (23). Pour compenser cette tendance subluxante latérale, la patella est stabilisée par des éléments osseux, ligamentaires et musculaires. Le quadriceps, par son vaste médial, effectue une action « ressort de rappel » permettant le réalignement frontal de la patella et la diminution des contraintes latérales appliquées à cette dernière (23). Cette vision purement anatomique et biomécanique du stress mécanique articulaire a été démontré comme insuffisante pour expliquer en totalité l'apparition de DFP (20).

#### 2.1.4 Facteurs de risques

Les caractéristiques physiques du patient tels que son âge, sa masse, sa taille ou son indice de masse corporelle (IMC) ne prédisposent pas au développement du stress fémoro-patellaire et ne sont pas des facteurs de risques de développer une DFP (26).

Des études de haut niveau de preuve démontrent que la mesure de l'angle Q, relatif au valgus statique du genou, ne prédispose pas au développement d'une DFP (1,5). Le déficit de force isométrique du quadriceps, mesuré par dynamomètre, est le facteur le plus prédictif de développer une DFP (1,5,26). Ce déficit est expliqué en partie par une inhibition du muscle par la commande neuronale centrale. Chez les sujets souffrant de DFP, le quadriceps présente une inhibition de 18%, ce qui implique sa non-activation maximale. Ce phénomène d'inhibition arthrogène est sûrement tributaire de la douleur générée par le stress fémoro-patellaire (27). L'atrophie du muscle quadriceps est régulièrement retrouvée chez les sujets présentant des symptômes de DFP. Il n'est cependant pas relevé de différence d'atrophie entre le vaste médial et le vaste latéral (1). La modification du recrutement neuromusculaire est corrélée au développement de douleur fémoro-patellaire (5). Lors de la contraction du muscle quadriceps, le vaste médial semble être activé en retard par rapport au vaste latéral. Cette différence peut entraîner un défaut d'alignement patellaire par une traction externe précoce et pourrait représenter un facteur de risque de développer une DFP (5). Les mesures sur les ischio-jambiers n'ont, quant à elles, révélées aucun lien avec le développement de DFP (5)

Il y aurait une association entre la diminution d'extensibilité des muscles du membre inférieur, et l'occurrence de douleur fémoro-patellaire (1). Premièrement, la tension du quadriceps et de la bandelette ilio-tibiale peut comprimer et favoriser la traction latérale de la patella.

Deuxièmement, la tension des fléchisseurs du genou, tels que les ischio-jambiers et les gastrocnémiens, peut entraîner le développement d'une plus grande force du quadriceps pour tendre le genou (5). Cette augmentation de tension du quadriceps serait une autre source de compression patellaire. À ce jour, les preuves sont encore trop faibles et des études supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre l'influence de la raideur des muscles des membres inférieurs sur l'apparition de la douleur fémoro-patellaire.

L'implication de l'articulation coxo-fémorale dans l'apparition de DFP est encore à prouver. La tendance actuelle est de croire que les personnes souffrant de DFP ont une force isométrique des muscles de la hanche plus faible que les autres (1,28). En termes d'amplitudes passives, une rotation latérale de la coxo-fémorale limitée pourrait placer le fémur dans une position de rotation médiale plus importante, entraînant une augmentation de l'angle Q dynamique et de la charge latérale de l'articulation fémoro-patellaire (1). Les preuves sont faibles et d'autres travaux sont nécessaires pour identifier si la faiblesse musculaire des muscles de la hanche et les amplitudes passives sont susceptibles de contribuer à la DFP.

Il existe peu de preuves sur la relation entre l'altération de la mécanique du pied et le développement de la DFP (1). L'anatomie et la biomécanique du pied et de la cheville auraient tendance à ne pas jouer de rôle prédictif dans la DFP. Le nombre de personnes souffrant d'une DFP avec un pied creux ou un pied plat n'est pas différent de celui des témoins ayant des genoux non-douloureux (1,19).

L'anxiété, la dépression, les facteurs cognitifs (catastrophisme de la douleur) et les facteurs comportementaux (kinésiophobie) sont plus présents chez les personnes souffrant de DFP et sont probablement associés à une douleur plus élevée et à une fonction plus faible (1,29).

La DFP est multifactorielle. Outre des capacités de force, volume et contrôle neuro-musculaire inférieures sur le quadriceps, ainsi que des paramètres psycho-sociaux plus présents, les auteurs ont du mal à déterminer un mécanisme précis déclenchant cette affection.

#### 2.1.5 Classification

Le guide de pratique clinique du JOSPT en 2019 a proposé une classification en 4 catégories des déficits des patients atteints de DFP (1). L'objectif est d'obtenir un système de classification basé sur les symptômes et les résultats de l'examen physique afin de guider le

plan de soins du Masseur-Kinésithérapeute (MK). Sont ainsi séparées :  
Les DFP dû à une surutilisation ou une surcharge : Dans ce cas, la DFP est liée à l'ajout de charges mécaniques trop importantes à un instant  $t$  par rapport à la capacité de récupération des tissus de l'articulation au même instant (1,30). La charge, augmentant en ampleur et/ou en fréquence, déclenche des réactions d'alertes (douleurs, gênes) (1). En l'absence de changements de la charge, les sujets peuvent décrire des modifications dans la récupération suite aux efforts. Une période de stress, des difficultés de sommeil, ou encore une alimentation différente, peuvent altérer la capacité du corps et de l'articulation à s'adapter par rapport aux contraintes (31).

Les DFP dû à un déficit de performance musculaire : évoqué comme un facteur de risque principal, sont regroupés ici les patients présentant des déficits de performance musculaire des membres inférieurs au niveau des muscles de la hanche et du quadriceps (1).

Les DFP dû à un déficit de coordination de mouvements : cette catégorie concerne les patients présentant « un valgus du genou excessif ou mal contrôlé au cours d'une tâche dynamique, mais pas nécessairement en raison d'une faiblesse de la musculature des membres inférieurs » (1). Lors de tâches fonctionnelles, les patients présentant des DFP ont un angle de projection du plan frontal (FPPA) plus important. Apparenté au valgus dynamique, il est défini comme l'angle bidimensionnel de l'adduction de hanche, de la rotation médiale de hanche, de l'abduction du genou et de la rotation latérale du genou (1). Il provoque une augmentation de l'angle Q avec la flexion de genou, et une traction plus importante en direction de la facette latérale de l'articulation (19). De faibles changements dans la cinématique fémoro-patellaire, de l'ordre de  $5^\circ$  de rotation médiale, augmentent les contraintes de cisaillement ostéochondrales et les pressions de contact latérales de la facette fémoro-patellaire (19).

Les DFP dû à une hyper ou hypomobilité : Sont impliqués les patients présentant « une mobilité du pied supérieure à la normale et/ou des déficits de flexibilité d'au moins une des structures suivantes : ischio-jambiers, quadriceps, gastrocnémien, soléaire, rétinaculum latéral ou bandelette ilio-tibiale » (1).

Cette classification représente un avis d'experts provenant de cliniciens (grade F) induisant la complexité d'identifier la source de la DFP. Elle a néanmoins pour objectif d'orienter vers un traitement spécifique au patient.

### 2.1.6 Recommandations de traitements

L'étiologie de la DFP est multifactorielle. L'approche thérapeutique doit donc tendre à être spécifique et individualisée au maximum (4). Il n'existe pas un protocole détaillé et unique permettant de soigner le plus efficacement cette pathologie. 44% des praticiens se basent sur leur seule expérience personnelle pour prendre en charge une DFP (4). Dans une logique *Evidence-Based-Practice* (EBP), il est nécessaire de s'appuyer également sur les attentes et croyances du patient ainsi que sur les preuves scientifiques (32). Afin d'explorer le point littéraire de ce triptyque, nous nous sommes référés au consensus de 2018 du 5<sup>e</sup> « *International patellofemoral pain research retreat* » ainsi qu'au guide de recommandations de 2019 (1,6). Ils déclinent la prise en charge sous plusieurs axes en leur attribuant soit un grade A (fort niveau de preuve), B (preuves modérée), C (faible niveau de preuve), D (preuves contradictoires), E (preuves théoriques) et F (avis d'experts) (1).

La thérapie par l'exercice hérite d'un grade A en termes de preuves. La stratégie combinant des exercices ciblés sur la hanche et le genou est la plus efficace afin de réduire la douleur et d'améliorer la performance fonctionnelle à court, moyen et long terme (1,6). Le renforcement musculaire spécifique des muscles de la hanche doit cibler la musculature postéro-latérale de l'articulation. Le renforcement musculaire ciblant le genou peut inclure des exercices avec mise en charge (squats avec résistance) ou sans mise en charge (extension résistée du genou) (1). La préférence pour les exercices ciblant les muscles de la hanche plutôt que du genou peut être donnée dans les premiers stades du traitement de la douleur fémoro-patellaire. Cette stratégie permet de limiter le stress articulaire au niveau du genou dans un premier temps (1). Pour le renforcement musculaire du quadriceps, un Essai Contrôlé Randomisé (ECR) démontre une meilleure amélioration des symptômes grâce à un travail musculaire à haut volume comparé à un faible volume (33). Néanmoins, il reste un manque de preuves quant au type, au volume et à l'intensité des exercices à développer (6).

L'utilisation d'orthèse plantaire suit un grade A. Elle est recommandée pour les patients dont la pronation du pied est supérieure à la normale pour réduire la douleur à court terme. Elle doit être combinée avec une thérapie par l'exercice. Seule, elle n'est pas efficace (1)

La contention souple, ou taping est recommandée selon un grade B dans un but antalgique (1). Son utilisation en combinaison avec la thérapie par l'exercice permet la réduction

immédiate de la douleur et améliore les résultats de la thérapie par l'exercice à court terme (4 semaines) (6). Le bénéfice de ces techniques de bandage n'a pas été démontré à long terme. Les experts ont attribué à l'analyse et la modification du schéma de course un grade C dans la prise en charge de la DFP en raison de la faible quantité d'études de haut niveau de preuve sur le sujet (1). Cette stratégie de soin se porte sur la cadence, le volume de course, l'attaque du pied et le pic d'adduction de hanche chez les coureurs à pied (1).

Le dry needling, la prescription d'orthèse de genou, le biofeedback, l'utilisation d'agents biophysiques tels que les ultrasons, la stimulation électrique, la cryothérapie et la thérapie manuelle isolée, sont des stratégies non recommandées car elles n'ont montré aucunes preuves à ce jour (1,6).

Deux dernières alternatives n'ont obtenu qu'un grade F en raison d'un manque d'études permettant d'attester leur efficacité. La première est l'éducation du patient. Consistant à instruire le patient sur divers aspects comme la gestion de la charge et l'intérêt des techniques actives, elle permet l'adhésion du patient et son autogestion sans effet indésirable (1). La seconde, est l'utilisation du blood flow restriction. Cet outil thérapeutique a été ajouté comme une solution envisageable lors du consensus de 2018 à la suite de la publication d'une étude de haute qualité. Les experts de ce consensus précisent néanmoins que lors de leur prochaine réunion ils discuteront de cette stratégie car il est nécessaire de posséder plus de preuves avant d'établir une recommandation universelle sur son utilisation (6).

Ces recommandations s'appuient sur l'avis de cliniciens, ce qui montre le manque flagrant d'études scientifiques sur la DFP, lors de la rédaction de ces consensus, permettant d'attester de l'efficacité d'une stratégie à plus ou moins long terme.

### 2.1.7 Pronostic

L'ensemble de ces techniques thérapeutiques ne montrent pas de résultats probants à long terme. Malgré des diminutions de symptômes à court et moyen termes, la DFP a tendance à persister pour 50% des personnes en souffrant (6). Dans certains cas, elle peut se ressentir jusqu'à 20 ans après. Chez la tranche d'âge majoritairement touchée, les adolescents, 50 à 56% reportent des douleurs persistantes 2 ans après le diagnostic (1). Ceci est problématique car cette douleur pourrait être à l'origine du développement de l'arthrose de l'articulation

fémoro-patellaire (6). Outre l'impact physique et la diminution de la qualité de vie, la chronicisation de la DFP est également délétère sur le plan psychologique. Elle peut avoir un impact sur la perception de soi, avec une diminution de la confiance en soi, l'apparition de confusion liée à la douleur ou encore d'inquiétude pour l'avenir (1).

Le facteur de risque le plus important de développer une DFP est un déficit de force du quadriceps et la rééducation de la DFP se base sur la thérapie par l'exercice (1). Les exercices thérapeutiques sont des mouvements à réaliser suivant différents objectifs. Ils peuvent servir à conserver ou retrouver une mobilité articulaire, améliorer des symptômes (psychologiques, physiques) ou encore développer des qualités tels que l'équilibre, la souplesse ou la force (34). Le développement de la force contrôlé du quadriceps est utilisé régulièrement pour résoudre les déficits musculaires pouvant être à l'origine de la DFP (5,15,24).

## **2.2 Développer la force musculaire**

Le développement de la force musculaire est le fruit de la combinaison de plusieurs facteurs morphologiques et neuronaux (35). Le système neuro-musculaire repose sur un socle : l'unité motrice (UM). Elle est constituée d'un motoneurone et de l'ensemble des fibres musculaires qu'il innerve (36). Le type et le recrutement des unités motrices ainsi que les mécanismes à l'origine de l'hypertrophie vont permettre le développement de la force.

### **2.2.1 Les mécanismes nerveux**

Pour effectuer une contraction musculaire, un stimulus nerveux est appliqué permettant de recruter l'UM. Henneman et al ont indiqué que les UM sont recrutées de manière séquentielle en fonction de leur taille (36). Les petites UM présentent un faible seuil de recrutement et sont mobilisées avant les UM plus grandes qui ont un seuil plus élevé. Les UM les plus petites, qui comprennent des fibres à contraction lente de type I sont recrutées dès lors qu'une faible force est requise, tandis que les UM plus grandes qui comprennent des fibres à contraction rapide de type II ne sont recrutées que si des forces plus élevées sont nécessaires (35). Ainsi, les muscles à haut seuil contenant des fibres de type II ne peuvent être recrutés que lorsque les muscles contenant des fibres de type I ne sont plus suffisant et qu'une production de force supplémentaire est nécessaire pour maintenir l'activité (35).

Pour développer une force maximale ( $F_{max}$ ), le muscle utilise un double recrutement. Il met en jeu un maximum d'UM (recrutement spatial), et il module les fréquences de contraction de ces UM (recrutement temporel) (37). Le premier évoque le fait que, plus le stimulus de départ est important, plus le nombre d'UM recrutées sera conséquent. Le second permet, en augmentant la fréquence de stimulation des UM d'approcher un état de « tétanos » et ainsi développer la  $F_{max}$ . La fréquence à laquelle les motoneurones déchargent des potentiels d'action vers les fibres musculaires de l'UM peut modifier ses propriétés de production de force (35). L'amplitude de la force peut augmenter de 300 à 1500 % lorsque la fréquence de déclenchement des UM recrutées passe de son minimum à son maximum (35). Ces adaptations nerveuses sont les garants des gains de force à court terme après un renforcement musculaire. La capacité à recruter les unités motrices est entraînable grâce au travail musculaire contre résistance (38). Del Vecchio et al, ont montré qu'après 4 semaines de travail musculaire, les sujets présentent un abaissement du seuil de recrutement des UM (améliore le recrutement spatial) et une augmentation de la fréquence de décharge des UM (améliore le recrutement temporel) (39).

Il est possible que la synchronisation des unités motrices améliore la production de force maximale (35). Un renforcement musculaire contre résistance augmenterait la synchronisation des UM et la production de force.

La réduction de l'inhibition neuromusculaire permet une augmentation de la production de force (35). L'inhibition neuromusculaire « se réfère à une réduction de la commande neurale d'un groupe musculaire donné pendant les actions musculaires volontaires qui peut affecter négativement la production de force en raison de la rétroaction neurale reçue des récepteurs musculaires et articulaires » (35). Un renforcement de la commande neurale au niveau spinal et supraspinal à la suite d'un travail musculaire contre résistance diminue l'inhibition neuromusculaire, augmente la production de puissance via l'inhibition réciproque au cours d'un entraînement complexe, régule à la baisse l'inhibition récurrente à la suite d'un entraînement de type explosif, et améliore la force (35).

Une fois l'ensemble des facteurs nerveux optimisés, la masse musculaire et les facteurs structuraux jouent un rôle direct sur la force développée. L'ensemble de ces facteurs permettant le gain en force sont résumés dans la figure ci-dessous (40).

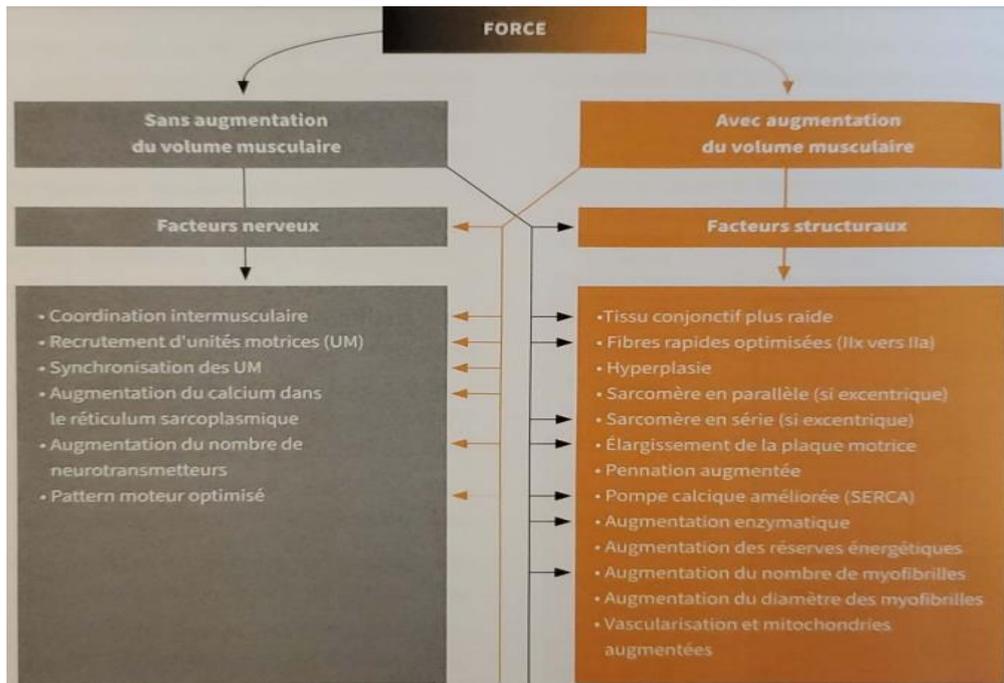


Figure 3 : Adaptations structurales et nerveuses permettant un gain de force (40)

### 2.2.2 Les mécanismes de l'hypertrophie

Une augmentation de la surface de section transversale (CSA) du muscle (appelée hypertrophie) a un impact sur la capacité d'un muscle à produire de la force et de la puissance (7,35). Narici et al. ont suggéré que l'augmentation de la CSA musculaire pourraient expliquer environ 40 à 60 % des changements dans la production de force à la suite d'un renforcement musculaire de courte durée (41).

La littérature actuelle divise l'hypertrophie en deux composantes : l'hypertrophie sarcoplasmique et l'hypertrophie myofibrillaire (40). La première est le résultat d'une augmentation en taille et en nombre des mitochondries, du réticulum sarcoplasmique, etc, tandis que la deuxième est en lien avec l'augmentation du nombre de sarcomères et des protéines myofibrillaires (actine, myosine, titine) (9,40,42,43). Ce phénomène augmente le diamètre des fibres musculaires individuelles et résulte en une augmentation de la CSA du muscle (9). Les événements myogéniques permettant cette hypertrophie reposent sur l'activation des cellules satellites et des hormones de croissance lorsque le muscle squelettique est soumis à une charge. Les cellules satellites apportent les nouveaux noyaux de la fibre et permettent la création de nouveaux myofibrilles et protéines contractiles (9,40). L'activation de ces cellules est médiée par l'équilibre entre les taux de synthèse et de

dégradation des protéines musculaires (9,40,44). Les deux principaux facteurs responsables de ce gain hypertrophique sont la tension mécanique et le stress métabolique (8).

La tension mécanique est la résultante des forces s'appliquant à un muscle (tension, torsion, compression) (9). La tension associée à la contraction musculaire contre une résistance perturbe l'intégrité du muscle squelettique, provoquant des réponses moléculaires et cellulaires dans les myofibres et les cellules satellites (9). Le renforcement musculaire à charges lourdes, équivalant à une tension mécanique élevée, induit ainsi l'activation maximum des processus myogéniques. Ces derniers sont à l'origine de la régulation de la synthèse des protéines contractiles (7).

Le stress métabolique est un processus physiologique défini par l'accumulation de métabolites (lactates, phosphates inorganiques, ions d'hydrogène) dans les cellules musculaires durant un exercice (8,45). L'étude de Goto et al. a démontré ce phénomène en comparant 2 groupes observant un renforcement musculaire à charge égale (3-5 séries de 10 répétitions à 75% de la 1-RM) (46). L'unique différence réside dans le fait qu'un groupe avait 30 secondes de repos entre les séries, tandis que l'autre n'en avait pas. Les auteurs ont remarqué une augmentation significative de la concentration en lactates sanguins pour le groupe sans repos. Au bout de 12 semaines de protocoles de renforcement musculaire de cette façon, un gain significatif de la surface transversale musculaire a été observé chez le groupe sans repos, alors que le groupe avec repos n'a observé aucune différence. Les auteurs ont déduit un lien entre le stress métabolique produit et l'hypertrophie du muscle (46). L'augmentation de la concentration en lactates a été démontrée avec un renforcement musculaire sous conditions hypoxiques (déficit d'apport en oxygène) ou sous conditions ischémiques (par occlusion vasculaire) comparé à des groupes avec le même protocole de renforcement, sans restriction particulière (47,48). Cette accumulation de métabolites est précepteur de la mise en place d'un métabolisme anaérobie. Il se produit une stimulation de la sécrétion des hormones de croissance anabolisantes qui permettent la synthèse de protéines musculaires (45,49).

Afin d'améliorer la force musculaire, il est nécessaire d'adopter une stratégie permettant d'induire une tension musculaire et de produire des métabolites. Différentes variables de l'exercice vont agir sur ces mécanismes.

### 2.2.3 Les variables du développement de la force maximale

Un exercice va être différent en fonction du mouvement, du nombre de séries et de répétitions, de la charge, de l'exécution et de la récupération appliqués (7,40). Chaque paramètre doit être optimisé afin d'être le plus efficace pour développer la Fmax. Chacune de ces variables influe plus ou moins sur les contraintes mécaniques et métaboliques.

Le type d'exercice, et son mouvement, est à privilégier en fonction de la spécificité du patient. L'objectif du traitement et le(s) muscle(s) à développer doivent guider le choix de l'exercice.

Au sujet du nombre de séries et du nombre de répétitions à effectuer, nous pouvons indiquer un nombre absolu. « *L'American College of Sports Medicine* » (ACSM) recommande aux sujets novices et intermédiaires, en termes de pratique sportive, de mobiliser la charge 8 à 12 fois (7). Chez les sujets entraînés, pour un développement de la force efficace, les preuves actuelles recommandent entre 1 et 6 répétitions et dépend de la charge (7,40). Nous pouvons également déterminer le nombre de répétitions relativement au ressenti du patient. Il est possible de proposer au patient de se stopper en fonction du nombre de répétitions qu'il a en réserve (RER) ou en fonction de son évaluation de l'effort (RPE) (50). Ces méthodes permettent d'individualiser le travail musculaire en fonction de l'état de fatigue psychologique, musculaire et nerveux du patient mais se basent sur la subjectivité de celui-ci (50). Aucune quantité de RER ou RPE à atteindre n'a été défini comme préférable pour développer la force maximale (50). Un travail musculaire à l'échec, équivalent à 0 RER ou 10 RPE, n'a pas montré de bénéfice sur le gain de Fmax (51). Le nombre de séries conseillé est compris entre 1 et 3, en augmentant le nombre de séries avec l'expérience (7,40).

Pour déterminer la charge relative, les auteurs s'appuient sur la 1-RM, la charge maximale que le sujet peut mobiliser une fois (7,40,50). L'ACSM recommande aux sujets novices et intermédiaires de s'entraîner avec des charges correspondant à 60-70% de 1-RM et aux sujets avancés de s'entraîner avec des charges correspondant à 80-100% de la 1-RM pour maximiser la force musculaire (7). Lopez et al. ont démontré que le gain en force musculaire était relié à la quantité de charge opposée au sujet. Plus le sujet réalise un exercice avec un fort pourcentage de sa 1-RM, plus le gain en force est élevé (52). Effectuer un travail musculaire à 80-90% de sa 1RM serait optimal pour développer sa Fmax (40,52,53). Le volume total d'entraînement, aussi appelé tonnage, est défini par la multiplication du

nombre de séries par le nombre de répétitions et la charge appliquée (54,55). Un tonnage plus important a un effet sur l'hypertrophie mais pas sur la force pour des sujets entraînés (56). Lors de l'exécution de l'exercice, le patient doit suivre un tempo. Les tempos sont des durées spécifiques en secondes généralement représentés par quatre chiffres qui décrivent la séquence de contraction musculaire dans l'ordre suivant : la phase excentrique, une phase isométrique en position maximale, la phase concentrique et la deuxième phase isométrique en position de repos (54). Par exemple, un squat avec un tempo de (2,1,1,0) signifie que la descente doit être effectuée en 2 secondes, la position basse maintenue pendant 1 seconde, la poussée verticale effectuée en 1 seconde et la position de repos maintenue pendant 0 seconde avant de passer à la répétition suivante. Une haute vélocité de contraction permet de recruter un nombre plus important d'unités motrices et de développer plus de force comparé à des exercices réalisés lentement (7,55). Une intention de vitesse maximale, au cours d'un exercice à charges lourdes, lors de la phase concentrique, permet un meilleur développement de la force maximale (57).

Il est recommandé 2 à 3 minutes de repos entre les séries (7,40). Un temps de récupération supérieur à 2 minutes permet de favoriser la tension mécanique (58).

Nous utiliserons le terme développement de la force « conventionnel » dans la suite de ce travail pour évoquer le développement de la force avec charges lourdes.

Le mouvement, la charge et l'exécution sont les afférences mécanosensibles. Modifier le nombre de séries, de répétitions, l'exécution et la récupération influence les afférences métabosensibles. Les recommandations actuelles pour le développement de la Fmax impactent davantage les afférences mécanosensibles. Ces charges élevées peuvent entraîner un stress mécanique de l'articulation plus important et aggraver les symptômes chez les patients souffrant de DFP (59). Pour éviter de mettre trop de charges sur l'articulation et de développer de la force dans ce contexte de DFP, des solutions existent. Un nouvel outil permet d'influer sur les variables métabosensibles : le Blood Flow Restriction.

### **2.3 Le Blood flow restriction**

Le travail musculaire par occlusion sanguine, appelé Blood Flow Restriction (BFR), est également retrouvé sous les termes d'entraînement Kaatsu (« Kaatsu training »),

entraînement par occlusion vasculaire (« Vascular occlusion training ») et entraînement hypoxique (« hypoxic training ») (11).

Cette technique de rééducation utilise une sangle ou un brassard pneumatique, positionné autour de la partie proximale d'un membre du corps, de sorte à la comprimer. Ce système peut être disposé au membre inférieur (MI) comme au membre supérieur (MS) (10). Le dispositif applique une pression déterminée en fonction des caractéristiques du patient de sorte à réduire son flux sanguin, sans compromettre sa santé. Le brassard a pour objectif de restreindre partiellement l'entrée du sang artériel tout en occluant la sortie veineuse jusqu'à ce que la pression soit relâchée (11,49,60). Développé dans les années 60 mais breveté en 1997, cet outil thérapeutique fait l'objet d'études de plus en plus nombreuses, permettant d'en définir des modalités d'application « standard » optimisant son utilisation (8,61).

### 2.3.1 Localisation du brassard

Le brassard doit être positionné sur l'un des 4 membres du sujet de manière la plus proximale possible du tronc (10). Sur le membre supérieur, il est placé au niveau du moignon de l'épaule, au plus proche de l'aisselle (Figure 4). Pour le membre inférieur, il est conseillé de le mettre le plus haut sur la cuisse, près du pli de l'aîne (Figure 5) (10). Plus le BFR sera placé proximale au tronc, plus la surface du membre vascularisée partiellement sera importante et plus de muscles distaux au bracelet bénéficieront de l'effet du BFR.

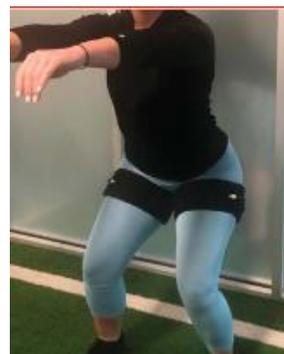
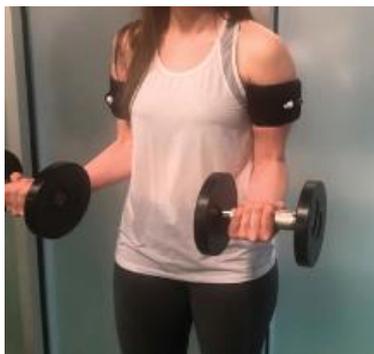


Figure 4: Brassards positionnés sur le membre supérieur(10) Figure 5: Brassards positionnés sur le membre inférieur(10)

### 2.3.2 Matière et taille

Les brassards, au-delà du fait qu'ils peuvent être manuels ou automatique, sont soit élastiques soit en nylon. Pour un dispositif élastique, la pression à insuffler est moindre afin d'obtenir le

même pourcentage d'occlusion artérielle que pour un brassard pneumatique en nylon dû à la différence de tension initiale (62,63). Il faut adapter la pression en fonction du matériel utilisé et de l'occlusion artérielle voulue pour notre patient (64). Aujourd'hui, la technique BFR est réalisée à travers l'utilisation de brassards pneumatiques car les autres types de brassard sur-estiment ou sous-estiment de 20 à 25% la pression appliquée (65).

Il est difficile de déterminer la largeur du brassard la plus efficace car cette donnée est peu notifiée dans le compte-rendu des études. Il est utilisé des brassards allant de 2 centimètres de large pour le membre supérieur, jusqu'à 20 centimètres pour le membre inférieur (66). En termes de confort, Rossow et al. ont relevé une augmentation de la douleur et de l'effort ressenti avec des brassards larges (13,5cm) par rapport à des plus petits (5cm) autour de la cuisse (67). Plus le brassard est large, plus il va entraver et limiter l'amplitude de mouvement (62,68). Dans les revues de littérature actuelles, aucune différence n'est notée en termes d'adaptations musculaires entre les brassards large et étroits (69). Ce qui compte afin d'occlure le retour veineux de la façon souhaitée, n'est pas la taille du brassard, mais la pression que l'on applique.

### 2.3.3 Pression

La pression appliquée est basée sur un pourcentage de la Pression d'Occlusion Artérielle (AOP) individuelle, équivalente à la pression minimale nécessaire pour oblitérer totalement le flux sanguin vers un membre (70). Afin de déterminer cette AOP, les chercheurs préconisent l'utilisation d'un tensiomètre associé à une sonde Doppler, ou d'un oxymètre de pouls (10,71,72). Certains auteurs ont développé des équations à partir desquelles nous pourrions déterminer l'AOP d'un individu en fonction de son sexe, sa race, la circonférence et la longueur de son membre (73). Aujourd'hui, les appareils BFR peuvent calculer de façon autonome l'AOP. L'évaluation de l'occlusion artérielle est ainsi un moyen indispensable afin de permettre un travail spécifique au patient et de limiter les risques encourus.

Il est conseillé d'évaluer la pression artérielle dans une position la plus proche possible de l'activité que nous allons donner à notre patient ainsi qu'à chaque début de session d'entraînement (74,75). Tegtbur et al. préconisent l'utilisation d'un manchon identique entre celui ayant réalisé la mesure d'évaluation et celui utilisé lors de l'exercice (76).

Une fois l'AOP trouvée, il est essentiel de déterminer à quel pourcentage de celle-ci l'efficacité du BFR est la plus importante. A ce sujet, les avis sont controversés. Counts et al. ont relevé des effets similaires, en termes de développement musculaire, sur un entraînement de 8 semaines, avec un BFR à une pression de 40% de l'occlusion artérielle comparé à un BFR avec une pression équivalente à 90% (77). Une autre recherche recommande une pression entre 40 et 80% (78). D'autres ont remarqué que l'activation musculaire maximale augmente entre 40 et 50% d'occlusion mais stagne au-delà (79). Il semble alors préférable d'effectuer des exercices de renforcement musculaire avec BFR avec au minimum 40 à 50% d'occlusion sanguine. Sans résultat probant, augmenter cette pression au plus proche de l'AOP n'amènerait qu'à s'exposer davantage à des risques et à l'exacerbation de la douleur (76,80).

#### 2.3.4 Charge et temps d'application

L'avantage d'utiliser la technique BFR est de diminuer la tension mécanique grâce à l'augmentation du stress métabolique. Là où un développement musculaire à visée rééducatif nécessite d'appliquer des résistances au minimum à 60-70% de la 1-RM afin d'avoir des adaptations musculaires optimales, l'utilisation du BFR permet d'obtenir des adaptations similaires entre 20 à 40% de cette 1-RM (7,10,81).

Le pourcentage de cette charge est ensuite à adapter en fonction des capacités du sujet, de son état de fatigue, du pourcentage d'AOP appliqué, de l'exercice et du volume de travail souhaité.

Pour un renforcement musculaire sous occlusion vasculaire, le protocole qui semble le plus efficace est composé d'une première série de 30 répétitions, suivie de 3 séries de 15 répétitions avec 30 secondes de repos entre chaque (70). Il a été montré que ce type d'enchaînement facilite la réhabilitation après une blessure au genou, améliore l'activation musculaire, augmente le gain de force et de circonférence musculaire sans faire de dommage musculaire (70). Pour la première série, il n'y a pas d'accumulation importante de métabolites en amont, ce qui permet au patient d'effectuer un nombre élevé de répétitions. Pour ce qui concerne les séries suivantes, le nombre de répétitions sera réduit en raison de l'accumulation de métabolites fatigant la fonction contractile (82). Le temps de récupération est défini de sorte à diminuer la pression au niveau du muscle (lorsqu'il ne se contracte pas), afin qu'il se

relâche quelque temps, tout en conservant une accumulation de métabolites. Aucun consensus n'est établi sur le rythme à avoir pour un entraînement BFR.

Le travail intermittent (enlever totalement la pression pendant les temps de repos) n'a pas été démontré comme ayant un impact ou un bénéfice supérieur en termes de force ou d'hypertrophie par rapport à un travail continu (83). Malgré certains cas isolés prouvant que le BFR intermittent diminuerait l'inconfort (84), les recherches récentes ont montré qu'il n'augmenterait finalement pas la tolérance du sujet à l'exercice (85).

### 2.3.5 Précautions et contre-indications

Le mécanisme BFR a été décrit comme sûr pour les différents types de population, et l'apparition de complications peu probables après son utilisation (76). Une revue systématique de 2022 a mis en lumière l'apparition d'événements indésirables dans 6,4% des cas mais dont seulement 0,03% nécessitent réellement une intervention (86).

D'après Loenneke et al. , il ne présenterait pas plus de risques qu'un renforcement musculaire « commun » (87). Dès lors que les contre-indications à cet exercice sont respectées, il existe peu de risques de voir survenir des événements délétères pour la santé du patient. Ces contre-indications, décrites par plusieurs auteurs comme DePhillipo et al., regroupent : la thromboembolie veineuse, l'atteinte vasculaire périphérique, l'anémie falciforme (drépanocytose), la lymphadénectomie, le cancer/tumeur, les médicaments à risque de création de thrombus, les infections des extrémités (88).

Certains chercheurs ont relevé, parmi l'ensemble des études mettant en place un protocole BFR, certains cas lors desquelles les sujets ont présenté des vertiges, engourdissements, ou encore des courbatures (89). Tous ces signes sont comparables à un renforcement musculaire classique intense et ne sont pas forcément dû à l'occlusion artérielle. Les principaux sujets de préoccupation des chercheurs dans l'utilisation du BFR sont : la thromboembolie veineuse (TEV), les réponses hémodynamiques excessives et les lésions musculaires (78). Pour le premier cas, à ce jour, « aucune étude n'a fourni de preuve que l'exercice BFR amplifie les marqueurs associés au système de coagulation » (90). Pour éviter tout risque chez des patients à terrain favorable au développement de thrombus, Rolnick et al. ont développé un organigramme permettant de statuer sur la décision d'utiliser le BFR chez ces patients (90)

(Annexe 1). Au sujet des réponses hémodynamiques, il semblerait que l'exercice sous BFR ne développe pas d'augmentation de pression artérielle ou de rythme cardiaque pouvant être à l'origine d'événements délétères chez l'ensemble des individus (91). Les lésions musculaires (rhabdomyolyses), sont retrouvées dans plusieurs études de cas selon Rolnick et al. (90). Une étude a fait passer un questionnaire chez 136 utilisateurs de BFR et a révélé que ces professionnels de santé trouvaient un épisode de rhabdomyolyse dans 1,9% des cas chez leurs patients (92). Une autre étude au Japon a, elle, déterminé l'apparition d'un cas de rhabdomyolyse dans 0,008% des cas (93). Malgré la différence d'incidence, l'apparition de ces phénomènes reste rare mais possible. Afin d'aider à la décision chez des patients à suspicion de risques, Kacin et al. ont développé un outil de dépistage (94). (Annexe 2)

Cette très faible proportion de risques est valable lorsque la méthode est utilisée dans un environnement contrôlé par un professionnel formé et expérimenté sur les modalités d'application cliniques.

### 2.3.6 Applications cliniques

Plusieurs études ont démontré l'augmentation de la production d'hormones de croissance après un exercice de renforcement musculaire couplé à du BFR (47,95,96). Cette multiplication permet d'obtenir un stress métabolique venant s'ajouter à la tension mécanique d'un travail musculaire « conventionnel ». C'est pour cela que la charge opposée au sujet n'est que de 20 à 40% de la 1-RM (10,81). Grâce à ce phénomène, Gronfeldt et al. ont montré que l'utilisation du BFR permet d'avoir des résultats similaires en force par rapport à un renforcement musculaire sous charges lourdes (81). May et al. ont démontré un gain hypertrophique égal, en plus du gain en force équivalent, entre ces 2 modalités de travail musculaire (12). Hughes et al. ont prouvé que le renforcement musculaire associant BFR et charge légères est plus efficace qu'un même renforcement musculaire par charge légères uniquement (97). Les professionnels de santé mettant en place un protocole BFR cherchent à développer l'hypertrophie et/ou la force musculaire, à développer un stimulus pour protéger la structure articulaire, éviter l'atrophie ou développer une réponse vasculaire (98).

En permettant un travail musculaire par le biais du stress métabolique et en diminuant l'impact mécanique sur les structures, l'exercice par BFR a démontré son utilité sur différentes

pathologies et contextes médicaux. Il est possible d'utiliser le BFR sans mouvement (BFR passif), sur des activités aérobiques de faibles intensités (vélo, marche), des exercices avec faibles charges puis avec des charges lourdes suivant les douleurs, capacités et évolutions du patient (78,99). L'effet du BFR a été démontré comme bénéfique sur les rééducations de ruptures complètes de ligament croisé antérieur (LCA). À la suite d'une ligamentoplastie du LCA, l'utilisation du BFR permet un gain hypertrophique du quadriceps et un gain fonctionnel similaire, mais une meilleure diminution de la douleur par rapport à un renforcement musculaire avec charges lourdes (13,100).

L'arthrose est une maladie chronique dégénérative résultante de contraintes appliquées sur l'articulation au fil du temps (101). Elle touche majoritairement une population âgée et représente une cause majeure de douleurs musculosquelettiques et de perte d'indépendance dans la population générale (102,103). La faiblesse des muscles entourant l'articulation est un facteur de risque de cette pathologie et leur renforcement est une clé afin de retrouver ses capacités physiques et fonctionnelles (104,105). Le gain en force ou en hypertrophie de ces muscles est une stratégie primaire dans la rééducation (106,107). Il faudrait ainsi réaliser des exercices avec une charge au moins supérieure à 60% de la 1-RM du sujet (7). Or, chez cette population vieillissante et douloureuse, il est souvent compliqué de supporter une telle charge (81,108). L'application du BFR lors d'exercices de renforcement musculaire semblerait efficace en termes de force et d'hypertrophie par rapport à un renforcement musculaire à faibles charges (108,109). Ferraz et al. ont montré que l'utilisation de celui-ci permettrait un gain en force, fonction et masse musculaire sur le quadriceps équivalent à un renforcement musculaire classique à haute contrainte (80% de la 1-RM) sur cette population (14). De plus, il permet une meilleure amélioration de la douleur que le groupe haute contrainte, ce qui en fait une alternative intéressante dans la rééducation de l'arthrose (14,106).

### **3 Problématisation**

La douleur fémoro-patellaire est une des pathologies de surcharge les plus courantes en révélant une prévalence annuelle de 23% dans la population générale et en représentant 40% de l'ensemble des pathologies du genou (3,15). Cette pathologie présente un taux de récurrence et de chronicisation important (6). Son diagnostic est défini par défaut et les seules preuves

sur lesquelles nous pouvons nous appuyer sont des recommandations d'experts (1,17,18). Parmi celles-ci, ils classent la DFP en 4 déficits principaux (surcharge, déficit musculaire, défaut de coordination et hypo/hypermobilité) (1,2). La rééducation masso-kinésithérapique s'appuie sur la thérapie par l'exercice, comprenant le développement de la force des muscles du genou et de la hanche (1). Le développement de la force du quadriceps permettrait de réduire le facteur de risque le plus important et de palier à l'un des 4 déficits à l'origine de cette douleur (1,5,26). La tendance actuelle est d'effectuer un travail musculaire entre 60 et 100% de la 1-RM afin de gagner en force (7). Or, ces charges élevées peuvent entraîner une surcharge plus importante de l'articulation et aggraver les symptômes chez les patients souffrant de DFP (59). Il est nécessaire de chercher d'autres moyens de traitement efficaces afin de diminuer les défauts sur la qualité de vie à long terme des patients.

Le BFR est un outil qui, par le biais du stress métabolique, permet de développer l'hypertrophie musculaire et la force sans augmenter la contrainte mécanique (10,81). Son utilisation, en association à des charges faibles (20-40% de la 1RM), permet une augmentation en volume et en force musculaire équivalente à la réalisation d'un renforcement musculaire avec charges élevées (12). Il a démontré son efficacité sur la gestion de la douleur lors d'exercices musculaires dans le cadre de rééducation du genou (13,106). Le BFR a commencé à être introduit dans les discussions d'experts autour de la DFP en 2018 sans pour autant être adopté comme solution viable (6). Il a obtenu un grade F de recommandation dû à un manque d'études scientifiques (1). Dans l'objectif de combler ce manque, les auteurs préconisent la réalisation de futures recherches. Il semble pertinent d'effectuer une exploration de la littérature scientifique afin de recenser l'ensemble des études portant sur ce sujet à ce jour. Au regard du cadre théorique, nous faisons l'hypothèse que l'application du BFR permet un développement de la force équivalent chez les patients atteints de DFP qu'un développement de la force à charges lourdes. Nous conjecturons également que le développement de la force par restriction sanguine permet de diminuer la douleur à l'exercice par rapport à un travail musculaire à hautes résistances.

Nous chercherons à répondre à la question suivante : l'utilisation du BFR représente-t-elle une solution de développement de la force efficace dans la prise en charge de patients présentant une douleur fémoro-patellaire ?

## 4 Méthodologie de recherche

### 4.1 Choix de la méthodologie

L'objectif de ce travail est de répondre à notre question de recherche et aux hypothèses évoquées en explorant l'ensemble des preuves actuelles existantes autour de l'utilisation du BFR dans la rééducation de la douleur fémoro-patellaire. La réalisation d'une revue de littérature paraît être un choix approprié.

### 4.2 Critères PICO

Suivant la constitution de notre question de recherche, et afin de préciser celle-ci, l'utilisation du modèle PICO s'est avérée utile :

- **Population** : Patients souffrant de DFP
- **Intervention** : Développement de la force avec utilisation du BFR
- **Comparaison** : Développement de la force à hautes résistances (60-100% 1-RM) ou à faibles résistances (0-60% 1-RM) ou aucun renforcement musculaire
- **Outcomes** (=critères de jugement) : Force, hypertrophie, douleur et fonction

La définition de ces critères est essentielle afin d'interroger les bases de données scientifiques.

### 4.3 Interrogation des bases de données

Pour permettre une revue la plus exhaustive possible et diminuer le silence documentaire, différentes bases de données scientifiques ont été exploitées. Parmi celles-ci, on retrouve :

- PubMed : base de données bibliographiques spécialisées dans les domaines de la biologie et de la médecine
- Science Direct : base de données exploitant les publications scientifiques notamment en sciences de la santé, de l'éditeur Elsevier Masson
- PEDro : base de données bibliographiques spécialisées dans le domaine de la kinésithérapie/physiothérapie
- Google Scholar : plateforme regroupant divers articles et publications scientifiques

Il a été développé des équations de recherche spécifiques à chaque base de données.

#### 4.4 Mots-clés et équations de recherche

Pour déterminer des équations les plus précises possible, des mots-clés ont été définis en amont. Ils ont été déterminés en fonction des critères PICO. Des synonymes en français et leur traduction anglaise ont été recherché pour produire des équations de recherche complètes.

Tableau I – Mots clés francophones et anglophones utilisés

Français	Anglais
Douleur fémoro-patellaire, Syndrome fémoro-patellaire, douleur antérieure de genou, chondromalacie patellaire, genou du coureur	Patellofemoral pain, patellofemoral syndrome, anterior knee pain, chondromalacia patellae, runner's knee
Entraînement par restriction sanguine, entraînement kaatsu, entraînement hypoxique, thérapie par BFR	Blood flow restriction, restricted blood flow, kaatsu training, occlusion training, hypoxic training, BFR therapy
Force, hypertrophie, douleur, fonction	Strength, hypertrophy, pain, EVA, function, capacity

Cette investigation a été précurseur de la création des équations de recherche. Ces dernières ont été construites par le biais des opérateur booléens tels que « AND » et « OR ». Plusieurs équations ont été établies afin de respecter la spécificité de chaque moteur de recherche. Elles sont identifiables dans le tableau II ci-dessous, associée du nombre de résultats trouvés par leur biais. La base de données Science Direct ne permet une recherche qu'à partir de maximum huit opérateurs booléens donc oblige à être plus concis. Afin de réduire notre équation préliminaire, les termes les plus précis de notre sujet ont été conservés.

Tableau II – Equations de recherches utilisées et leurs résultats dans les bases de données

Base de données	Equation de recherche	Résultats
PubMed	("blood flow restriction" OR "restricted blood flow" OR "kaatsu training" OR "occlusion training" OR "hypoxic training" OR "BFR therapy") AND ("patellofemoral pain" OR "patellofemoral syndrome" OR "Anterior Knee Pain Syndrome" OR "chondromalacia patellae") AND (strength OR hypertrophy OR pain OR EVA OR function)	N=7
Science Direct	("blood flow restriction" OR "restricted blood flow" OR "kaatsu training") AND ("patellofemoral pain" OR "patellofemoral syndrome" OR "Anterior Knee Pain Syndrome") AND (strength OR pain OR function)	N=41
PEDro	<i>Abstract &amp; Title</i> : blood flow restriction patellofemoral pain <i>Body Part</i> : lower leg or knee <i>Subdiscipline</i> : musculoskeletal	N=3

	<i>Match all search terms (AND)</i>	
Google Scholar	("blood flow restriction" OR "restricted blood flow" OR "kaatsu training" OR "occlusion training" OR "hypoxic training" OR "BFR therapy") AND ("patellofemoral pain" OR "patellofemoral syndrome" OR "Anterior Knee Pain Syndrome" OR "chondromalacia patellae") AND (strength OR hypertrophy OR pain OR EVA OR function)	N=491

#### 4.5 Critères d'éligibilité

Dans un objectif de trier et sélectionner les références les plus pertinentes pour notre revue de littérature, nous avons défini plusieurs critères d'inclusion et d'exclusion.

*Tableau III - Critères d'éligibilité des études*

<b>Critères d'inclusion</b>	<b>Critères d'exclusion</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Littérature rédigée dans une langue maîtrisée (anglais, français)</li> <li>• Etudes publiées à partir de 2017</li> <li>• Pathologie atraumatique de la face antérieure du genou</li> <li>• Traitement par BFR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Littérature rédigée dans une langue non maîtrisée</li> <li>• Etudes publiées avant 2017</li> <li>• Littérature de synthèse (recommandation de pratique clinique, revue systématique, méta-analyse)</li> <li>• Antécédents traumatiques ou chirurgicaux des membres inférieurs, instabilité fémoro-patellaire, autres pathologies du genou de la cheville ou de la hanche</li> </ul>

Les publications retenues sont issues de la littérature anglophone ou francophone uniquement, afin que notre maîtrise de la langue puisse permettre d'en faire une analyse critique par la suite. La langue anglaise a également été sélectionnée en raison de sa large prédominance dans le domaine des recherches scientifiques internationales. Toute publication de langue étrangère est immédiatement exclue. La sélection d'article se focalise uniquement à partir de 2017, car le dernier guide de recommandations de pratique clinique a été publié en 2018 (1). Nous partons du principe que ses auteurs ont parcouru soigneusement l'ensemble des publications traitant de notre problématique jusqu'à 2017, au moins, et qu'il n'est pas nécessaire de revenir sur leur travail.

Parmi ces travaux, tous doivent traiter d'une ou des pathologie(s) de la face antérieure du genou, dans un cadre atraumatique et sans notion d'antécédents. Toute affection, associée

ou non, de la cheville, de la hanche ou de toute autre partie du corps est exclue. Toute pathologie du genou traumatique ou ayant nécessité une intervention chirurgicale ne sera pas retenue. Parmi les patients retenus, aucune restriction en termes d'âge ou de genre n'est adoptée. Il pourrait être intéressant, si certaines études le démontrent, d'observer l'efficacité des techniques de rééducation en fonction de ces deux paramètres.

Sont incluses toutes les parutions expérimentales mettant en jeu le blood flow restriction comme outil thérapeutique. Nous ne mettons pas de contrainte sur le comparateur car nous n'excluons pas la possibilité d'obtenir des études de cas, ou autres études transversales, permettant d'évaluer l'impact à long terme du BFR.

#### **4.6 Sélection des publications**

Le processus de sélection des articles est composé de 4 étapes (Identification, Sélection, Éligibilité et Inclusion) et a pour objectif d'identifier les publications pertinentes en vue de répondre à notre question de recherche et d'éliminer tout le bruit documentaire.

L'application des équations de recherche, citées précédemment, dans les différentes bases de données que sont PubMed, PEDro, Science Direct et Google Scholar a permis de recenser 542 publications susceptibles de convenir à notre sujet. Une sélection s'est ensuite produite par élimination de toutes les références publiées avant 2017 (n=172) ainsi que toutes celles présentes en doublons entre les différents lieux de collecte (n=42). Sur les 328 résultats restants, l'application des différents critères d'inclusion et d'exclusion à la lecture du titre et du résumé a pu réduire considérablement le nombre d'articles susceptibles d'être inclus finalement dans notre revue. En effet, notamment sur Google Scholar, de nombreuses références se sont montrées être très éloignées de notre objet de recherche ou en langue étrangère. Ce bruit documentaire aurait pu être atténué par une meilleure connaissance de l'outil de recherche ou par une équation de recherche plus précise. Le reste des articles supprimés dans cette phase de sélection représente de la littérature de synthèse.

Ainsi, seulement 11 articles ont été retenues dans la phase d'éligibilité. Ces derniers ont été soumis à un dernier tri par une lecture intégrale de leur contenu. Parmi eux, 7 ont été exclus, représentant des études pilotes, de faible niveau de preuve, ne présentant pas de groupe contrôle ou ne mettant pas en jeu la population souhaitée ou l'objet de recherche voulu.

Lors de la phase d'inclusion, nous obtenons finalement 4 publications qui seront intégrées à notre revue de la littérature.

Ce processus est présenté dans le diagramme de flux ci-dessous, réalisé selon le modèle PRISMA.

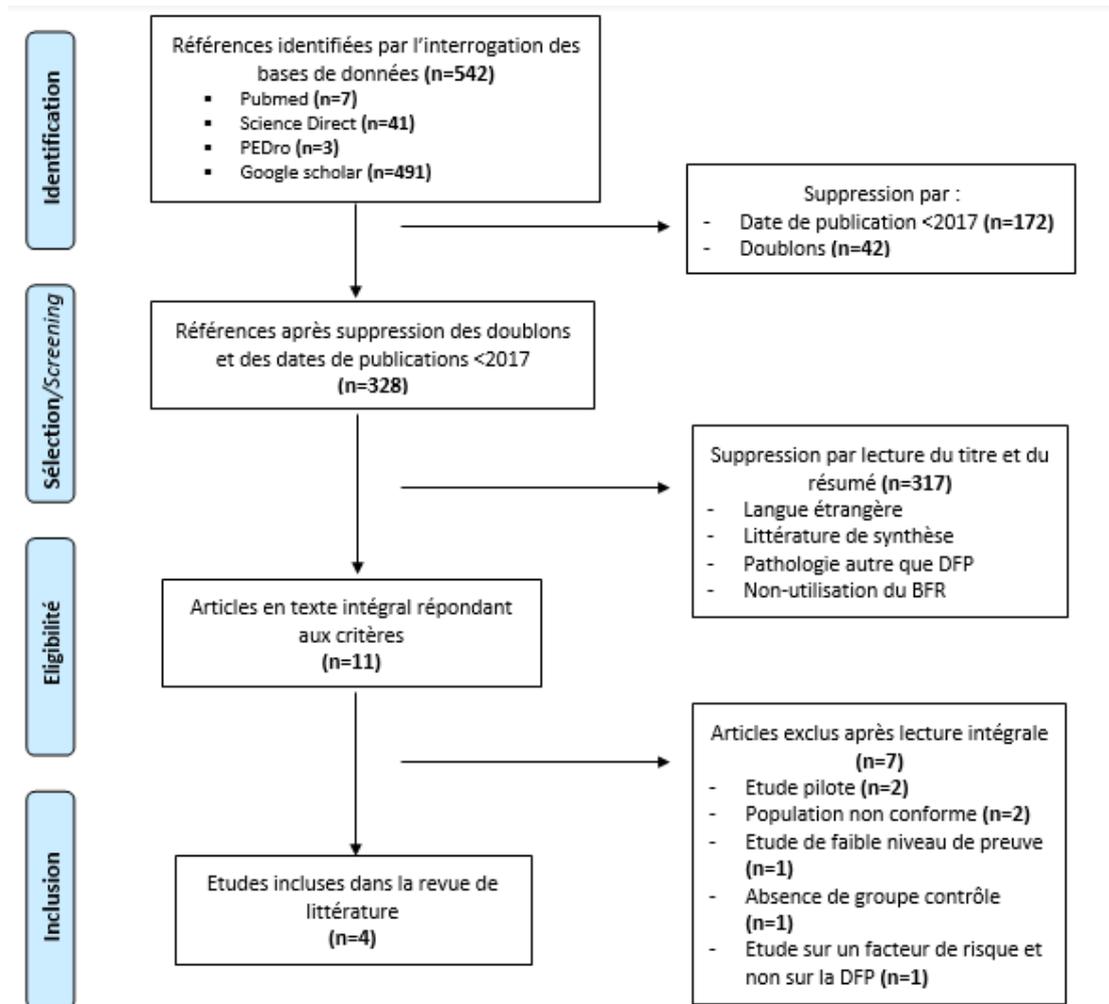


Figure 5 : Diagramme de flux selon le modèle PRISMA

## 5 Résultats

### 5.1 Présentation des publications

La recherche effectuée au sein de la littérature scientifique internationale a permis d'inclure 4 publications à notre revue de la littérature. Parmi elles, 3 Essais Contrôlés Randomisés (ECR) sont parus en décembre 2017 (110), avril 2022 (111) et février 2023 (112). Puis, une étude transversale brésilienne de 2022 vient compléter nos références (113). Elles mettent toutes en comparaison un protocole BFR avec un groupe contrôle mais de manière différente. De même, la population étudiée possède des caractéristiques diverses entre les études.

## 5.2 Caractéristiques des publications retenues

Afin de mieux comprendre la réalisation de chaque étude, nous allons détailler les caractéristiques de chacune, dans la création des interventions, dans les populations étudiées et dans les outcomes utilisés. Cette classification est résumée dans le tableau IV.

Cette revue analyse au total 241 sujets allant de 18 à 44 ans maximum. Hommes et femmes sont confondus sauf pour une étude, analysant uniquement l'impact du BFR sur les femmes atteintes de DFP (113). Dans chaque étude sont inclus les personnes souffrant de douleurs d'origine atraumatique au niveau de la partie antérieure du genou. Une seule étude inclue les participants par le biais uniquement de l'Anterior Knee Pain Scale Questionnaire (113). Les 3 autres, se basent sur des critères tels que la douleur lors d'activité comme la course, le saut, l'accroupissement, etc ou la douleur à la palpation péri-patellaire. Giles et al. et Constantinou et al. incluent le phénomène de chronicisation car les participants doivent ressentir la douleur depuis au moins 8 et 4 semaines respectivement (110,111). Chaque publication exclue les personnes présentant des douleurs de genou autre que la DFP ou présentant des contre-indications à l'utilisation du BFR.

C'est au niveau des protocoles mis en place que ces études diffèrent. Deux d'entre elles opposent le BFR avec une charge faible au renforcement musculaire conventionnel à charge élevée (110,111). Girardi et al. mettent en valeur un renforcement musculaire avec charge faible contre un renforcement avec la même charge mais en additionnant le BFR à celle-ci (113). Enfin, Talbot et al. s'intéressent à la différence entre un renforcement musculaire à charge faible avec BFR et un renforcement musculaire à charge élevée, mais ajoutent à cela l'électrostimulation neuromusculaire pour les 2 groupes étudiés (112). Ces approches différentes vont permettre de déterminer la ou les stratégies les plus intéressantes en termes de résultats.

Ces études s'appuient sur 3 outcomes communs : la douleur, la fonction et la force musculaire. Giles et al. ont également mesuré l'hypertrophie du quadriceps, tandis que Constantinou et al. se sont intéressés à voir l'efficacité de leur intervention sur les phénomènes d'appréhension (111).

*Tableau IV : Synthèse des caractéristiques des différentes études*

Etude, Auteur, Année	Population étudiée	Intervention Groupe contrôle/Groupe Expérimental	Outcomes et outils de mesure utilisés
<p><i>“Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial”</i></p> <p><b>Giles et al.</b> <b>2017</b></p>	<p>N=79 participants au total. Hommes ou femmes entre 18 et 40 ans</p> <p><b>GC</b> : N=39 AM = 26,7 H/F = 20/19</p> <p><b>GE</b> : N=40 AM = 28,5 H/F = 16/24</p>	<p>6 sessions en 8 semaines. Chaque session est composée de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-échauffement = 5 minutes de vélo</li> <li>-Leg press entre 0 et 60° de flexion genou</li> <li>-Leg extension de 90 à 45° de flexion</li> </ul> <p><b>GC</b> : BFR placebo. 3 séries de 7 à 10 répétitions. 70% de la 1-RM</p> <p><b>GE</b> : avec BFR, 60% d’occlusion artérielle, 30% de la 1RM 1 série de 30 rép, puis 3 séries de 15 rép, 30sec repos entre chaque</p>	<p><u>Douleur</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-EVA</li> <li>-Kujala Patellofemoral Score (KPS)</li> </ul> <p><u>Force quadriceps</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Dynamomètre HUMAC NORM</li> </ul> <p><u>Volume quadriceps</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ultrasons</li> </ul> <p>Evaluation au début de l’intervention, à 8 semaines et à 6 mois</p>
<p><i>“Comparing hip and knee focused exercises versus hip and knee focused exercises with the use of blood flow restriction training in adults with patellofemoral pain”</i></p> <p><b>Constantinou et al.</b> <b>2022</b></p>	<p>N=60 participants au total. Hommes ou femmes entre 18 et 40 ans</p> <p><b>GC</b> : N=30 AM = 30,5 H/F = 16/14</p> <p><b>GE</b> : N=30 AM = 25,5 H/F = 17/13</p>	<p>12 séances en 4 semaines (3/semaine). Chaque séance est composée de :</p> <p><b>GC</b> : -Abduction de hanche en décubitus latéral (poids aux chevilles) -Extension de hanche (machine) -Abduction de hanche debout contre élastique -Rotation externe de hanche assis, contre élastique -Extension genou assis (90-45°) -Flexion de genou -Squat (0-45°) -Leg press unipodal (0-45°) (machine)</p> <p>* 3 séries de 10 rep, 70% de la 1RM, tempo (1:2) con/exc, 30sec repos /série 2min repos / exercice</p> <p><b>GE</b> : -Extension de hanche (machine) -Abduction de hanche (machine) -Extension genou assis (90-45°) -Leg press unipodal (0-45°) (machine)</p> <p>*1 série de 30, puis 3 séries de 15 rép, 70% d’occlusion artérielle, 30% de la 1RM, tempo (2 :2) con/exc, 30sec repos /série 2min repos / exercice</p>	<p><u>Douleur</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Kujala Anterior Knee Pain Scale</li> <li>-EVA</li> <li>-Douleur au squat unipodal</li> </ul> <p><u>Fonction</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Decline step down test</li> </ul> <p><u>Appréhension</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Tampa Scale of kinesiophobia</li> <li>-Pain catastrophizing scale</li> </ul> <p><u>Force isométrique extenseurs genou, extenseurs et abducteurs de hanche</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Dynamomètre</li> </ul> <p>Evaluation au début de l’intervention, à 4 semaines et à 2 mois</p>

		GC+GE : 3x30s d'étirements passifs des MI	
<p><i>“Electromyostimulation With Blood Flow Restriction for Patellofemoral Pain Syndrome in Active Duty Military Personnel: A Randomized Controlled Trial”</i></p> <p><b>Talbot et al. 2023</b></p>	<p>N=84 participants au total. Que des militaires entre 18 et 44 ans</p> <p><b>GC</b> : N= 42 AM = 25,8 H/F = 37/5</p> <p><b>GE</b> : N= 42 AM = 28,5 H/F = 35/7</p>	<p>62 séances, dont 31 séances d'exercices à domicile uniquement, 18 séances en clinique combinant NMES/exercice/BFR, et 13 séances à domicile de NMES/exercice. Chaque séance est composée de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Active Straight Leg Raise (ASLR)</li> <li>-Renforcement musculaire quadriceps</li> <li>-Step-up</li> <li>-Squats</li> </ul> <p>Pour chaque exercice : 1 série de 30 rép à une cadence de 4,5 s, puis 2 séries de 15 rép à la même cadence, 15 sec de repos/série</p> <p>Même intensité de NMES pour les 2 groupes (50 Hz)</p> <p><b>GC</b> : BFR-placebo (pression à 20mmHg)</p> <p><b>GE</b> : BFR pression à 80% d'occlusion artérielle</p>	<p><u>Douleur</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-EVA</li> </ul> <p><u>Force extenseurs et fléchisseurs genou, et stabilisateurs de hanche</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Dynamomètre (handheld Nicholas Manual Muscle Tester)</li> </ul> <p><u>Fonction</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-30-second chair stand test (30-SCST)</li> <li>-Forward step-down test (FSDT)</li> <li>-Timed stair climb test (SCT)</li> <li>-Test de marche de 6min (TDM6)</li> </ul> <p>Evaluation au début de l'intervention, à 3, 6 et 9 semaines</p>
<p><i>“Quadriceps strengthening by the Kaatsu Training method in women with patellofemoral pain”</i></p> <p><b>Girardi et al. 2022</b></p>	<p>N= 18 participants au total. Que des femmes entre 18 et 35 ans</p> <p><b>GC</b> : N= 7 AM = 28,5</p> <p><b>GE</b> : N= 8 AM = 23,2</p>	<p>18 interventions en 6 semaines (3/semaine). Chaque intervention est composée de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Leg extension à la machine</li> </ul> <p>*1 série de 30 rep, puis 3 série de 15 rep, 20 sec de repos /série</p> <p><b>GC</b> : charge à 6,80kg (environ 20% de la 1-RM)</p> <p><b>GE</b> : BFR pression à 123,33mmHg, charge à 6,80kg (environ 20% de la 1-RM)</p>	<p><u>Douleur</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Anterior Knee Pain Scale</li> <li>-EVA</li> </ul> <p><u>Force quadriceps</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Dynamomètre digital</li> </ul> <p>Evaluation au début de l'intervention et à 6 semaines</p>

Légendes : N : nombre de patients ; GC : Groupe contrôle ; GE : groupe expérimental ; AM : âge moyen ; H/F : ratio Hommes/Femmes ; EVA : Echelle Visuelle Analogique ; rép : répétitions ; sec : secondes ; min : minutes ; tempo (X:Y) con/exc : X secondes de temps concentrique et Y secondes de temps excentrique ; NMES : Stimulation Electrique NeuroMusculaire ; Hz : Hertz

### 5.3 Evaluation méthodologique des études

Dans l'objectif d'observer les résultats, les interpréter et d'en tirer des conclusions, nous avons analysé la qualité méthodologique des publications incluses dans la revue. L'échelle PEDro a été utilisée pour évaluer la qualité méthodologique des trois ECR (*Annexe 3*). Le score de cette échelle quantitative spécifique à l'évaluation des ECR est compris entre 0 et 10 points. L'échelle PEDro est composée de 11 critères, recevant chacun la note de 0 ou 1, et le premier critère, relatif à l'évaluation de la validité externe de l'article, n'est pas comptabilisé dans le calcul du score final. Un score inférieur à 4 est considéré comme mauvais, un score de 4 à 5 comme acceptable, 6 à 8 comme bon, et de 9 à 10 comme excellent (114). L'étude de Giles et al. a obtenu la note de 8/10 tandis que les études de Constantinou et al. et Talbot et al. ont reçu respectivement une note de 7/10 et 6/10 (110–112).

La grille « *Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Studies* » (*Annexe 4*) a été utilisée pour évaluer la qualité méthodologique de l'étude transversale. Cette grille de lecture ne donne pas de score numérique une fois remplie, mais permet de prendre en compte le risque de biais de sélection, d'information, de mesure ou de confusion en s'attardant sur les points non présents dans l'étude transversale (115). Elle permet d'éveiller le doute sur les résultats présentés dans l'étude ou sur la capacité de l'étude à évaluer avec précision une association entre l'exposition et le résultat (115). L'étude transversale de Girardi et al. présente 6 critères non-présents sur les 14 recherchés par la grille (113).

### 5.4 Présentation des résultats

Chaque étude met en jeu un protocole différent. Afin de déterminer quel protocole est le plus efficace nous avons présenté les résultats par outcomes étudiés. Nous ne nous sommes pas attardés sur les résultats intra-groupes mais davantage sur les différences inter-groupes, l'objectif étant de déterminer si un développement de la force par BFR est plus ou moins efficace qu'un développement de la force « conventionnel », qu'il soit à charges élevées ou faibles, et dans quelle condition il l'est. La différence entre les groupes entre 2 temps d'évaluation est considéré comme statistiquement significative quand la p-value donnée par l'étude est inférieure à 0,05. Celle-ci permet d'attester qu'il est peu probable que la différence se soit produite par hasard, et qu'elle constitue donc une preuve de l'existence d'un effet du

traitement (116). Dans les études de Constantinou et al. et Girardi et al., les auteurs développent la significativité intra et inter-groupe à un temps d'évaluation donné uniquement (pas sur la différence entre les 2 temps d'évaluation) (111,113). Nous avons retenu comme significatives les différences, entre groupes contrôles et groupes expérimentaux, significatives à 4 semaines ou à 2 mois pour Constantinou et à 6 semaines pour Girardi, lorsque leur différence n'était pas significative à baseline.

Les temps d'évaluation n'étant pas similaires entre les 4 études, chaque outcome est divisé en 3 catégories : court terme, moyen terme et long terme. L'objectif est de voir l'impact des protocoles à différentes périodes. Les évaluations réalisées entre 0 et 4 semaines sont intégrées dans la période court terme, celles entre 5 et 8 semaines dans la période moyen terme, tandis qu'au-dessus de 8 semaines les résultats sont considérés long terme. Cette classification, que nous avons réalisée subjectivement, a été effectuée de telle manière à pouvoir comparer les résultats en fonction des protocoles d'intervention par la suite.

#### 5.4.1 Douleur

L'ensemble des publications incluses dans la revue de littérature analyse l'effet de son intervention sur la douleur. Ce paramètre est mesuré dans 3 études grâce à l'EVA. C'est une échelle d'auto-évaluation de la douleur se quantifiant à l'aide d'une règle de 10 cm sur laquelle le patient place une réglette correspondant à son niveau de douleur. Le 0 correspond à une douleur absente, 10 correspond à une douleur maximale. Parfois, nous pouvons retrouver des échelles allant de 0 à 100 comme celle utilisée par Giles et al (110). Dans un souci de clarté, nous reportons leurs résultats sur une échelle de 0 à 10 comparativement aux autres études. Les auteurs ont utilisé cette EVA de différentes façons. Giles et al et Constantinou et al l'ont utilisé pour évaluer la pire douleur ressentie dans la semaine écoulée (EVA-W) et la douleur ressentie lors de la vie quotidienne (EVA-Q) (110,111). Constantinou l'a également associé à la réalisation d'un squat unipodal superficiel (EVA-SS) et profond (EVA-SP) (111). Talbot et al. l'ont évaluée lors du test musculaire réalisé par le patient (EVA-T) (112). Girardi et al. mesurent la douleur par le biais de la NRPS (113). Le patient évoque oralement le chiffre décrivant sa douleur, entre 0 et 10. L'ensemble des résultats sur l'évolution de la douleur sont retrouvés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V – Résultats de l'évolution de la douleur à court, moyen et long terme

Etude	Douleur		
	Court terme (0-4sem)	Moyen terme (5-8sem)	Long terme (9 sem et +)
Giles et al. 2017	NE	-EVA-W (0-10) : GC : -2,22 / GE : -2,83 ➔ Non significatif  -EVA-Q (0-10) : GC : -1,9 / GE : -3,66 ➔ <b>SIGNIFICATIF (p=0,022)</b>	-EVA-W (0-10) : GC : -2,43 / GE : -2,76 ➔ Non significatif  -EVA-Q (0-10) : GC : -1,86 / GE : -2,65 ➔ Non significatif
Constantino u et al. 2022	-EVA-W (0-10) : GC : -4,43 / GE : -4,64 ➔ <b>SIGNIFICATIF (p=0,02)</b>  -EVA-Q (0-10) : GC : -3,4 / GE : -3,4 ➔ Non significatif  -EVA-SS (0-10) : GC : -3,28 / GE : -3,21 ➔ Non significatif  -EVA-SP (0-10) : GC : -4,06 / GE : -3,95 ➔ Non significatif	-EVA-W (0-10) : GC : -5,53 / GE : -5,34 ➔ Non significatif  -EVA-Q (0-10) : GC : -3,73 / GE : -3,64 ➔ Non significatif  -EVA-SS (0-10) : GC : -3,44 / GE : -3,35 ➔ Non significatif  -EVA-SP (0-10) : GC : -4,70 / GE : -4,40 ➔ Non significatif	NE
Talbot et al. 2023	-EVA-T (0-10) : GC : +0,27 / GE : -0,82 ➔ Non significatif	-EVA-T (0-10) : GC : -1,21 / GE : -1,12 ➔ Non significatif	-EVA-T (0-10) : GC : -1,12 / GE : -0,69 ➔ Non significatif
Girardi et al. 2022	NE	-NRPS (0-10) : GC : -3,43 / GE : -4,25 ➔ Non significatif (p=0,06)	NE

L'ensemble des auteurs a relevé une diminution significative intra-groupe de l'EVA par rapport à la valeur de base que ce soit à court, moyen ou long terme pour les groupes contrôles comme expérimentaux. Nous avons ensuite relevé les différences d'évolution entre les groupes.

Giles et al., en évaluant à 8 semaines, ont remarqué une diminution moyenne de la pire douleur ressentie (EVA-W) de 2,22 points pour le groupe contrôle contre 2,83 points pour le groupe expérimental. Cette différence n'est pas statistiquement significative (p=0,237). La différence dans la douleur ressentie dans les AVQ (EVA-Q) est, elle, statistiquement significative (p=0,022) à 8 semaines. Le groupe contrôle observe une diminution de 1,9 points tandis que le groupe BFR diminue de 3,66 points. Lors de l'évaluation à 6 mois, cette différence inter-groupe a tendance à diminuer et les résultats ne sont pas représentatif statistiquement.

Constantinou et al, sur l'ensemble des 4 modalités d'évaluation d'EVA, n'en ont relevé qu'une seule de statistiquement significative. Il s'agit de la pire douleur ressentie par le patient (EVA-

W) à court terme, où le groupe contrôle présente une baisse de 4,43 points et le groupe expérimental de 4,64 points ( $p=0,02$ ). Pour le reste des valeurs, à court comme à moyen termes, la diminution légèrement plus importante à chaque fois pour le groupe contrôle, n'est pas assez importante pour présenter une significativité statistique.

Pour l'étude de Talbot et al., les valeurs d'évolution d'EVA-T sont relativement proches à moyen (-1,21 et -1,12) et long terme (-1,12 et -0,69). Cependant à court terme, le groupe BFR-placebo voit une augmentation de 0,27 points tandis que le groupe BFR diminue de 0,82 points. Ce résultat ne présente pas une p-value prouvant sa significativité.

Girardi et al. ont relevé une diminution de 3,43 à la NRPS pour le groupe contrôle contre 4,25 pour le groupe expérimental. Malgré cette différence, la p value est légèrement trop élevée pour en déduire un résultat statistiquement viable ( $p=0,06$ ).

#### 5.4.2 Force musculaire

L'évaluation de la force a été réalisé par l'ensemble des auteurs grâce à un dynamomètre, variant entre les études par les modèles ou les marques. Toutes les études ont évalué la force de la même manière : la contraction maximale volontaire isométrique (MVIC). En plus des extenseurs de genou, Constantinou et al ont évalué la force des extenseurs et abducteurs de hanche et Talbot et al celle des fléchisseurs de genou et abducteurs de hanche (tableau VI).

Tableau VI – Résultats de l'évolution de la force à court, moyen et long terme

Etude	Force		
	Court terme	Moyen terme	Long terme
Giles et al. 2017	NE	-Extenseurs G (Nm) : GC : +23,6 / GE : +35,2 ➔ Non significatif	NE
Constantinou et al. 2022	-Extenseurs G (N) : GC : +136,1 / GE : +163,3 ➔ Non significatif ( $p=0,051$ )  -Extenseurs H (N) : GC : +32,9 / GE : +36,9 ➔ Non significatif  -Abducteurs H (N) : GC : +18,7 / GE : +22,3 ➔ Non significatif	-Extenseurs G (N) : GC : +151,5 / GE : +209,7 ➔ <b>SIGNIFICATIF (<math>p&lt;0,001</math>)</b>  -Extenseurs H (N) : GC : +39,1 / GE : +38,7 ➔ Non significatif  -Abducteurs H (N) : GC : +20,3 / GE : +23,8 ➔ Non significatif	NE
Talbot et al. 2023	-Extenseurs G (kgf) : GC : +3,1 / GE : +2,3 ➔ Non significatif	-Extenseurs G (kgf) : GC : +8,3 / GE : +6,7 ➔ Non significatif	-Extenseurs G (kgf) : GC : +8,6 / GE : +7,9 ➔ Non significatif

	-Fléchisseurs G (kgf) : GC : -0,2 / GE : +0,3 → Non significatif  -Abducteurs H (kgf) : GC : +1,4 / GE : +2,1 → Non significatif	-Fléchisseurs G (kgf) : GC : -0,7 / GE : +0,8 → Non significatif  -Abducteurs H (kgf) : GC : +1,4 / GE : +3,2 → Non significatif	-Fléchisseurs G (kgf) : GC : -1,8 / GE : +0,5 → Non significatif  -Abducteurs H (kgf) : GC : +3,0 / GE : +2,9 → Non significatif
Girardi et al. 2022	NE	-Extenseurs G droit (kg) : GC : +1,86 / GE : +8,1 → <b>SIGNIFICATIF (p=0,03)</b>  -Extenseurs G gauche (kg) : GC : +1,55 / GE : +8,53 → <b>SIGNIFICATIF (p=0,04)</b>	NE

L'ensemble des auteurs a relevé une augmentation statistiquement significative intra-groupe de la force des extenseurs de genou que ce soit à court, moyen ou long terme pour les groupes contrôles comme expérimentaux. Seule l'étude de Girardi et al. ne statue pas sur la significativité de l'augmentation de force de son groupe contrôle.

Giles et al, malgré une augmentation plus importante à 8 semaines du couple de force des extenseurs de genou du groupe expérimental (+35,2Nm) par rapport au groupe contrôle (+23,6Nm), ne révèlent pas ce résultat comme statistiquement représentatif (p=0,073).

Dans l'étude de Constantinou et al, les valeurs de force des extenseurs et abducteurs de hanche ont tendance à augmenter plus chez le groupe BFR que chez les sujets en traitement « conventionnel » mais de façon non-significative. Cependant, pour les extenseurs de genou, à court terme le groupe contrôle possède une augmentation de 136,1N contre 163,3N pour le groupe expérimental. Cette différence est proche de la significativité statistique car elle obtient une p-value de p=0,051. Cette différence entre le groupe BFR (+209,7N) et le groupe « conventionnel » (+151,5N) devient significative (p<0,001) lors de l'évaluation à 8 semaines.

Dans l'étude de Talbot et al, la force des extenseurs de genou suit une tendance à l'augmentation pour le groupe contrôle à court, moyen et long terme sans qu'elle ne soit significative. A l'inverse, c'est le groupe BFR qui augmente plus en force des extenseurs de hanche sans que ce soit significatif. Au niveau des fléchisseurs de genou, le groupe BFR-placebo perd en force tandis que le groupe BFR en gagne à court, moyen et long terme. Une fois de plus, la différence n'est pas assez importante pour être significative statistiquement.

Girardi et al ont mesuré l'augmentation de force pour les extenseurs de genou des 2 jambes. Le groupe contrôle a amélioré de 1,86kg à droite et 1,55kg à gauche en moyenne tandis que

le groupe BFR a amélioré de 8,1kg à droite et 8,53kg à gauche. L'augmentation de force s'est montrée significative à gauche ( $p=0,04$ ) comme à droite ( $p=0,03$ ).

### 5.4.3 Fonction

Afin d'évaluer les capacités fonctionnelles des patients, Talbot et al. ont utilisé 4 tests de performance physique différents. Le 30-SCST ou test assis-debout consiste à alterner le plus de fois possible ces 2 positions en 30 secondes. Le 30-FSDT consiste à ce que le patient, positionné sur une jambe sur une marche, fléchisse son genou pour toucher le talon de la jambe controlatérale au sol et le faire le plus de fois possible en 30 secondes. Le SCT ou test de montée/descente d'escaliers consiste à chronométrer le temps mis par le patient pour gravir et descendre 4 marches. Le test de marche de 6 minutes (6MWT) évalue la distance parcourue par le patient en 6 minutes. Dans cette étude, la distance est évaluée en pouces (112). Constantinou et al. mesurent l'angle de flexion maximal du genou sans douleur au « Decline Step Down Test » (DSDT) (111).

Les 3 autres études évaluent la fonction de manière plus subjective par le biais de « l'Anterior Knee Pain Scale » (AKPS). Aussi connue sous le nom d'échelle de Kujala, l'AKPS est un questionnaire basé sur 13 items pour la fonction du genou chez les personnes atteintes de DFP. Le score est sur 100. Plus le score est élevé, plus la capacité fonctionnelle est importante. L'ensemble des résultats sur l'évolution de la fonction sont visibles dans le tableau VII.

Tableau VII – Résultats de l'évolution de la fonction à court, moyen et long terme

Etude	Fonction		
	Court terme	Moyen terme	Long terme
Giles et al. 2017	NE	-AKPS (0-100) : GC : + 10,6 / GE : + 12,9 ➔ Non significatif	-AKPS (0-100) : GC : + 13,3 / GE : + 10,8 ➔ Non significatif
Constantino u et al. 2022	-AKPS (0-100): GC: +20 / GE: +22,1 ➔ Non significatif  -Angle max au DSDT (deg°) : GC : +26,5 / GE : +23,1 ➔ Non significatif	-AKPS (0-100): GC: +24,6 / GE: +26,2 ➔ Non significatif  -Angle max au DSDT (deg°) : GC : +33,6 / GE : +29,2 ➔ Non significatif	NE
Talbot et al. 2023	-FSDT (nb de répétitions) : GC : +1,3 / GE : +2,5 ➔ Non significatif  -30-SCST (nb d'assis-debout) :	-FSDT (nb de répétitions) : GC : +3,9 / GE : +4,2 ➔ Non significatif  -30-SCST (nb d'assis-debout):	-FSDT (nb de répétitions) : GC : +4,9 / GE : +5 ➔ Non significatif  -30-SCST (nb d'assis-debout):

	GC : +0,7 / GE : +1,4 ➔ Non significatif  -TDM6 (pouces) : GC : +0,671 / GE : +1,903 ➔ Non significatif  -SCT (secondes) : GC : +0,4 / GE : -0,4 ➔ <b>SIGNIFICATIF (p&lt;0,05)</b>	GC : +1,8 / GE : +2,5 ➔ Non significatif  -TDM6 (pouces) : GC : +1,686 / GE : +1,887 ➔ Non significatif  -SCT (secondes) : GC : -0,27 / GE : -0,41 ➔ Non significatif	GC : +4,4 / GE : +4,7 ➔ Non significatif  -TDM6 (pouces) : GC : +1,514 / GE : +1,429 ➔ Non significatif  -SCT (secondes) : GC : -0,59 / GE : -0,63 ➔ Non significatif
Girardi et al. 2022	NE	-AKPS (0-100) : GC : +10,43 / GE : +13,12 ➔ Non significatif	NE

L'ensemble des études ont mis en lumière une amélioration statistique significative intra-groupe à court, moyen et long terme pour cette échelle. En comparant les groupes contrôles et les groupes expérimentant un protocole BFR, aucune étude ne montre une différence statistiquement significative sur l'évolution entre les groupes. Les valeurs de l'AKPS ont tendance à évoluer positivement avec le temps sauf pour l'évaluation 6 mois après le traitement du groupe BFR dans l'étude de Giles et al. En effet, celui-ci perd 2,1 points par rapport à l'évaluation à 8 semaines tandis que le groupe « conventionnel » en gagne 2,7. Aucune p-value n'est renseignée pour cette valeur.

Dans l'étude de Constantinou et al, le groupe BFR n'a pas montré de différence statistiquement significative ( $p>0,05$ ) par rapport au groupe contrôle à court terme (+23,1° vs +26,5°) comme à moyen terme (+29,2° vs +33,6°) au DSDT.

Talbot et al., ont relevé uniquement une valeur statistiquement significative parmi l'ensemble de leurs tests. Pour le SCT, à 3 semaines, le groupe BFR-placebo a augmenté son temps par rapport à l'évaluation de base ( $t=+0,4s$ ) tandis que le groupe BFR a diminué le sien ( $t=-0,4s$ ) ( $p<0,05$ ). Cette différence se lisse ensuite à 6 et 9 semaines et devient insignifiante statistiquement. Tous les autres tests n'ont pas révélé de différences inter-groupe.

#### 5.4.4 Volume musculaire

Giles et al. sont les seules auteurs à avoir investigué l'impact d'un protocole BFR sur le gain hypertrophique par rapport à un traitement conventionnel. Pour ce faire, ils ont évalué le volume musculaire du quadriceps par l'échographie. Lors de l'évaluation à 8 semaines, le groupe contrôle observe une amélioration de 0,2cm tandis que le groupe expérimental se voit

bénéficiaire d'une amélioration de 0,1cm. L'évolution est statistiquement significative pour le groupe contrôle ( $p=0,018$ ) mais non pour le groupe expérimental ( $p=0,507$ ). Cependant, la différence inter-groupe se trouve elle, insignifiante statistiquement ( $p=0,195$ ), ne permettant pas de statuer sur la priorisation d'une intervention par rapport à l'autre.

## 6 Discussion

### 6.1 Analyse et interprétation des résultats

La traduction des changements statistiquement significatifs dans les mesures de résultats en termes cliniquement pertinents est essentielle pour l'interprétation des résultats des études (117). La notion de taille d'effet sert à donner une signification pratique aux résultats statistiquement significatifs en évaluant l'importance de l'effet thérapeutique d'une intervention. Elle permet d'estimer la différence entre des groupes et l'impact de cette différence (116). Les auteurs peuvent utiliser le "d de Cohen" pour mesurer la taille d'effet. Il indique si la différence observée est faible pour une valeur inférieure à 0,2, faible à modérée entre 0,2 et 0,4, modérée entre 0,4 et 0,6, modérée à forte entre 0,6 et 0,8 ou forte pour une valeur supérieure à 0,8 (118).

Dans cette revue de littérature, seule l'étude de Giles et al met en lumière la taille d'effet clinique par le calcul du d de Cohen (110). Pour le seul résultat statistiquement significatif à 8 semaines entre les 2 groupes, les auteurs révèlent que l'évolution de la douleur dans les AVQ représente une taille d'effet modérée (0,53). De plus, malgré un résultat non significatif statistiquement ( $p=0,073$ ) pour le développement en force entre les 2 groupes, la taille d'effet est de 0,48 représentant une taille d'effet modérée également. L'effet semble donc intéressant mais certains paramètres peuvent être à l'origine de ce résultat non exploitable statistiquement. Et c'est ce que montre cette étude en ayant recueilli ensemble, uniquement les résultats des sujets douloureux à l'extension de genou résistée. Pour ces patients, le groupe renforcement musculaire conventionnel augmente sa force d'extension de genou en moyenne de 129,8Nm à 149,2Nm en 8 semaines tandis que le groupe BFR passe de 117,5Nm à 161Nm. Cette différence inter-groupe est statistiquement significative ( $p=0,003$ ). Les auteurs indiquent une taille d'effet égale à 1,02, supposant un effet fort de l'intervention BFR par rapport au renforcement conventionnel sur cette population. Nous pouvons en déduire

ainsi que l'intervention a une efficacité clinique plus importante sur des sujets douloureux. Dans cette étude, la taille d'effet n'a pas été calculée pour les résultats à 6 mois limitant donc la visibilité de l'effet clinique à long terme pour le lecteur.

Les 3 autres études ne calculant pas la taille d'effet, nous nous sommes appuyés sur les différences minimales cliniquement importantes (DMCI) des différents outcomes afin de pouvoir exploiter au mieux les résultats cliniquement. La DMCI quantifie la différence minimale que les patients ou les praticiens considèrent comme cliniquement importante et qui indique donc un changement pertinent dans les symptômes du patient (117). Pour l'évolution de la douleur dans la DFP, la différence minimale à acquérir à l'EVA pour que l'effet soit cliniquement acceptable est de -2cm (117). Suivant ce postulat, aucune étude ne montre un effet clinique inter-groupe pour l'évolution de la douleur.

En ce qui concerne l'évolution de la force et la fonction, chez des sujets atteints de DFP, nous n'avons trouvé aucune étude permettant de déduire une DMCI claire et pertinente pouvant nous aiguiller sur la taille d'effet.

## **6.2 Synthèse des résultats**

A moyen terme, un protocole de développement de la force sous BFR semble plus efficace pour développer la force du quadriceps qu'un renforcement musculaire à faibles ou lourdes charges. A court et long terme, les résultats sont similaires à un développement contre hautes résistances. L'effet clinique sur l'évolution de la force semble plus important avec le BFR qu'un protocole conventionnel chez les sujets douloureux à la réalisation des exercices.

Il semble diminuer le pic de douleur ressenti par le patient à court terme et la douleur dans les AVQ à moyen terme comparé à un développement de la force à hautes charges. Il présente des bénéfices similaires sur la douleur qu'un renforcement musculaire contre charges faibles. L'application du BFR dans le développement de la force ne semble pas améliorer les résultats fonctionnels comparé à un développement de la force à lourdes ou faibles résistances.

L'ajout de l'électrostimulation neuro-musculaire couplé au BFR ne présente aucun avantage sur la douleur, la force ou la fonction comparé à un protocole conventionnel.

Ces résultats sont à modérer en fonction des limites présentes dans cette revue.

### 6.3 Limites de la revue de littérature

#### 6.3.1 Limites de la qualité méthodologique de la revue

Afin d'évaluer ce travail, nous nous sommes appuyés sur la grille AMSTAR 2 (119). Quatre bases de données ont été consultées, afin d'être conforme aux recommandations de la grille d'évaluation de la qualité méthodologique des revues, mais d'autres bases telle que « *Cochrane Library* » auraient pu être utilisées pour une recherche plus exhaustive. De plus, seules les publications en français ou en anglais ont été incluses, ce qui a pu exclure des articles pertinents à notre question de recherche en raison de leur langue.

La sélection des études et l'extraction des données ont été réalisées par une seule personne, alors que ces procédés sont recommandés par un minimum de deux personnes de façon indépendante, ce qui souligne un risque de biais de sélection important (119). Cette sélection s'est effectuée sur la base subjective de notre interprétation à la lecture du titre et du résumé. C'est lors de cette étape que de nombreuses références ont été éliminées. Nous avons pu écarter des études intéressantes par une mauvaise interprétation, ou car nos critères d'inclusion et d'exclusion était trop précis.

Seules quatre études ont été incluses dans la revue de littérature, en partie en raison de la restriction temporelle que nous nous sommes fixés et du faible nombre d'articles scientifiques répondant précisément à notre question de recherche sur cette courte période de temps. Compte tenu de ce nombre restreint de publications pertinentes, des études avec des protocoles différents ont été incluses. Les exercices proposés aux groupes BFR et contrôles divergent entre les études. Talbot et al ajoutent même l'électrostimulation neuro-musculaire à leurs deux groupes étudiés (112). Cette inégalité rend impossible l'association de résultats entre les études. La comparaison quantitative n'a pas été réalisée en raison de l'hétérogénéité des caractéristiques, des interventions effectuées et des outcomes privilégiés par les études. Ainsi, une synthèse méthodique qualitative a été privilégiée dans cette revue.

Au sujet des outcomes à analyser, nous avons décidé d'occulter les résultats sur l'appréhension et les facteurs psychologiques. Ils n'étaient détaillés que dans une seule étude et nous avons fait le choix d'approfondir les outcomes sur lesquels le BFR semblait avoir le plus d'effet (111). Cependant, nous nous questionnons sur l'impact que pourrait avoir le BFR sur ces paramètres. En diminuant la douleur, nous pourrions imaginer que cet outil pourrait

permettre de diminuer la kinésiophobie et le catastrophisme et favoriser l'efficacité dans la réalisation des exercices. Les facteurs psychologiques sont des facteurs de risque de développer la DFP, nous aimerions voir l'impact du BFR sur ceux-ci dans de futures recherches (1,29).

Pour l'ensemble des outcomes étudiés, nous avons pris le soin d'utiliser des outils de mesure valides et fiables pour la douleur fémoro-patellaire. Pour la mesure de la force, toutes les études utilisent un dynamomètre manuel. Cet outil, à l'instar des appareils isocinétiques, est considéré comme un outil fiable et valide pour l'évaluation de la force musculaire dans un contexte clinique (120). Au sujet de la douleur, les validités de l'EVA et de la NRPS ont été approuvées par Thong et son équipe (121). Ce sont des échelles recommandées pour leur validité et leur fiabilité dans le guide de recommandation clinique de 2019 tout comme l'AKPS mesurant la fonction (1). Pour cet outcome, aucune étude n'a mis en lumière la validité de l'ensemble des tests réalisés dans l'ECR de Talbot et al dans un contexte de DFP (112). L'échographie a été démontrée comme valide et fiable dans l'objectif de relever des différences de volumes musculaires sur le quadriceps (122).

### 6.3.2 Limites des études analysées

Le choix des études à inclure a été fait de sorte à respecter les plus hauts niveaux de recommandations de la Haute Autorité de la Santé (HAS) (123). Pour cela, nous avons inclus 3 ECR, représentant des grades A de recommandations. En incluant l'étude transversale de Girardi et al., nous acceptons l'idée qu'elle présente un faible niveau de preuve scientifique (grade C). Ce choix a été fait car, à la lecture de cette étude, la méthodologie utilisée tendait vers une méthodologie d'ECR et était fortement associée à notre objet de recherche. Néanmoins, nous gardons à l'idée que les résultats de cette étude pourraient avoir moins d'impact qu'à la suite d'un ECR.

Giles et al., Constantinou et al., ainsi que Talbot et al. ont reçu respectivement les notes de 8/10, 7/10 et 6/10 à l'échelle PEDro, représentant des bons scores méthodologiques (114). Pour les 2 premiers cités, leur note PEDro était déjà donné sur la base de recherche du même nom. Cette opportunité a permis de limiter la subjectivité du score en étant attribué par des lecteurs experts dans le domaine et expérimenté dans l'utilisation de cette échelle. Pour

l'autre ECR, nous avons réalisé l'évaluation de sa validité interne, ouvrant la voie à davantage d'erreurs d'analyse dues à l'inexpérience dans l'utilisation de cet outil.

Afin d'exploiter au mieux les résultats et qu'ils tendent à être apposé à la population générale, il est préférable que les études définissent avec soin leur population à étudier. Avec des sujets âgés entre 18 et 44 ans, les 4 études incluses sont comparables entre elles. Cependant, la population majoritairement touchée par la DFP sont les 12-19 ans (1). Il est ainsi limitant de n'avoir aucune information quant à l'effet d'une intervention BFR sur cette population principalement victime de la DFP. Nous nous demandons si ce phénomène est du fait que les études sur les personnes mineures soulèvent des complications administratives voire éthiques, ou à cause de la difficulté à définir la DFP chez cette population. Chez les jeunes, les ostéochondroses de croissance comme Osgood-Schlatter et Sinding-Larsen-Johannson peuvent venir compliquer le diagnostic de DFP (124).

Girardi et al. étudient uniquement les femmes dans leur ECR (113). Or, les femmes sont plus touchées que les hommes par la DFP, donc ce focus nous semble pertinent (3). Le ratio hommes/femmes de l'étude de Talbot et al présentant une majorité d'hommes, représente moins d'intérêt clinique (112). Mais, cette étude se focalise sur les militaires, qui sont la profession la plus touchée par la DFP, lui attribuant de la pertinence clinique (3).

Dans une étude, il est pertinent de déterminer la taille d'échantillon nécessaire à l'avance pour s'assurer d'avoir un effectif suffisant pour maintenir un niveau adéquat de puissance du test (125). Cette puissance consent à détecter un effet réel permettant de le transposer potentiellement à la population générale. Seule l'étude transversale n'évoque pas en amont la quantité d'effectif nécessaire (113). Giles et al. évoquent le fait que leur étude nécessite au moins 68 participants (110). En en ayant inclus 79, ils finissent l'intervention au-dessus du quota en concluant l'intervention avec 69 sujets. Pour Constantinou et al, la taille de l'échantillon nécessaire a été estimée à 60 participants (111). En estimant un taux d'abandon possible de 20 %, ils ont conclu à une taille d'échantillon incluant 38 participants par groupe (76 au total). Au final, 68 patients ont été randomisés. Cette valeur se trouve en deçà de celle évoquée, mais 60 sujets iront au bout de l'intervention permettant de valider l'échantillon initiale. En effet, il y a eu moins d'abandons qu'attendu. Ces 2 études relèvent des échantillons

permettant de valider la puissance de leur intervention. Ce n'est pas le cas pour Talbot et al qui ont statué sur 42 participants par groupe comme suffisants en supposant un taux d'abandon de 20% (112). Il y a bien eu 42 participants par groupes, mais sur les 84 sujets au total, 21 ne sont pas allés au bout de l'étude. Cette perte au-delà des 20% nous met en garde quant à la puissance des résultats de cette intervention.

Malgré cette forte proportion d'abandon, les auteurs de cette étude ont décidé d'analyser les résultats en « intention de traiter ». Cette méthode conservatrice est à privilégier car elle reflète l'efficacité clinique de l'intervention dans la vie réelle et permet d'éviter le biais d'attrition (126). Giles et al. ont également utilisé cette méthode d'analyse statistique (110). Les 2 autres études mettent en place une analyse « per protocol » (111,113). Cette dernière, conservant pour l'analyse des données uniquement les patients terminant l'intervention, permet de majorer une différence entre les interventions mais rend plus délicate l'application des résultats à une situation plus générale (126).

Une autre limite de ces études est l'incapacité à développer des résultats sur le long terme. Seule l'étude de Giles et al. offre un suivi au-delà de 2 mois. Or, plus de 50% des sujets atteints de DFP expriment des douleurs persistantes 2 ans après le diagnostic, pouvant durer jusqu'à 20 ans (1,6). La notion d'efficacité exprimée dans notre problématisation repose en partie sur le maintien dans le temps des évolutions. Nous imaginons que les patients pourraient arrêter le suivi par un manque de variété dans la rééducation ou par une douleur trop présente. C'est peut-être le choix des auteurs d'arrêter par manque de ressources temporelles ou financières.

## **6.4 Perspectives professionnelles**

### **6.4.1 Intérêts et limites de l'application du BFR**

Pour appliquer le BFR cliniquement, il semble intéressant de prendre en compte les notions de bénéfice/risque et de coût/efficacité évoqué par la HAS (127). Pour la première de ces notions, les 4 études analysées dans la revue n'ont pas relevé d'événements indésirables quant à l'utilisation du BFR, confortant le fait que cet outil ne présente pas plus de risques qu'un renforcement conventionnel (87). Ses bénéfices résident dans l'amélioration de la douleur à court et moyen terme, un développement de la force supérieur à un protocole à

faibles charges et égales à de hautes charges. Il nous semble intéressant d'utiliser cet outil en fonction de son coût. Le matériel BFR, suivant sa taille, sa matière ou son autonomie à calculer l'AOP, varie en termes de prix. Son achat peut rapidement induire des coûts élevés (des centaines à des milliers d'euros). Nous imaginons qu'il est préférable de favoriser du matériel plus conventionnel si notre lieu d'exercice en est équipé. L'achat de matériel permettant de mettre de lourdes charges est également coûteux (rack à squat, poids, etc). Dans l'optique où l'endroit où nous exercerons ne possède pas de quoi « charger » le patient, l'achat d'un matériel BFR peut présenter une alternative moins chère et efficace. Certains matériels sans connexions filaires, nous semblent pratique à transporter et à utiliser. C'est un argument dans l'optique d'effectuer des séances de rééducation à domicile ou pour optimiser l'espace de rangement d'un cabinet.

Une autre limite du BFR est qu'il n'y a aucune information sur la dose/réponse la plus efficace. Dans cette revue, la durée totale d'intervention est différente entre les études. Quand Constantinou et al. proposent des séances de rééducation pendant 4 semaines, Giles et al. interviennent sur le double de cette durée (8 semaines) (110,111). Les autres études étant, elles, sur 6 et 9 semaines (112,113). La quantité de séances n'est pas la même. Giles et al. ne proposent que 8 sessions de rééducation alors que Constantinou et al et Girardi et al en mettent en place respectivement 12 et 18. Talbot et al, quant à eux, dénombrent 62 interventions (112). Ce constat démontre l'impossibilité de comparer les résultats entre les études. Aucun consensus n'est fait sur le nombre d'application du BFR par semaine, et la durée totale optimale (70). Il serait intéressant de développer ce point dans de futures recherches.

#### 6.4.2 Intérêts et limites du développement de la force

Dans les populations étudiées au sein de cette revue, le niveau d'activité physique tenu par les sujets n'est pas indiqué. Pourtant, nous avons vu qu'il n'est pas prescrit la même quantité de charge d'entraînement, pour des sujets novices ou intermédiaires en termes d'activités physiques par rapport à des sujets expérimentés, afin de développer de la force (7). Nous pourrions penser qu'il aurait été préférable de classer les sujets en fonction de leur pratique sportive afin de leur appliquer 60-70% de leur 1RM ou 80-100% pour être le plus efficace

possible (7). Le niveau d'activité physique joue également un rôle sur la perception de la douleur (128). Dans un contexte où la DFP repose en grande partie sur le symptôme de douleur, un groupe habitué à la pratique d'activités physiques aura une perception moindre de la DFP comparé à un groupe novice et influencera les évolutions trouvées et la réalisation des exercices. Nous pouvons penser qu'un travail musculaire à 70% de la 1RM ne va pas être perçu de la même manière par un sujet entraîné comparé à un novice. Dans cette optique, utiliser les charges relatives à la 1RM permet de spécifier le travail musculaire comparé à des charges absolues. Mais pour le même pourcentage de charge, les facteurs nerveux ont un impact sur le ressenti du sujet. Un sujet entraîné va posséder plus de facilités à recruter les Unités Motrices (UM) lui permettant de soulever 70% de la 1RM (38). Un sujet novice doit, lui, entraîner son organisme à recruter ces UM pour pouvoir développer cette force. Cela demande un effort supplémentaire à son système central. Cette phase d'acquisition nerveuse doit être prise en compte. Après 4 semaines de travail musculaire, les sujets présentent un abaissement du seuil de recrutement des UM et une augmentation de la fréquence de décharge des UM (39). Ce sont ces adaptations nerveuses qui permettent le gain en force à court terme. Il pourrait être envisager de mettre à égalité les patients sur les facteurs nerveux pour ensuite comparer l'impact du stress métabolique et mécanique. Nous pourrions utiliser une évaluation EMG pour déterminer une activation similaire entre les patients (129). Des protocoles permettant l'activation maximale des UM comme la surcharge excentrique nous paraissent intéressants à développer pour maximiser ces gains nerveux (40,130).

L'efficacité du BFR par rapport à un protocole conventionnel repose sur un paramètre qui pose question. Sur deux études comparant ces deux méthodes de développement de la force, les variables d'exercice s'appliquant à elles sont différentes (110,111). La charge est logiquement inégale mais le nombre de séries, de répétitions et le temps de récupération le sont aussi. Ces différences empêchent de statuer de manière sûre, sur la priorisation d'un protocole par rapport à l'autre. Deux méthodes de comparaison nous viennent en tête afin de comparer le BFR à un protocole de développement de la force à charges lourdes : le tonnage égal ou le ressenti égal.

Le protocole BFR propose 1 série de 30 répétitions suivie de 3 séries de 15 répétitions (70). Cela représente 75 répétitions en tout. Giles et al. et Constantinou et al mettent en place 3 séries de 10 répétitions, représentant un total de 30 répétitions (110,111). L'effet du BFR pourrait être expliqué par le fait de mobiliser deux fois plus de volume. Afin d'être précis dans ces comparaisons, il faudrait calculer le tonnage exact (40,54). Par exemple, pour une 1RM à 100kg au squat, l'exercice BFR est réalisé à 30kg (30% de la 1RM). Effectué 75 fois, le tonnage total est 2250kg (30x75). Il faudrait arriver à 2250kg pour 3 séries à 70% de la 1RM. Pour cela, il faudrait faire 1 série de 10 et 2 séries de 11 (car  $2250/70=32$ ). Ce tonnage égal pourrait signifier que le muscle subit une tension mécanique équivalente. Cependant, les temps de récupération sont différents (30 secondes contre 2 à 3 minutes) donc le stress métabolique est différent. Suivant l'étude de Goto, effectuer 3 séries de 10 et 11 répétitions avec plus de récupération, diminuerait le stress métabolique et nous paraît plus aisé pour le patient (46). Il faudrait développer un volume total égal pour un même temps de récupération.

Ceci, en plus de la charge totale développée par le muscle, amène à se demander quel est l'impact du temps passé par le muscle sous tension. Le temps sous tension du muscle est médié aussi par le rythme adopté lors du mouvement (54). Benedict tan avait recensé qu'un travail musculaire en contraction lente à charge inférieure pouvait induire les mêmes gains de force qu'avec des contractions à vitesses normales (55). Un temps sous tension plus important permettrait des gains en force supérieurs. A tempo égal, le nombre de répétitions supérieur implique un temps sous tension du muscle plus important. A répétitions égales, 2 tempos distincts impliqueraient une différence de temps sous tension, et le stress métabolique et le ressenti de fatigue serait alors différent. Effectuer un exercice sur un tempo (1,0,2,2) ne représente pas le même travail qu'un tempo (4,3,2,0). Pour le BFR, aucune indication de rythme n'est établie dans les consensus. Au cours d'un exercice à charges lourdes, des gains en force sont retrouvés supérieurs pour des exercices réalisés à haute vitesse comparé à des exercices réalisés lentement (7,57). Les effets comparables trouvés dans cette revue entre un protocole à charge lourdes et le BFR pourrait être uniquement dû au temps sous tension plus important du muscle avec le BFR. Il semblerait intéressant de comparer dans le futur le BFR et un protocole à charges lourdes avec un même temps sous tension. Une limite de travailler à rythme égal avec des charges différentes est le ressenti du patient au cours de l'exercice.

Nous avons déjà observé des patients capables de mobiliser une certaine résistance un jour, puis ne pas y arriver la semaine suivante. Un sujet peut présenter une plus grande fatigue, une moins bonne motivation ou d'autres facteurs externes influençant sa performance. La quantification des répétitions de manière absolue ne semble pas adaptée dans ce contexte. Il pourrait être intéressant de travailler en fonction des répétitions en réserve (RER) ou de l'évaluation de l'effort par le patient (RPE) (50). A charges égales, nous pourrions indiquer à nos sujets d'effectuer l'exercice jusqu'à avoir 2 RER. Cela permettrait de se baser davantage sur le système nerveux et la fatigue générale du patient. Se basant sur la subjectivité, nous nous questionnons de la faisabilité d'un tel protocole sur des sujets atteints de DFP qui présentent de la kinésiophobie. Les sujets peu entraînés, par manque de connaissance de leurs capacités, peuvent également avoir du mal à savoir quand s'arrêter (50).

Dans cet optique de ressenti égal, nous pensons qu'un développement de la force « à l'échec » pourrait permettre d'accroître le stress métabolique comme le BFR. Cette méthode d'exercice pousse le sujet à mobiliser une charge modérée jusqu'à l'échec, dans l'impossibilité d'effectuer une RER. Chez les sujets entraînés, le travail musculaire à l'échec avec des charges légères aurait un impact significatif sur l'hypertrophie (131). Pour la force, les charges lourdes ont un effet plus important indépendamment d'aller à l'échec (51). Cette notion à l'échec ne semble pas à prioriser pour un gain en force mais pourrait servir de moyen de comparer l'utilisation du BFR et un protocole conventionnel.

A la vue de tous ces paramètres, nous nous demandons si le développement de la force est bien réalisé cliniquement. Les charges étant relatives à la 1RM du sujet, il semble évident d'évaluer celle-ci en amont (40,50). Or, nous avons l'impression en pratique que peu de MK le mette en place. Des protocoles d'évaluation de cette 1RM ont été établis de manière détaillée en augmentant progressivement les charges (40). Cliniquement, il nous semble compliqué dans une séance de 30 minutes, de prendre le temps d'effectuer 4 à 5 séries avec 3 à 5 minutes de récupération dans le seul but de trouver la 1RM d'un seul exercice. Cette solution nous paraît viable dans une logique de pratique sportive mais pas en rééducation. Des équations de prédiction ont été établies à partir de répétitions effectuées contre des résistances sous-maximales. Cela permettrait au patient de diminuer son exposition à la douleur, de préciser

les évaluations et d'ajuster les exercices. Julio et al. ont indiqué que cette utilisation permettrait un gain de temps considérable dans la démarche de quantification musculaire par rapport à un test de 1RM (132). Parmi ces différentes formules mathématiques, il nous semble intéressant d'utiliser le tableau construit à l'aide de la formule de Prévost pour notre pratique future (*Annexe 5*) (40).

Aujourd'hui très répandu en préparation physique, la planification nous semble à approfondir afin d'être efficace dans nos soins (40). L'objectif dans la DFP est de développer la force maximale du quadriceps. Il ne nous semble pourtant pas judicieux de demander directement à un patient non entraîné de mobiliser 70% de sa 1RM. Il va falloir apprendre le mouvement, apprendre à l'organisme à recruter son système nerveux, etc. Cela ne se fait pas au départ avec de lourdes charges et à une fréquence hebdomadaire élevée. Le risque est de basculer dans la surcharge. Il faut ainsi planifier afin d'avoir une progression la plus efficace possible. Par la suite, la planification permettrait de proposer de la variété dans les méthodes d'exercices (méthode sur 6RM, stato-dynamique, excentrique supra-maximal, ...) (40). Il semblerait intéressant d'étudier différentes planifications dans la rééducation de la DFP pour en déterminer une faisant consensus.

Dans cette optique d'apporter de la variété dans les méthodes de développement musculaire, le BFR, par ses résultats équivalent à un travail musculaire avec charges lourdes, a sa place.

Au vu des mécanismes responsables du développement de la force et dans une logique de prise en charge complète du patient, il semble intéressant de se renseigner sur le versant nutritif de ce dernier. Le développement de la force et l'hypertrophie reposent sur l'équilibre entre anabolisme et catabolisme des protéines musculaires (9,44). L'impact d'une prise en charge diététique serait un point intrigant à développer (44,133). Nous pourrions déterminer si notre patient a besoin d'un complément nutritif et comment adapter cela à notre traitement MK. Nous nous demandons si ces savoirs sont atteignables par le biais de formation ou si la relation avec un spécialiste est à développer.

#### 6.4.3 Perspectives dans la prise en charge de la DFP

Dans la DFP chez les sujets douloureux, les recommandations sont d'effectuer un travail musculaire des muscles de la hanche en premier lieu (1). Dans ce contexte, nous nous

demandons si le BFR pourrait avoir un impact. L'effet du BFR ne serait pas uniquement sur les muscles distaux au brassard. Bowan et al. ont remarqué que les sujets effectuant un renforcement musculaire global des membres inférieurs, avec un membre en restriction de flux sanguin, présentent une augmentation significative de force des extenseurs et abducteurs de hanche (134). Ces résultats s'ajoutant aux effets en distal du bracelet. D'autres auteurs ont également décelé une amélioration du deltoïde et du grand pectoral pour le membre supérieur (68,135). Ils expliquent ce phénomène par le fait que, lors d'exercices poly-articulaires, les muscles proximaux doivent compenser la perte de force des muscles distaux induite par l'occlusion sanguine. D'autres auteurs n'ont pas trouvé de résultats significatifs en gain de force et hypertrophie des muscles proximaux au bracelet (136–138). Nous ne pensons pas que l'application du BFR soit le plus efficace pour le renforcement musculaire des muscles de la hanche, mais cela pourrait être à développer.

Le type d'exercices à réaliser nous semble pertinent à investiguer. Girardi et al n'étudient l'effet de leur intervention que sur la réalisation d'un seul exercice, quant Constantinou et al et Talbot et al en réalisent 4 chacun (111–113). Les 4 études n'effectuent pas les mêmes exercices. De surcroît, Constantinou et al. n'appliquent pas les mêmes exercices entre le groupe contrôle et le groupe BFR (111). Il nous semble pertinent d'appliquer en clinique les exercices mettant le moins en stress articulaire le genou. Par exemple, le front squat aurait moins d'impact sur le genou qu'un back squat (40). Cette différence d'exécution semble plus intéressante dans un contexte de DFP. Nous nous demandons si la réalisation d'exercices en chaîne cinétique fermée impliquerait plus de douleurs qu'en chaîne cinétique ouverte.

Nous n'oublions pas que nous nous sommes focalisés sur un seul des 4 déficits principaux de la DFP (1). Cette nouvelle classification tend, à ce qu'en tant que praticien, nous adaptions notre traitement. Le développement de la force ne semble pas être la solution la plus efficace pour traiter les hypothèses de surcharge, de déficit de coordination musculaires et d'hyper ou hypomobilité. L'éducation du patient a reçu un grade F de recommandations (1). Les instructions orales permettraient de réduire la douleur, améliorer la force et la fonction pour des patients souffrant de DFP (139). Nous aimerions nous améliorer dans son utilisation car c'est un moyen non coûteux qui permettrait d'être plus efficace dans nos soins.

## 7 Conclusion

La production de cette revue de littérature a permis d'explorer les données scientifiques actuelles concernant l'efficacité de l'application du BFR pour les patients atteints de douleur fémoro-patellaire. Au regard des études incluses dans cette analyse, l'application du BFR, associé à des charges faibles dans un protocole de rééducation, semblerait aussi efficace qu'un travail musculaire à charges élevées sur le développement de la force du quadriceps et des muscles de la hanche, sur l'hypertrophie, ainsi que sur la douleur et les résultats fonctionnels. Son effet serait plus élevé sur les patients douloureux lors des exercices. Comparé à un renforcement musculaire à faibles charges, l'entraînement sous BFR permet une meilleure amélioration de la force en ayant des résultats similaires sur la douleur. Si cette stratégie semble être à privilégier chez des patients douloureux et dont le travail musculaire à hautes contraintes augmenterait ces douleurs, les résultats à long terme ne sont cependant pas évoqués. La DFP est une pathologie chronique. Cette limite associée à l'ensemble des autres biais et limites évoqués dans ce travail, prouvent la nécessité de développer de nouvelles recherches quant à l'intérêt de cet outil de rééducation à long terme.

L'application de la méthodologie de recherche nous a permis de faire évoluer notre pratique professionnelle. Cela coïncide avec le mouvement Evidence Based Practice (EBP) vers lequel un professionnel de santé doit essayer de tendre aujourd'hui afin d'adopter une pratique raisonnée et justifiée. Afin de traiter la DFP, le stress métabolique ne semble pas être le seul moyen intéressant à développer. Modifier les variables du développement de la force nous permettront d'axer notre rééducation tantôt sur les facteurs nerveux, tantôt sur les facteurs structuraux. Cela permettra d'individualiser notre traitement en fonction du patient et des déficits qu'il montre. Le travail actif n'est pas la seule option de traitement dans une pathologie problématique comme la DFP. La douleur n'étant pas définie uniquement par des dysfonctions mécaniques, il est un devoir pour le MK de prendre en compte l'ensemble des paramètres bio-psycho-sociaux. Nous améliorer dans l'application de l'éducation thérapeutique nous permettrait d'associer les croyances et attentes du patient et de maximiser l'efficacité de notre travail actif.

## Bibliographie

1. Willy RW, Hoglund LT, Barton CJ, Bolgla LA, Scalzitti DA, Logerstedt DS, et al. Patellofemoral Pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* sept 2019;49(9):CPG1-95.
2. Crossley KM, Stefanik JJ, Selte J, Collins NJ, Davis IS, Powers CM, et al. 2016 Patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester. Part 1: Terminology, definitions, clinical examination, natural history, patellofemoral osteoarthritis and patient-reported outcome measures. *Br J Sports Med.* juill 2016;50(14):839-43.
3. Smith BE, Selte J, Thacker D, Hendrick P, Bateman M, Moffatt F, et al. Incidence and prevalence of patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE.* 11 janv 2018;13(1):e0190892.
4. Rodineau J, Besch S. Les syndromes fémoro-patellaires douloureux chez les adultes jeunes. *J Traumatol Sport.* 1 sept 2017;34(3):177-84.
5. Bolgla LA, Boling MC, Mace KL, DiStefano MJ, Fithian DC, Powers CM. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Management of Individuals With Patellofemoral Pain. *J Athl Train.* sept 2018;53(9):820-36.
6. Collins NJ, Barton CJ, van Middelkoop M, Callaghan MJ, Rathleff MS, Vicenzino BT, et al. 2018 Consensus statement on exercise therapy and physical interventions (orthoses, taping and manual therapy) to treat patellofemoral pain: recommendations from the 5th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Gold Coast, Australia, 2017. *Br J Sports Med.* sept 2018;52(18):1170-8.
7. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* mars 2009;41(3):687-708.
8. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med Auckl NZ.* févr 2015;45(2):187-200.
9. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res.* oct 2010;24(10):2857-72.
10. Vopat BG, Vopat LM, Bechtold MM, Hodge KA. Blood Flow Restriction Therapy: Where We Are and Where We Are Going. *J Am Acad Orthop Surg.* 15 juin 2020;28(12):e493-500.
11. Lorenz DS, Bailey L, Wilk KE, Mangine RE, Head P, Grindstaff TL, et al. Blood Flow Restriction Training. *J Athl Train.* sept 2021;56(9):937-44.
12. May AK, Russell AP, Della Gatta PA, Warmington SA. Muscle Adaptations to Heavy-Load and Blood Flow Restriction Resistance Training Methods. *Front Physiol.* 2022;13:837697.
13. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, et al. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Med Auckl NZ.* nov 2019;49(11):1787-805.

14. Ferraz RB, Gualano B, Rodrigues R, Kurimori CO, Fuller R, Lima FR, et al. Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc.* mai 2018;50(5):897-905.
15. Rothermich MA, Glaviano NR, Li J, Hart JM. Patellofemoral pain: epidemiology, pathophysiology, and treatment options. *Clin Sports Med.* avr 2015;34(2):313-27.
16. Crossley KM, van Middelkoop M, Callaghan MJ, Collins NJ, Rathleff MS, Barton CJ. 2016 Patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester. Part 2: recommended physical interventions (exercise, taping, bracing, foot orthoses and combined interventions). *Br J Sports Med.* juill 2016;50(14):844-52.
17. Bump JM, Lewis L. Patellofemoral Syndrome. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [cité 13 avr 2023]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557657/>
18. Nunes GS, Stapait EL, Kirsten MH, de Noronha M, Santos GM. Clinical test for diagnosis of patellofemoral pain syndrome: Systematic review with meta-analysis. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* févr 2013;14(1):54-9.
19. Neal BS, Barton CJ, Gallie R, O'Halloran P, Morrissey D. Runners with patellofemoral pain have altered biomechanics which targeted interventions can modify: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture.* mars 2016;45:69-82.
20. Dutton RA, Khadavi MJ, Fredericson M. Patellofemoral Pain. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* févr 2016;27(1):31-52.
21. Loudon JK. BIOMECHANICS AND PATHOMECHANICS OF THE PATELLOFEMORAL JOINT. *Int J Sports Phys Ther.* déc 2016;11(6):820-30.
22. Anatomie de l'appareil locomoteur-Tome 1 Membre inférieur | Livre | 9782294745027 [Internet]. Elsevier Masson SAS. [cité 8 janv 2023]. Disponible sur: <https://www.elsevier-masson.fr/anatomie-de-lappareil-locomoteur-tome-1-membre-inferieur-9782294745027.html>
23. Biomécanique fonctionnelle | Livre | 9782294750939 [Internet]. Elsevier Masson SAS. [cité 19 janv 2023]. Disponible sur: <https://www.elsevier-masson.fr/biomecanique-fonctionnelle-9782294750939.html>
24. Dixit S, DiFiori JP, Burton M, Mines B. Management of patellofemoral pain syndrome. *Am Fam Physician.* 15 janv 2007;75(2):194-202.
25. Khasawneh RR, Allouh MZ, Abu-El-Rub E. Measurement of the quadriceps (Q) angle with respect to various body parameters in young Arab population. *PLoS ONE.* 13 juin 2019;14(6):e0218387.
26. Lankhorst NE, Bierma-Zeinstra SMA, van Middelkoop M. Risk factors for patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *J Orthop Sports Phys Ther.* févr 2012;42(2):81-94.
27. Thomeé R, Renström P, Karlsson J, Grimby G. Patellofemoral pain syndrome in young women. II. Muscle function in patients and healthy controls. *Scand J Med Sci Sports.* août 1995;5(4):245-51.

28. Van Cant J, Pineux C, Pitance L, Véronique F. Force et endurance des muscles de la hanche chez le sujet féminin souffrant du syndrome fémoro-patellaire : revue systématique de la littérature avec méta-analyse. *Kinésithérapie Rev.* févr 2015;15(158):31-2.
29. Maclachlan LR, Collins NJ, Matthews MLG, Hodges PW, Vicenzino B. The psychological features of patellofemoral pain: a systematic review. *Br J Sports Med.* 1 mai 2017;51(9):732-42.
30. Dye SF. The pathophysiology of patellofemoral pain: a tissue homeostasis perspective. *Clin Orthop.* juill 2005;(436):100-10.
31. Esculier PJF. Mise à jour sur le syndrome fémoropatellaire. 2016;43.
32. Pallot A. Evidence based practice en rééducation: démarche pour une pratique raisonnée. Elsevier Health Sciences; 2019.
33. Østerås B, Østerås H, Torstensen TA, Vasseljen O. Dose-response effects of medical exercise therapy in patients with patellofemoral pain syndrome: a randomised controlled clinical trial. *Physiotherapy.* juin 2013;99(2):126-31.
34. Izquierdo-Alventosa R, Inglés M, Cortés-Amador S, Gimeno-Mallench L, Chirivella-Garrido J, Kropotov J, et al. Low-Intensity Physical Exercise Improves Pain Catastrophizing and Other Psychological and Physical Aspects in Women with Fibromyalgia: A Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health.* 21 mai 2020;17(10):3634.
35. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med Auckl NZ.* avr 2018;48(4):765-85.
36. Gordon T, Thomas CK, Munson JB, Stein RB. The resilience of the size principle in the organization of motor unit properties in normal and reinnervated adult skeletal muscles. *Can J Physiol Pharmacol.* 2004;82(8-9):645-61.
37. Kaufman F, Cheliout F, De La Bruslerie J, Brocas J, Cherruault Y. Contrôle du recrutement des unités motrices musculaires par optimisation de l'énergie utilisée. *Int J Biomed Comput.* 1 nov 1982;13(6):501-16.
38. Herda TJ. Resistance exercise training and the motor unit. *Eur J Appl Physiol.* sept 2022;122(9):2019-35.
39. Del Vecchio A, Casolo A, Negro F, Scorcelletti M, Bazzucchi I, Enoka R, et al. The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *J Physiol.* 1 avr 2019;597(7):1873-87.
40. Reiss D, Prévost DP. La Nouvelle bible de la préparation physique. Amphora; 2021. 1457 p.
41. Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol.* 1989;59(4):310-9.

42. Fernández-Elías VE, Ortega JF, Nelson RK, Mora-Rodriguez R. Relationship between muscle water and glycogen recovery after prolonged exercise in the heat in humans. *Eur J Appl Physiol.* sept 2015;115(9):1919-26.
43. Haun CT, Vann CG, Roberts BM, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Roberts MD. A Critical Evaluation of the Biological Construct Skeletal Muscle Hypertrophy: Size Matters but So Does the Measurement. *Front Physiol.* 2019;10:247.
44. Tipton KD, Wolfe RR. Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* mars 2001;11(1):109-32.
45. de Freitas MC, Gerosa-Neto J, Zanchi NE, Lira FS, Rossi FE. Role of metabolic stress for enhancing muscle adaptations: Practical applications. *World J Methodol.* 26 juin 2017;7(2):46-54.
46. Goto K, Ishii N, Kizuka T, Takamatsu K. The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Med Sci Sports Exerc.* juin 2005;37(6):955-63.
47. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. janv 2000;88(1):61-5.
48. Kon M, Ikeda T, Homma T, Suzuki Y. Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. *J Strength Cond Res.* mars 2012;26(3):611-7.
49. Hwang PS, Willoughby DS. Mechanisms Behind Blood Flow-Restricted Training and its Effect Toward Muscle Growth. *J Strength Cond Res.* juill 2019;33 Suppl 1:S167-79.
50. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Hornsby WG, Stone MH. Training for Muscular Strength: Methods for Monitoring and Adjusting Training Intensity. *Sports Med Auckl NZ.* oct 2021;51(10):2051-66.
51. Grgic J, Schoenfeld BJ, Orazem J, Sabol F. Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci.* mars 2022;11(2):202-11.
52. Lopez P, Radaelli R, Taaffe DR, Newton RU, Galvão DA, Trajano GS, et al. Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic Review and Network Meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 1 juin 2021;53(6):1206-16.
53. Carvalho L, Junior RM, Barreira J, Schoenfeld BJ, Orazem J, Barroso R. Muscle hypertrophy and strength gains after resistance training with different volume-matched loads: a systematic review and meta-analysis. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab.* avr 2022;47(4):357-68.
54. Université C, Lyon, Lyon F, Malvezin R. Développement de la Force : Tempo ou Tonnage ? 2020.
55. Tan B. Manipulating Resistance Training Program Variables to Optimize Maximum Strength in Men: A Review. *J Strength Cond Res.* août 1999;13(3):289.

56. Schoenfeld BJ, Contreras B, Krieger J, Grgic J, Delcastillo K, Belliard R, et al. Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Med Sci Sports Exerc.* janv 2019;51(1):94-103.
57. González-Badillo JJ, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Gorostiaga EM, Pareja-Blanco F. Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(8):772-81.
58. Grgic J, Schoenfeld BJ, Skrepnik M, Davies TB, Mikulic P. Effects of Rest Interval Duration in Resistance Training on Measures of Muscular Strength: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ.* janv 2018;48(1):137-51.
59. Chiu JKW, Wong YM, Yung PSH, Ng GYF. The effects of quadriceps strengthening on pain, function, and patellofemoral joint contact area in persons with patellofemoral pain. *Am J Phys Med Rehabil.* févr 2012;91(2):98-106.
60. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* juin 2021;49(7):1938-44.
61. Sato Y. The history and future of KAATSU Training. *Int J KAATSU Train Res.* 2005;1(1):1-5.
62. Mattocks KT, Jessee MB, Mouser JG, Dankel SJ, Buckner SL, Bell ZW, et al. The Application of Blood Flow Restriction: Lessons From the Laboratory. *Curr Sports Med Rep.* avr 2018;17(4):129-34.
63. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, et al. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol.* août 2012;112(8):2903-12.
64. Buckner SL, Dankel SJ, Counts BR, Jessee MB, Mouser JG, Mattocks KT, et al. Influence of cuff material on blood flow restriction stimulus in the upper body. *J Physiol Sci JPS.* janv 2017;67(1):207-15.
65. Bell ZW, Dankel SJ, Spitz RW, Chatakondi RN, Abe T, Loenneke JP. The Perceived Tightness Scale Does Not Provide Reliable Estimates of Blood Flow Restriction Pressure. *J Sport Rehabil.* 1 mai 2020;29(4):516-8.
66. Fahs CA, Loenneke JP, Rossow LM, Tiebaud RS, Bemben MG. Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *J Trainology.* 2012;1(1):14-22.
67. Rossow LM, Fahs CA, Loenneke JP, Thiebaud RS, Sherk VD, Abe T, et al. Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clin Physiol Funct Imaging.* sept 2012;32(5):331-7.
68. Dankel SJ, Jessee MB, Abe T, Loenneke JP. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. *Sports Med Auckl NZ.* janv 2016;46(1):23-33.
69. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, et al. Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load

- Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ*. févr 2018;48(2):361-78.
70. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med Auckl NZ*. mars 2015;45(3):313-25.
  71. Zeng Z, Centner C, Gollhofer A, König D. Blood-Flow-Restriction Training: Validity of Pulse Oximetry to Assess Arterial Occlusion Pressure. *Int J Sports Physiol Perform*. 1 nov 2019;14(10):1408-14.
  72. Bezerra de Morais AT, Santos Cerqueira M, Moreira Sales R, Rocha T, Galvão de Moura Filho A. Upper limbs total occlusion pressure assessment: Doppler ultrasound reproducibility and determination of predictive variables. *Clin Physiol Funct Imaging*. juill 2017;37(4):437-41.
  73. Jessee MB, Buckner SL, Dankel SJ, Counts BR, Abe T, Loenneke JP. The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research. *Sports Med Auckl NZ*. juin 2016;46(6):913-21.
  74. Ingram JW, Dankel SJ, Buckner SL, Counts BR, Mouser JG, Abe T, et al. The influence of time on determining blood flow restriction pressure. *J Sci Med Sport*. août 2017;20(8):777-80.
  75. Hughes L, Jeffries O, Waldron M, Rosenblatt B, Gissane C, Paton B, et al. Influence and reliability of lower-limb arterial occlusion pressure at different body positions. *PeerJ*. 2018;6:e4697.
  76. Tegtbur U, Haufe S, Busse MW. [Application and effects of blood flow restriction training]. *Unfallchirurg*. mars 2020;123(3):170-5.
  77. Counts BR, Dankel SJ, Barnett BE, Kim D, Mouser JG, Allen KM, et al. Influence of relative blood flow restriction pressure on muscle activation and muscle adaptation. *Muscle Nerve*. mars 2016;53(3):438-45.
  78. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol*. 2019;10:533.
  79. Loenneke JP, Kim D, Fahs CA, Thiebaud RS, Abe T, Larson RD, et al. Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. *Muscle Nerve*. mai 2015;51(5):713-21.
  80. Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T, Bemben MG. Blood flow restriction pressure recommendations: the hormesis hypothesis. *Med Hypotheses*. mai 2014;82(5):623-6.
  81. Grønfeldt BM, Lindberg Nielsen J, Mieritz RM, Lund H, Aagaard P. Effect of blood-flow restricted vs heavy-load strength training on muscle strength: Systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. mai 2020;30(5):837-48.
  82. Wernbom M, Paulsen G, Nilsen TS, Hisdal J, Raastad T. Contractile function and sarcolemmal permeability after acute low-load resistance exercise with blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol*. juin 2012;112(6):2051-63.

83. Freitas EDS, Miller RM, Heishman AD, Ferreira-Júnior JB, Araújo JP, Bemben MG. Acute Physiological Responses to Resistance Exercise With Continuous Versus Intermittent Blood Flow Restriction: A Randomized Controlled Trial. *Front Physiol.* 17 mars 2020;11:132.
84. Manini TM, Yarrow JF, Buford TW, Clark BC, Conover CF, Borst SE. Growth hormone responses to acute resistance exercise with vascular restriction in young and old men. *Growth Horm IGF Res Off J Growth Horm Res Soc Int IGF Res Soc.* oct 2012;22(5):167-72.
85. Sinclair P, Kadhum M, Paton B. Tolerance to Intermittent vs. Continuous Blood Flow Restriction Training: A meta-Analysis. *Int J Sports Med.* janv 2022;43(1):3-10.
86. Anderson KD, Rask DMG, Bates TJ, Nuelle JAV. Overall Safety and Risks Associated with Blood Flow Restriction Therapy: A Literature Review. *Mil Med.* 25 août 2022;187(9-10):1059-64.
87. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bemben MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports.* août 2011;21(4):510-8.
88. DePhillipo NN, Kennedy MI, Aman ZS, Bernhardson AS, O'Brien L, LaPrade RF. Blood Flow Restriction Therapy After Knee Surgery: Indications, Safety Considerations, and Postoperative Protocol. *Arthrosc Tech.* oct 2018;7(10):e1037-43.
89. Brandner C, May A, Clarkson M, Warmington S. Reported Side-effects and Safety Considerations for the Use of Blood Flow Restriction During Exercise in Practice and Research. *Tech Orthop.* 1 avr 2018;33:1.
90. Rolnick N, Kimbrell K, Cerqueira MS, Weatherford B, Brandner C. Perceived Barriers to Blood Flow Restriction Training. *Front Rehabil Sci.* 8 juill 2021;2:697082.
91. Scott BR, Peiffer JJ, Thomas HJ, Marston KJ, Hill KD. Hemodynamic Responses to Low-Load Blood Flow Restriction and Unrestricted High-Load Resistance Exercise in Older Women. *Front Physiol.* 2018;9:1324.
92. de Queiros VS, Dantas M, Neto GR, da Silva LF, Assis MG, Almeida-Neto PF, et al. Application and side effects of blood flow restriction technique: A cross-sectional questionnaire survey of professionals. *Medicine (Baltimore).* 7 mai 2021;100(18):e25794.
93. Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, et al. Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *Int J KAATSU Train Res.* 2006;2(1):5-13.
94. Kacin A, Rosenblatt B, Žargi TG, Biswas A. SAFETY CONSIDERATIONS WITH BLOOD FLOW RESTRICTED RESISTANCE TRAINING. *Ann Kinesiol.* 27 nov 2015;6(1):3-26.
95. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K ichi, Kato M, Uno K, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol.* sept 2005;95(1):65-73.
96. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol.* mai 2010;108(5):1199-209.

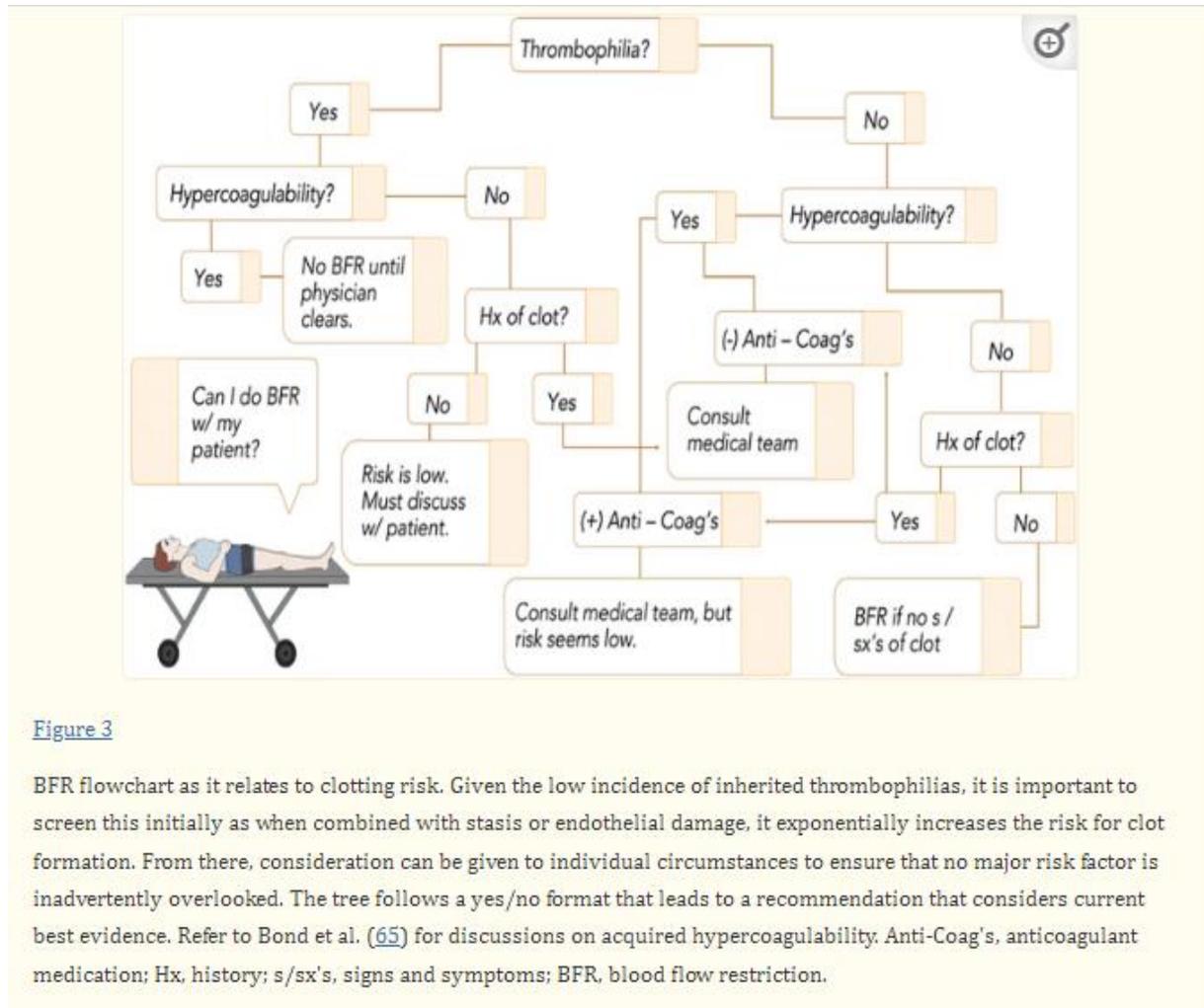
97. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* juill 2017;51(13):1003-11.
98. Patterson SD, Brandner CR. The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *J Sports Sci.* janv 2018;36(2):123-30.
99. Loenneke JP, Abe T, Wilson JM, Thiebaud RS, Fahs CA, Rossow LM, et al. Blood flow restriction: an evidence based progressive model (Review). *Acta Physiol Hung.* sept 2012;99(3):235-50.
100. Wengle L, Migliorini F, Leroux T, Chahal J, Theodoropoulos J, Betsch M. The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* août 2022;50(10):2824-33.
101. Martel-Pelletier J, Boileau C, Pelletier JP, Roughley PJ. Cartilage in normal and osteoarthritis conditions. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* avr 2008;22(2):351-84.
102. Cross M, Smith E, Hoy D, Nolte S, Ackerman I, Fransen M, et al. The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the global burden of disease 2010 study. *Ann Rheum Dis.* juill 2014;73(7):1323-30.
103. Zeng CY, Zhang ZR, Tang ZM, Hua FZ. Benefits and Mechanisms of Exercise Training for Knee Osteoarthritis. *Front Physiol.* 2021;12:794062.
104. Takagi S, Omori G, Koga H, Endo K, Koga Y, Nawata A, et al. Quadriceps muscle weakness is related to increased risk of radiographic knee OA but not its progression in both women and men: the Matsudai Knee Osteoarthritis Survey. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* sept 2018;26(9):2607-14.
105. Nur H, Sertkaya BS, Tuncer T. Determinants of physical functioning in women with knee osteoarthritis. *Aging Clin Exp Res.* avr 2018;30(4):299-306.
106. Dos Santos LP, Santo RC do E, Ramis TR, Portes JKS, Chakr RM da S, Xavier RM. The effects of resistance training with blood flow restriction on muscle strength, muscle hypertrophy and functionality in patients with osteoarthritis and rheumatoid arthritis: A systematic review with meta-analysis. *PLoS One.* 2021;16(11):e0259574.
107. Roddy E, Doherty M. Changing life-styles and osteoarthritis: what is the evidence? *Best Pract Res Clin Rheumatol.* févr 2006;20(1):81-97.
108. Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ.* janv 2019;49(1):95-108.
109. Segal NA, Williams GN, Davis M, Wallace RB, Mikesky A. Efficacy of Blood Flow Restricted Low-Load Resistance Training in Women with Risk Factors for Symptomatic Knee Osteoarthritis. *PM R.* avr 2015;7(4):376-84.

110. Giles L, Webster KE, McClelland J, Cook JL. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial. *Br J Sports Med.* déc 2017;51(23):1688-94.
111. Constantinou A, Mamais I, Papathanasiou G, Lamnisis D, Stasinopoulos D. Comparing hip and knee focused exercises versus hip and knee focused exercises with the use of blood flow restriction training in adults with patellofemoral pain. *Eur J Phys Rehabil Med.* avr 2022;58(2):225-35.
112. Talbot LA, Webb L, Morrell C, Enochs K, Hillner J, Fagan M, et al. Electromyostimulation With Blood Flow Restriction for Patellofemoral Pain Syndrome in Active Duty Military Personnel: A Randomized Controlled Trial. *Mil Med.* 20 févr 2023;usad029.
113. Girardi FM, Guenka LC. Quadriceps strengthening by the Kaatsu Training method in women with patellofemoral pain. *Fisioter E Pesqui.* 29 août 2022;29:210-5.
114. Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *J Physiother.* 1 janv 2020;66(1):59.
115. Study Quality Assessment Tools | NHLBI, NIH [Internet]. [cité 31 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.nlm.nih.gov/health-topics/study-quality-assessment-tools>
116. Herbert RD. How to estimate treatment effects from reports of clinical trials. I: Continuous outcomes. *Aust J Physiother.* 2000;46(3):229-35.
117. Crossley KM, Bennell KL, Cowan SM, Green S. Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: which are reliable and valid? *Arch Phys Med Rehabil.* mai 2004;85(5):815-22.
118. Rubin A. Statistics for Evidence Based Practice and Evaluation. [Http://st-liepiiip-unescoorgcgibinwww32exeinepidoc1int2000026767100](http://st-liepiiip-unescoorgcgibinwww32exeinepidoc1int2000026767100). 1 janv 2012;
119. Masson E. AMSTAR-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques [Internet]. EM-Consulte. [cité 3 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/1453688/amstar-2-traduction-francaise-de-l-echelle-de-qua>
120. Stark T, Walker B, Phillips JK, Fejer R, Beck R. Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. *PM R.* mai 2011;3(5):472-9.
121. Thong ISK, Jensen MP, Miró J, Tan G. The validity of pain intensity measures: what do the NRS, VAS, VRS, and FPS-R measure? *Scand J Pain.* 26 janv 2018;18(1):99-107.
122. BETZ TM, WEHRSTEIN M, PREISNER F, BENDSZUS M, FRIEDMANN-BETTE B. RELIABILITY AND VALIDITY OF A STANDARDIZED ULTRASOUND EXAMINATION PROTOCOL TO QUANTIFY VASTUS LATERALIS MUSCLE. *J Rehabil Med.* 14 juin 2021;53(7):2809.
123. [etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf) [Internet]. [cité 4 avr 2023]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf)

124. De Flaviis L, Nessi R, Scaglione P, Balconi G, Albisetti W, Derchi LE. Ultrasonic diagnosis of Osgood-Schlatter and Sinding-Larsen-Johansson diseases of the knee. *Skeletal Radiol.* 1989;18(3):193-7.
125. Hedges LV, Rhoads C. *Power Analysis in Education Research.*
126. McCoy CE. Understanding the Intention-to-treat Principle in Randomized Controlled Trials. *West J Emerg Med.* oct 2017;18(6):1075-8.
127. [guide\\_methodo\\_vf.pdf](https://has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-11/guide_methodo_vf.pdf) [Internet]. [cité 22 avr 2023]. Disponible sur: [https://has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-11/guide\\_methodo\\_vf.pdf](https://has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2011-11/guide_methodo_vf.pdf)
128. Geneen LJ, Moore RA, Clarke C, Martin D, Colvin LA, Smith BH. Physical activity and exercise for chronic pain in adults: an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database Syst Rev.* 14 janv 2017;1(1):CD011279.
129. Gonzalez AM, Ghigiarelli JJ, Sell KM, Shone EW, Kelly CF, Mangine GT. Muscle activation during resistance exercise at 70% and 90% 1-repetition maximum in resistance-trained men. *Muscle Nerve.* sept 2017;56(3):505-9.
130. Tøien T, Pedersen Haglo H, Unhjem R, Hoff J, Wang E. Maximal strength training: the impact of eccentric overload. *J Neurophysiol.* 1 déc 2018;120(6):2868-76.
131. Lasevicius T, Schoenfeld BJ, Silva-Batista C, Barros T de S, Aihara AY, Brendon H, et al. Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. *J Strength Cond Res.* 1 févr 2022;36(2):346-51.
132. Julio U, Panissa V, Franchini E. Prediction of one repetition maximum from the maximum number of repetitions with submaximal loads in recreationally strength-trained men. *Sci Sports.* 1 déc 2012;27:e69-76.
133. Phillips SM, Hartman JW, Wilkinson SB. Dietary protein to support anabolism with resistance exercise in young men. *J Am Coll Nutr.* avr 2005;24(2):134S-139S.
134. Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, et al. Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow Restriction Training on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health.* 14 janv 2019;11(2):149-56.
135. Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, et al. Upper-extremity blood flow restriction: the proximal, distal, and contralateral effects-a randomized controlled trial. *J Shoulder Elbow Surg.* juin 2020;29(6):1267-74.
136. Brumitt J, Hutchison MK, Kang D, Alterado SGD, Berg T, Nguyen BP, et al. Rotator cuff strength is not augmented by blood flow restriction training. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* nov 2021;52:305-11.
137. Lambert B, Hedt C, Daum J, Taft C, Chaliki K, Epner E, et al. Blood Flow Restriction Training for the Shoulder: A Case for Proximal Benefit. *Am J Sports Med.* août 2021;49(10):2716-28.

138. Brumitt J, Hutchison MK, Kang D, Klemmer Z, Stroud M, Cheng E, et al. Blood Flow Restriction Training for the Rotator Cuff: A Randomized Controlled Trial. *Int J Sports Physiol Perform.* 19 août 2020;15(8):1175-80.
139. Emamvirdi M, Letafatkar A, Khaleghi Tazji M. The Effect of Valgus Control Instruction Exercises on Pain, Strength, and Functionality in Active Females With Patellofemoral Pain Syndrome. *Sports Health.* 2019;11(3):223-37.

**Annexe 1** : Organigramme aidant à la décision d'utiliser le BFR chez un patient à risque de thrombus (90)



**Annexe 2 :** Outil de dépistage clinique pour l'évaluation des risques des sujets avant leur inclusion dans un programme d'entraînement à la résistance avec restriction du flux sanguin (94)

MAGNITUDE OF RISK	MEDICAL HISTORY OR LIFESTYLE FACTOR	PATIENT RESPONSE	DECISION
ABSOLUTE	Do you have a family history of clotting disorders (e.g. SLE (lupus), haemophilia, high platelets)?	YES	STOP
		NO	CONTINUE
	Do you have level 1 hypertension (SAP $\geq$ 140 mmHg)?	YES	STOP
		NO	CONTINUE
Do you have a past history of DVT or pulmonary embolus?	YES	STOP	
	NO	CONTINUE	
Have you suffered from a haemorrhagic or thrombotic stroke?	YES	STOP	
	NO	CONTINUE	
RELATIVE	Do you have a family history of clotting disorders (e.g. SLE (lupus), haemophilia, high platelets)?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
	Do you smoke?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
	Are you on any medication including the contraceptive pill?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
	Do you have a history of injury to your arteries or veins?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
	Do you have a history to any of your nerves (including back or neck injury)?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
	Do you have diabetes?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
	Does one of your parents or siblings have diabetes?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
	Do you have hypertension (SAP 120-140 mmHg)?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
	Do you have metal work in situ?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE
		NO	CONTINUE
Do you have any undiagnosed groin/calf pain?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE	
	NO	CONTINUE	
Do you have/have you suffered from compartment syndrome?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE	
	NO	CONTINUE	
Have you had surgery in past 4 weeks?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE	
	NO	CONTINUE	
Have you had a journey lasting more than 4 hours or a flight in the last 7 days?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE	
	NO	CONTINUE	
Do you have any other medical conditions including a history of synovitis?	YES	SEEK MEDICAL ADVICE	
	NO	CONTINUE	

*Figure 2: Clinical screening tool for risk assessment of subjects prior to their inclusion in blood flow restricted resistance training program.*

**Annexe 3 : Grille d'évaluation méthodologique PEDro complétée pour les 3 ECR analysés (110–112)**

<b>Critères / Etudes</b>	<b>Giles et al. 2017</b>	<b>Constantinou et al. 2022</b>	<b>Talbot et al. 2023</b>
1. les critères d'éligibilité ont été précisés	OUI	OUI	OUI
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	OUI	OUI	OUI
3. la répartition a respecté une assignation secrète	OUI	OUI	OUI
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	OUI	OUI	OUI
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	NON	NON	NON
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	NON	NON	NON
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	OUI	OUI	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
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	NON	OUI
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	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	NON
<b>Score PEDro</b>	<b>8/10</b>	<b>7/10</b>	<b>6/10</b>

**Annexe 4 : Grille d'évaluation méthodologique Quality Assessment Tool for Observational Cohort and Cross-Sectional Studies complétée pour l'étude transversale de Girardi et al.(113)**

Criteria	Yes	No	Other (CD, NR, NA)*
1. Was the research question or objective in this paper clearly stated?	X		
2. Was the study population clearly specified and defined?	X		
3. Was the participation rate of eligible persons at least 50%?			NR
4. Were all the subjects selected or recruited from the same or similar populations (including the same time period)? Were inclusion and exclusion criteria for being in the study prespecified and applied uniformly to all participants?	X		
5. Was a sample size justification, power description, or variance and effect estimates provided?		X	
6. For the analyses in this paper, were the exposure(s) of interest measured prior to the outcome(s) being measured?		X	
7. Was the timeframe sufficient so that one could reasonably expect to see an association between exposure and outcome if it existed?		X	
8. For exposures that can vary in amount or level, did the study examine different levels of the exposure as related to the outcome (e.g., categories of exposure, or exposure measured as continuous variable)?		X	
9. Were the exposure measures (independent variables) clearly defined, valid, reliable, and implemented consistently across all study participants?	X		
10. Was the exposure(s) assessed more than once over time?	X		
11. Were the outcome measures (dependent variables) clearly defined, valid, reliable, and implemented consistently across all study participants?	X		
12. Were the outcome assessors blinded to the exposure status of participants?	X		
13. Was loss to follow-up after baseline 20% or less?	X		
14. Were key potential confounding variables measured and adjusted statistically for their impact on the relationship between exposure(s) and outcome(s)?			NA

\*CD, cannot determine; NA, not applicable; NR, not reported

## Annexe 5 : Estimation du 1-RM à partir de la formule de PREVOST (40)

**ESTIMATION DE VOTRE FORCE MAXIMALE (RM ou RM1) A PARTIR D'UNE CHARGE PLUS LEGERE**

Vous avez effectué un certain nombre de répétitions à l'échec musculaire ou très proche de l'échec musculaire (moins précis) :

Etape 1 : trouvez la colonne des répétitions entre 2 et 15.

Etape 2 : dans cette colonne choisissez la charge que vous aviez.

Etape 3 : reportez sur la ligne à gauche pour connaître votre maximum.

Exemple, vous avez soulevé 8 fois 180 kg au squat, vous pouvez estimer un maximum à 227.5 kg sur une seule répétition.

**FORMULE DE PREVOST**

(Nouvelle formule limitant l'erreur sur les charges supérieures à 10RM, 2013)

IRM	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
100	92	89	87	85	83	81	79	77	76	74	73	71	70	69
Charges indicatives (arrondies au kilogramme supérieur)														
300	275	268	261	255	249	243	237	232	227	223	218	214	210	206
297,5	273	266	259	253	247	241	235	230	225	221	216	212	208	204
295	271	264	257	251	245	239	233	228	224	219	215	210	206	203
292,5	268	261	255	248	242	237	232	226	222	217	213	209	205	201
290	266	259	253	246	240	235	230	225	220	215	211	207	203	199
287,5	264	257	250	244	238	233	228	223	218	213	209	205	201	198
285	262	255	248	242	236	231	226	221	216	212	207	203	199	196
282,5	259	252	246	240	234	229	224	219	214	210	206	202	198	194
280	257	250	244	238	232	227	222	217	212	208	204	200	196	192
277,5	255	248	242	236	230	225	220	215	210	206	202	198	194	191
275	252	246	239	234	228	223	218	213	208	204	200	196	192	189
272,5	250	244	237	231	226	221	216	211	207	202	198	194	191	187
270	248	241	235	229	224	219	214	209	205	200	196	193	189	186
267,5	245	239	233	227	222	217	212	207	203	199	195	191	187	184
265	243	237	231	225	220	215	210	205	201	197	193	189	185	182
262,5	241	235	229	223	218	213	208	203	199	195	191	187	184	180
260	239	232	226	221	216	211	206	201	197	193	189	185	182	179
257,5	236	230	224	219	213	209	204	199	195	191	187	184	180	177
255	234	228	222	217	211	206	202	197	193	189	185	182	178	175
252,5	232	226	220	214	209	204	200	195	191	187	184	180	177	174
250	229	223	218	212	207	202	198	194	189	186	182	178	175	172
247,5	227	221	216	210	205	200	196	192	188	184	180	177	173	170
245	225	219	213	208	203	198	194	190	186	182	178	175	171	168
242,5	223	217	211	206	201	196	192	188	184	180	176	173	170	167
240	220	214	209	204	199	194	190	186	182	178	175	171	168	165
237,5	218	212	207	202	197	192	188	184	180	176	173	169	166	163
235	216	210	205	200	195	190	186	182	178	174	171	168	164	162
232,5	213	208	202	197	193	188	184	180	176	173	169	166	163	160
230	211	206	200	195	191	186	182	178	174	171	167	164	161	158
227,5	209	203	198	193	189	184	180	176	172	169	165	162	159	156
225	206	201	196	191	187	182	178	174	171	167	164	161	157	155
222,5	204	199	194	189	184	180	176	172	169	165	162	159	156	153
220	202	197	192	187	182	178	174	170	167	163	160	157	154	151
217,5	200	194	189	185	180	176	172	168	165	161	158	155	152	149
215	197	192	187	183	178	174	170	166	163	160	156	153	150	148
212,5	195	190	185	180	176	172	168	165	161	158	155	152	149	146
210	193	188	183	178	174	170	166	163	159	156	153	150	147	144
207,5	190	185	181	176	172	168	164	161	157	154	151	148	145	143
205	188	183	179	174	170	166	162	159	155	152	149	146	143	141
202,5	186	181	176	172	168	164	160	157	153	150	147	144	142	139
200	184	179	174	170	166	162	158	155	152	148	145	143	140	137
197,5	181	176	172	168	164	160	156	153	150	147	144	141	138	136
195	179	174	170	166	162	158	154	151	148	145	142	139	136	134
192,5	177	172	168	163	160	156	152	149	146	143	140	137	135	132
190	174	170	165	161	158	154	150	147	144	141	138	136	133	131
187,5	172	168	163	159	155	152	148	145	142	139	136	134	131	129
185	170	165	161	157	153	150	146	143	140	137	135	132	129	127
182,5	167	163	159	155	151	148	144	141	138	135	133	130	128	125

180	165	161	157	153	149	146	142	139	<b>136</b>	134	131	128	126	124
177,5	163	159	155	151	147	144	140	137	<b>135</b>	132	129	127	124	122
175	161	156	152	149	145	142	139	135	<b>133</b>	130	127	125	122	120
172,5	158	154	150	147	143	140	137	134	<b>131</b>	128	125	123	121	119
170	156	152	148	144	141	138	135	132	<b>129</b>	126	124	121	119	117
167,5	154	150	146	142	139	136	133	130	<b>127</b>	124	122	119	117	115
165	151	147	144	140	137	134	131	128	<b>125</b>	122	120	118	115	113
162,5	149	145	142	138	135	132	129	126	<b>123</b>	121	118	116	114	112
160	147	143	139	136	133	130	127	124	<b>121</b>	119	116	114	112	110
157,5	145	141	137	134	131	128	125	122	<b>119</b>	117	115	112	110	108
155	142	139	135	132	128	126	123	120	<b>117</b>	115	113	111	108	107
152,5	140	136	133	130	126	123	121	118	<b>116</b>	113	111	109	107	105
150	138	134	131	127	124	121	119	116	<b>114</b>	111	109	107	105	103
147,5	135	132	128	125	122	119	117	114	<b>112</b>	109	107	105	103	101
145	133	130	126	123	120	117	115	112	<b>110</b>	108	105	103	101	100
142,5	131	127	124	121	118	115	113	110	<b>108</b>	106	104	102	100	98
140	128	125	122	119	116	113	111	108	<b>106</b>	104	102	100	98	96
137,5	126	123	120	117	114	111	109	106	<b>104</b>	102	100	98	96	94
135	124	121	118	115	112	109	107	105	<b>102</b>	100	98	96	94	93
132,5	122	118	115	113	110	107	105	103	<b>100</b>	98	96	95	93	91
130	119	116	113	110	108	105	103	101	<b>99</b>	96	95	93	91	89
127,5	117	114	111	108	106	103	101	99	<b>97</b>	95	93	91	89	88
125	115	112	109	106	104	101	99	97	<b>95</b>	93	91	89	87	86
122,5	112	109	107	104	102	99	97	95	<b>93</b>	91	89	87	86	84
120	110	107	104	102	99	97	95	93	<b>91</b>	89	87	86	84	82
117,5	108	105	102	100	97	95	93	91	<b>89</b>	87	85	84	82	81
115	106	103	100	98	95	93	91	89	<b>87</b>	85	84	82	80	79
112,5	103	101	98	96	93	91	89	87	<b>85</b>	84	82	80	79	77
110	101	98	96	93	91	89	87	85	<b>83</b>	82	80	78	77	76
107,5	99	96	94	91	89	87	85	83	<b>81</b>	80	78	77	75	74
105	96	94	91	89	87	85	83	81	<b>80</b>	78	76	75	73	72
102,5	94	92	89	87	85	83	81	79	<b>78</b>	76	75	73	72	70
<b>100</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>87</b>	<b>85</b>	<b>83</b>	<b>81</b>	<b>79</b>	<b>77</b>	<b>76</b>	<b>74</b>	<b>73</b>	<b>71</b>	<b>70</b>	<b>69</b>
97,5	89	87	85	83	81	79	77	75	<b>74</b>	72	71	70	68	67
95	87	85	83	81	79	77	75	74	<b>72</b>	71	69	68	66	65
92,5	85	83	81	79	77	75	73	72	<b>70</b>	69	67	66	65	64
90	83	80	78	76	75	73	71	70	<b>68</b>	67	65	64	63	62
87,5	80	78	76	74	73	71	69	68	<b>66</b>	65	64	62	61	60
85	78	76	74	72	70	69	67	66	<b>64</b>	63	62	61	59	58
82,5	76	74	72	70	68	67	65	64	<b>63</b>	61	60	59	58	57
80	73	71	70	68	66	65	63	62	<b>61</b>	59	58	57	56	55
77,5	71	69	67	66	64	63	61	60	<b>59</b>	58	56	55	54	53
75	69	67	65	64	62	61	59	58	<b>57</b>	56	55	54	52	52
72,5	67	65	63	62	60	59	57	56	<b>55</b>	54	53	52	51	50
70	64	63	61	59	58	57	55	54	<b>53</b>	52	51	50	49	48
67,5	62	60	59	57	56	55	53	52	<b>51</b>	50	49	48	47	46
65	60	58	57	55	54	53	51	50	<b>49</b>	48	47	46	45	45
62,5	57	56	54	53	52	51	49	48	<b>47</b>	46	45	45	44	43
60	55	54	52	51	50	49	47	46	<b>45</b>	45	44	43	42	41
57,5	53	51	50	49	48	47	46	45	<b>44</b>	43	42	41	40	40
55	50	49	48	47	46	45	44	43	<b>42</b>	41	40	39	38	38
52,5	48	47	46	45	44	43	42	41	<b>40</b>	39	38	37	37	36
50	46	45	44	42	41	40	40	39	<b>38</b>	37	36	36	35	34
47,5	44	42	41	40	39	38	38	37	<b>36</b>	35	35	34	33	33
45	41	40	39	38	37	36	36	35	<b>34</b>	33	33	32	31	31
42,5	39	38	37	36	35	34	34	33	<b>32</b>	32	31	30	30	29
40	37	36	35	34	33	32	32	31	<b>30</b>	30	29	29	28	27
37,5	34	34	33	32	31	30	30	29	<b>28</b>	28	27	27	26	26
35	32	31	30	30	29	28	28	27	<b>27</b>	26	25	25	24	24
32,5	30	29	28	28	27	26	26	25	<b>25</b>	24	24	23	23	22
30	28	27	26	25	25	24	24	23	<b>23</b>	22	22	21	21	21