

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION GRAND EST
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION DE MASSO-KINÉSITHÉRAPIE DE NANCY

**RÉÉDUCATION SOUS RESTRICTION DU FLUX SANGUIN EN POST-
OPÉRATOIRE D'UNE ARTHROPLASTIE TOTALE DE GENOU CHEZ
LA PERSONNE ÂGÉE**

Une étude de faisabilité

Sous la direction de Cédric HOUIN

Mémoire présenté par **Fabrice CABARÉ**,
étudiant en 4^{ème} année de masso-
kinésithérapie, en vue de valider l'UE28
dans le cadre de la formation initiale du
Diplôme d'État de Masseur-Kinésithérapeute

Promotion 2021-2025.



Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'IFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : secretariat@kine-nancy.eu

Liens utiles

[Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4](#)

[Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10](#)

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>



UE 28 - MÉMOIRE
DÉCLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je, soussigné,Fabrice CABARÉ.....

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend possible de poursuites devant le conseil de discipline de l'ILFMK et les tribunaux de la République Française.

Fait à Nancy, le30/01/2025.....

Signature

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord exprimer mes remerciements à mon directeur de mémoire, M. Cédric HOUIN, pour son accompagnement tout au long de ce projet. Votre disponibilité, vos conseils et votre expertise ont été essentiels à la réussite de ce travail. Ce fut un réel plaisir de collaborer et d'avancer à vos côtés.

Je tiens également à remercier Mme Séverine BUATOIS, qui m'a accompagné avec bienveillance tout au long de ces quatre années à l'école, et plus particulièrement durant la rédaction de ce mémoire. Merci pour votre implication, vos conseils avisés et votre soutien.

Un grand merci à l'ensemble des équipes du centre Florentin, et tout particulièrement à M. Christophe TORTUYAUX, Mme Odile VILLEMIN, Mme Patricia HOUIN ainsi qu'aux Docteurs Philippe MEYER et Vincent DINOT, pour leur aide et la confiance qu'ils ont pu m'accorder.

Mes sincères remerciements vont également au Docteur Fabrice BRYAN et à M. Guy MOUSSI, pour leurs conseils, leur disponibilité et les connaissances qu'ils ont su partager avec générosité.

Je souhaite remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'IFMK de Nancy, sans oublier Mme BIEDIGER, Mme FRANOUX et Mme MANGIN.

Enfin, je voudrais exprimer toute ma reconnaissance à ma famille et à mes proches, qui m'ont soutenu sans relâche durant cette période de reconversion professionnelle.

À ma compagne Hélène : merci pour ton soutien indéfectible et ton courage. Tu as été mon pilier tout au long de ces quatre années, et sans toi, cette reconversion n'aurait pas été possible.

À mes enfants, Jules et Chloé : je vous demande pardon pour mes absences, qui ont été difficiles pour nous tous. Merci pour votre patience et votre amour.

À mes parents et ma grand-mère : merci pour votre compréhension et votre soutien précieux.

À ma belle-mère : merci de nous avoir aidés avec les enfants lors de mes absences.

Enfin, à mon grand-père : tu as toujours cru en moi. J'espère que, de là-haut, tu es fier de ce chemin parcouru.

"Le sacrifice n'est pas une perte, mais un investissement dans un avenir meilleur. »

Ethan BTHR

RÉSUMÉ/ABSTRACT

Rééducation sous restriction du flux sanguin en post-opératoire d'une arthroplastie totale de genou chez la personne âgée : une étude de faisabilité.

Introduction : La prothèse totale de genou (PTG) est une intervention en constante augmentation, notamment chez la personne âgée. Les contraintes post-opératoires restreignent l'utilisation de charges lourdes dans la récupération musculaire. La restriction du flux sanguin, ou blood flow restriction (BFR), en favorisant le stress métabolique, apparaît comme une alternative intéressante pour optimiser le gain de force et de volume musculaire. Cependant, peu d'études ont exploré son application en phase post-opératoire de PTG chez la personne âgée. Cette étude vise à évaluer la faisabilité d'une rééducation sous BFR, en mesurant la perception de l'effort et de la douleur des patients.

Matériel et Méthode : Une étude de faisabilité, portant sur trois patients « cas cliniques » en phase post-opératoire précoce, a été réalisée dans un centre de rééducation. Le protocole s'est étendu sur deux à trois semaines avec quatre séances de BFR hebdomadaires en complément de leur rééducation kinésithérapeutique. La perception de l'effort a été mesurée avec l'échelle de Borg modifiée et la douleur par l'échelle numérique, après chaque séance. En fin de rééducation, un questionnaire de retour d'expérience a été proposé aux patients et au thérapeute. La force et le volume quadriceps ont été évalués comme critères secondaires.

Résultats : Les patients ont globalement ressenti une faible perception de l'effort et de la douleur, avec une diminution progressive au fil des séances. L'effort perçu est passé de 4-6/10 à 2-4/10, tandis que la douleur a diminué de 3-6/10 à 1-3/10. Aucun effet secondaire n'a été observé, et les patients ont rapidement adhéré à la méthode, exprimant un retour d'expérience positif. Concernant le thérapeute, le BFR s'est révélé facile à utiliser, intégrable sans difficulté dans les séances de rééducation, et sécurisé. Une tendance au gain de force du quadriceps a été observée, mais des études spécifiques sont nécessaires pour établir un lien clair avec l'utilisation du BFR.

Discussion et Conclusion : Cette étude a montré que le BFR s'avère être une méthode applicable pour la rééducation post-opératoire de PTG chez la personne âgée. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats, optimiser le protocole et valider son efficacité.

Mots clés : Arthroplastie totale de genou, Blood flow restriction, Rééducation post-opératoire, Personne âgée.

Blood flow restriction rehabilitation following total knee arthroplasty in elderly patients : a feasibility study.

Introduction : Total knee arthroplasty (TKA) is a procedure which is being used more and more, particularly among the elderly. Postoperative constraints limit the use of heavy loads in muscle recovery. Blood Flow Restriction (BFR), by promoting metabolic stress, emerges as an interesting alternative to optimize improvements in muscle strength and volume. However, few studies have explored its application in the postoperative phase of TKA in elderly patients. This study aims to assess the feasibility of rehabilitation under BFR by measuring patients' perception of effort and pain.

Materials and Methods : A feasibility study involving three « clinical cases » patients in the early postoperative phase was conducted in a rehabilitation center. The protocol spanned two to three weeks with four BFR sessions per week in addition to their physiotherapy rehabilitation. Perceived effort was measured using the modified Borg scale, and pain was assessed using the numerical rating scale after each session. At the end of the rehabilitation program, a feedback questionnaire was provided to both the patients and the therapist. Quadriceps strength and volume were evaluated as secondary criteria.

Results : Patients generally reported low levels of perceived effort and pain, with a progressive decrease over the sessions. Perceived effort decreased from 4–6/10 to 2–4/10, while pain levels dropped from 3–6/10 to 1–3/10. No side effects were observed, and patients quickly embraced the method, expressing satisfaction and providing positive feedback. From the therapist's perspective, BFR was easy to use, seamlessly integrated into rehabilitation sessions, and deemed safe. A trend toward quadriceps strength improvement was noted, although specific studies are needed to establish a clear link to the use of BFR.

Discussion and Conclusion : This study showed that BFR proves to be a feasible method for postoperative rehabilitation following TKA in elderly patients. Further research is needed to confirm these findings, optimize the protocol, and validate its effectiveness.

Keywords: Total knee arthroplasty, Blood flow restriction, Postoperative rehabilitation, Elderly.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
1.1. Contextualisation	1
1.2. Question de recherche	3
1.3. Cadre théorique.....	4
1.3.1. État des connaissances actuelles sur le BFR	4
1.3.2. Prothèse totale de genou chez la personne âgée	11
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE	15
2.1. Type d'étude.....	15
2.2. Stratégie de recherche documentaire	15
2.3. Matériel et modalités d'application	16
2.3.1. L'entreprise MAD-UP®	16
2.3.2. Taille et positionnement du manchon.....	16
2.3.3. Modalités d'application.....	17
2.4. Protocole d'application.....	17
2.4.1. Critères de sélection des patients	17
2.4.2. Phase de test préliminaire	18
2.4.3. Description du protocole de rééducation	19
2.4.4. Critères de démarrage et d'arrêt de séance.....	22
2.4.5. Critères de jugement.....	22
2.4.6. Schéma récapitulatif du protocole	24
3. RÉSULTATS	25
3.1. Population intégrée dans le protocole.....	25
3.2. Étude du cas clinique n°1	25
3.2.1. Présentation du patient	25
3.2.2. Résultat du test préliminaire.....	26
3.2.3. Évaluation de la douleur et de la perception de l'effort.....	26
3.2.4. Évaluation de la force du quadriceps	27
3.2.5. Évaluation de la circonférence de la cuisse	28

3.2.6. Questionnaire de retour d'expérience	29
3.3. Étude du cas clinique n°2	29
3.3.1. Présentation du patient.....	29
3.3.2. Résultat du test préliminaire.....	30
3.3.3. Évaluation de la perception de l'effort et de la douleur.....	30
3.3.4. Évaluation de la force du quadriceps	31
3.3.5. Évaluation de la circonférence de la cuisse	32
3.3.6. Questionnaire de retour d'expérience	32
3.4. Étude du cas clinique n°3	33
3.4.1. Présentation du patient.....	33
3.4.2. Résultat du test préliminaire.....	33
3.4.3. Évaluation de la perception de l'effort et de la douleur.....	34
3.4.4. Évaluation de la force du quadriceps	35
3.4.5. Évaluation de la circonférence de la cuisse	36
3.4.6. Questionnaire de retour d'expérience	37
3.5. Synthèse des résultats des cas cliniques	37
3.5.1. Critères de jugements principaux.....	37
3.5.2. Critères de jugements secondaires.....	39
3.6. Évaluation du BFR par les kinésithérapeutes	41
4. DISCUSSION	42
4.1. Interprétation des résultats	42
4.1.1. Critères de jugements principaux.....	42
4.1.2. Retour d'expérience du kinésithérapeute	44
4.1.3. Critères de jugements secondaires.....	45
4.2. Analyse critique du protocole.....	46
4.2.1. Population.....	46
4.2.2. Évolution des paramètres de pression et de charge	47
4.3. Intérêt et limites pour la pratique clinique et professionnelle	47
4.4. Perspectives d'approfondissement	48

4.4.1. Adaptation des paramètres du protocole	48
4.4.2. Étude pour évaluer l'intérêt de la rééducation sous BFR.....	49
4.4.3. Rééducation sous BFR en pré-opératoire	49
5. CONCLUSION	50

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BFR : Blood Flow Restriction

BFRT : Blood Flow Restriction Training

EBP : Evidence-Based Practice

HAS : Haute Autorité de Santé

LL-BFR : Low-Load Blood Flow Restriction

RM : Résistance Maximale

POA : Pression d'Oclusion Artérielle

PTG : Prothèse Totale de Genou

SMR : Soins Médicaux et de Réadaptation

TVP : Thrombose Veineuse Profonde

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : positionnement du manchon au niveau de la cuisse.....	16
Figure 2 : exercice d'extension de genou contre pesanteur du test préliminaire.	19
Figure 3 : schéma de séries et de répétitions du protocole.....	20
Figure 4 : schéma d'évolution des paramètres durant le protocole.	21
Figure 5 : installation pour la mesure de force du quadriceps.....	23
Figure 6 : schéma récapitulatif du protocole.	24
Figure 7 : perception de l'effort et de la douleur de Sylvie durant les séances.....	26
Figure 8 : évolution des paramètres de POA et de charge additionnelle de Sylvie.	27
Figure 9 : évolution de la force du quadriceps de Sylvie (70° de flexion).	28
Figure 10 : évolution de la circonférence de la cuisse de Sylvie.	28
Figure 11 : perception de l'effort et de la douleur d'Isabelle durant les séances.	30
Figure 12 : évolution des paramètres de POA et de charge additionnelle d'Isabelle.	31
Figure 13 : évolution de la force du quadriceps d'Isabelle (60° de flexion)....	31
Figure 14 : évolution de la circonférence de la cuisse d'Isabelle.....	32
Figure 15 : perception de l'effort et de la douleur de Philippe durant les séances.....	34
Figure 16 : évolution des paramètres de POA et de charge additionnelle de Philippe.	35
Figure 17 : évolution de la force du quadriceps de Philippe (90° de flexion).	36
Figure 18 : évolution de la circonférence de la cuisse de Philippe.	36
Figure 19 : évaluation de la douleur des trois patients au cours des séances.....	38
Figure 20 : évaluation de la perception de l'effort des trois patients au cours des séances ..	38
Figure 21 : évolution de la force du quadriceps des trois patients.....	40
Figure 22 : évolution de la circonférence de la cuisse des trois patients.....	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : contre-indications possibles au BFR selon Martin <i>et al.</i> (2022).....	10
Tableau II : critères d'inclusion et d'exclusion.	18
Tableau III : critères de démarrage et d'arrêt de séance.....	22
Tableau IV : résultats au questionnaire de retour d'expérience patient.....	39

1. INTRODUCTION

1.1. Contextualisation

L'exercice sous restriction du flux sanguin, également connu sous le nom de Blood Flow Restriction (BFR), est une technique permettant de développer la force et la trophicité musculaire. Apparue au Japon dans les années 1960, cette méthode consiste à limiter partiellement le flux artériel et à bloquer le retour veineux pendant l'exercice à l'aide d'un dispositif de compression, créant ainsi un stress métabolique supplémentaire. En complément du stress mécanique induit par l'exercice, cette technique favorise le gain de force et de trophicité musculaire, même avec l'utilisation de faibles résistances additionnelles (entre 20 % et 40 % de la résistance maximale pour une répétition, 1 RM). La littérature présente de nombreuses revues systématiques et méta-analyses qui ont mis en évidence l'effet du BFR sur le gain de force et de trophicité musculaire (1–4). Cette technique a fait l'objet de nombreuses études au cours des dernières années. De 2020 à 2023, 654 publications mentionnant « Blood Flow Restriction » ont été répertoriées sur PubMed, contre 512 pour la période 2000-2019, reflétant l'intérêt croissant de la communauté scientifique pour cette méthode.

Le déficit de force musculaire est fréquemment retrouvé dans les bilans diagnostiques masso-kinésithérapeutiques. Son origine peut être variée. Il peut être consécutif à un trouble musculosquelettique (fracture, atteinte ligamentaire), au vieillissement de la personne (sarcopénie), à l'inactivité physique, à une immobilisation prolongée (traumatisme, intervention chirurgicale), ou à la douleur limitant le mouvement.

Le renforcement musculaire est donc une étape primordiale dans la rééducation kinésithérapique. Afin de produire un gain de force et de trophicité musculaire, une étude américaine préconise la réalisation d'exercices à charges lourdes avec une résistance équivalente à 70 % de la 1 RM (5). Cependant, des facteurs peuvent empêcher l'utilisation de résistances élevées en rééducation. C'est le cas notamment chez la personne âgée pour qui l'exercice à haute résistance (>70 % 1 RM) ne peut être envisagé à cause d'un appareil musculosquelettique fragilisé (6), de la présence possible de facteurs de comorbidités ou bien d'un déficit de force musculaire accentué par la sarcopénie (7).

Compte tenu des contraintes apportées par l'utilisation de charges élevées, le BFR représente une alternative intéressante au renforcement musculaire chez cette population. En 2018, Centner *et al.* ont étudié, à travers une méta-analyse, les effets potentiels du BFR chez la personne âgée, et ont conclu que l'entraînement sous BFR avec une résistance légère

engendre une amélioration supérieure de la force et de la trophicité musculaire par rapport à un entraînement sans BFR. L'étude souligne d'ailleurs que le gain de trophicité musculaire est équivalent à celui obtenu lors d'exercices à haute résistance (7).

Au vu des données scientifiques, on peut donc se demander pourquoi la rééducation sous BFR n'est pas plus répandue en France, notamment dans la rééducation de l'appareil locomoteur de la personne âgée. Cependant, le champ d'application du BFR semble se développer principalement dans un contexte de rééducation musculosquelettique du sportif en France (8,9). Pourtant, les pathologies rhumatismales chez la personne âgée semblent être un cadre propice à l'application du BFR et notamment en post-opératoire d'une arthroplastie.

L'arthroplastie totale du genou, ou prothèse totale de genou (PTG), est la prothèse la plus couramment réalisée en France chez la personne âgée, avec un taux d'incidence de 608 pour 100 000 habitants (10). La douleur, le déficit de force, l'atrophie musculaire, des facteurs liés à l'âge comme la sarcopénie, ainsi qu'une faible activité physique peuvent affecter les résultats de l'intervention. Conformément aux recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS), la rééducation post-opératoire de la PTG comprend une phase initiale de réveil musculaire, suivie d'un renforcement progressif (11). Dans cette phase où l'utilisation de charges lourdes est restreinte, l'intégration du BFR apparaît comme une méthode judicieuse pour un renforcement musculaire progressif.

Actuellement, la littérature sur l'utilisation du BFR dans la rééducation post-opératoire d'une arthroplastie totale du genou reste limitée. Seule une étude pilote randomisée (12), deux études de cas (13,14), et deux revues narratives sont disponibles à ce jour (15,16). Aucune des trois études ne traite de l'utilisation du BFR dans la rééducation post-opératoire précoce, puisque celles-ci ont été menées bien après l'opération (au moins 12 semaines post-opératoire) et ne ciblent pas systématiquement la population âgée. La revue de littérature réalisée par De Renty *et al.* met en évidence des preuves de plus en plus nombreuses indiquant que la rééducation sous BFR pourrait améliorer la récupération fonctionnelle après une arthroplastie totale du genou chez la personne âgée, bien que cela ne soit pas encore confirmé par des études de cas (15).

L'Evidence-Based Practice (EBP) propose une approche systématique pour orienter la prise de décision thérapeutique. L'EBP repose sur un triptyque comprenant les preuves scientifiques, l'expertise du praticien, ainsi que les préférences du patient (17). En ce qui concerne la rééducation sous BFR, le premier pilier, à savoir les preuves scientifiques, est bien documenté quant à son efficacité. Mais qu'en est-il des deux autres composantes ?

Concernant le thérapeute, il est essentiel de s'interroger sur les connaissances nécessaires pour une mise en œuvre efficace de cette rééducation. Des éléments essentiels doivent être maîtrisés pour intégrer le BFR dans sa pratique. À l'heure actuelle, aucun protocole n'est clairement défini et aucune recommandation n'est fournie par les hautes instances de santé concernant l'utilisation du BFR en France. Pourtant, certains aspects sont cruciaux pour garantir une rééducation efficace et atteindre les bénéfices attendus, tels que :

- Les critères d'éligibilité, les indications et les contre-indications.
- Les modalités d'utilisation et protocoles (type de BFR, localisation, pression et temps d'occlusion, fréquence d'utilisation, exercices et charges associées, temps de traitement...).
- La connaissance des effets secondaires potentiels et les critères d'arrêt de séance.

Du côté du patient, la perception de l'inconfort liée à l'équipement reste encore peu étudiée, en particulier dans un contexte post-opératoire précoce. La question se pose de savoir si la perception de l'effort et de la douleur liée à l'utilisation du BFR pourrait constituer un obstacle à la rééducation. Il est donc essentiel d'examiner la réalité clinique de cette méthode de rééducation en prenant en compte le ressenti et la perception des patients.

L'objectif de mon mémoire est donc d'étudier les modalités et la faisabilité d'une rééducation sous BFR post-opératoire d'une arthroplastie chez la personne âgée.

1.2. Question de recherche

En se basant sur les modalités d'application décrites dans la littérature, la rééducation sous BFR en post-opératoire d'une arthroplastie du genou chez la personne âgée est-elle réalisable du point de vue du patient et du thérapeute ?

Afin de répondre à cette problématique, une étude préliminaire de faisabilité basée sur trois patients « cas cliniques » a été menée au centre de rééducation Florentin de l'OHS (Office d'Hygiène Sociale) de Lorraine. En amont de cette étude, une revue de la littérature a été réalisée afin d'effectuer un état des lieux sur les connaissances actuelles de la rééducation sous restriction du flux sanguin. Un protocole a ensuite été élaboré en s'appuyant sur les modalités d'application préconisées par les données scientifiques.

Concernant les patients, deux critères ont été sélectionnés pour évaluer la faisabilité de la rééducation par ce dispositif : la perception de l'effort et la douleur ressentie pendant la séance sous BFR. Un questionnaire a été élaboré pour recueillir leur avis et sensation à la fin du programme de rééducation. De plus, la force et la trophicité musculaire du quadriceps ont

étaient choisies comme indicateurs de suivi pendant la rééducation, afin d'évaluer l'intérêt clinique de la rééducation sous BFR.

Du point de vue des thérapeutes, cette faisabilité a été évaluée à l'aide d'un questionnaire portant sur l'utilisation de l'équipement afin d'analyser leur retour d'expérience sur l'utilisation et l'intégration du BFR dans un programme de rééducation.

La partie suivante vise à dresser un bilan des connaissances actuelles sur le BFR, en s'appuyant sur une revue de la littérature, afin de clarifier son principe, son intérêt en rééducation, ainsi que ses risques et contre-indications. Une synthèse concernant l'arthroplastie du genou sera également exposée afin de mieux appréhender les conséquences post-opératoires et les objectifs associés à la rééducation.

1.3. Cadre théorique

1.3.1. État des connaissances actuelles sur le BFR

1.3.1.1. Historique

Le renforcement musculaire associé à la restriction du flux sanguin, ou BFR Training (BFRT) en anglais, a été initié au Japon par le Dr Yoshiaki Sato en 1966, puis développé dans les années 1970 et 1980, avec un premier brevet déposé en 1994 au Japon (18). Initialement connue sous le nom de "KAATSU training", signifiant « entraînement supplémentaire » en japonais, cette technique a été introduite par la suite aux États-Unis, puis en Europe. Elle a d'abord gagné en popularité dans le milieu du culturisme, avant de s'étendre progressivement à la médecine du sport, à la kinésithérapie, ainsi qu'à la préparation physique (9).

1.3.1.2. Principe et physiologie

Le principe du BFRT repose sur l'occlusion partielle du système veino-artériel pendant l'exercice. Cette occlusion entraîne une réduction du débit sanguin artériel et un blocage du retour veineux à l'aide d'un système compressif placé sur la partie proximale du membre ciblé. Les systèmes permettant l'application de la pression se sont développés au cours des dernières décennies. Initialement, un système de garrot était utilisé ; aujourd'hui, ce sont des systèmes de manchons gonflables qui sont mis en place. Ces manchons ont notamment l'avantage de pouvoir régler précisément la pression nécessaire pour atteindre l'occlusion vasculaire partielle souhaitée, réduisant ainsi les risques d'occlusions totales. Les appareils récents, comme ceux proposés par MAD-UP®, permettent de calibrer la pression et de réguler son ajustement tout au long de l'exercice, réduisant ainsi les risques d'ischémie totale (9).

Le mécanisme physiologique permettant ce gain de volume et de force musculaire a été étudié, mais il ne semble pas encore entièrement élucidé. Plus généralement, les mécanismes sous-jacents au gain de trophicité du muscle squelettique induit par l'exercice en résistance restent encore à approfondir (19). Cependant, des principes généraux en ressortent. L'augmentation de la trophicité musculaire correspond à l'accroissement du volume du muscle et est consécutive à l'augmentation du matériel contractile présent à l'intérieur de la fibre musculaire. Le développement des myofibrilles est basé sur trois mécanismes principaux : la réaction aux lésions musculaires engendrant une réponse inflammatoire, la réaction au stress mécanique causée par la résistance lors de l'exercice et la réaction au stress métabolique (20).

La littérature actuelle appuie l'hypothèse selon laquelle l'entraînement sous BFR accentue le stress métabolique. L'occlusion du système artéioveineux engendrerait une hypoxie du membre sous occlusion ainsi qu'une accumulation de métabolites (H^+ , ions phosphates, lactate), entraînant un déséquilibre homéostatique. Ce déséquilibre déclencherait une série de réactions métaboliques menant à la croissance musculaire (21), dont :

- la libération de l'hormone de croissance (GH) et du facteur de croissance analogue à l'insuline-1 (IGF-1) (22).
- la production de molécules induisant des modifications dans le métabolisme protéique et augmentant la croissance des cellules satellites (cellules souches impliquées dans la régénération et la réparation des tissus musculaires) (22).
- l'activation de l'enzyme mTOR (Mammalian Target of Rapamycin) et des interleukines-6 (IL-6), favorisant la prolifération et l'activation des cellules satellites (23).

Le stress mécanique participe aussi à la croissance musculaire dans l'entraînement sous BFR, mais dans une moindre mesure, la résistance étant diminuée. Ce stress mécanique engendre également des modifications métaboliques, entraînant la production d'IGF et la stimulation de l'enzyme mTOR. La croissance musculaire pendant un entraînement sous BFR serait ainsi provoquée par une combinaison de stress métabolique, renforcé par l'environnement hypoxique, et de stress mécanique lié au travail contre résistance.

Concernant le type de fibres, on pourrait s'attendre à ce que le BFRT favorise la synthèse de fibres de type II, étant dans un environnement hypoxique. Schoenfeld *et al.* ont étudié ce sujet. Ils ont conclu que l'amplitude de la trophicité des fibres de type I est au moins aussi grande, voire parfois plus grande, que celle de la trophicité des fibres de type II lors d'entraînement à faible charge sous BFR (LL-BFR) (24).

1.3.1.1. Intérêt en rééducation chez la personne âgée

1.3.1.1.1 Augmentation de la force et de la trophicité musculaire

Comme évoqué précédemment, le BFRT offre une alternative intéressante pour le renforcement musculaire quand l'utilisation de charges lourdes n'est pas possible. Des revues systématiques et des méta-analyses se sont spécifiquement focalisées sur les personnes âgées. Elles ont montré des résultats significatifs concernant l'efficacité de cette technique, principalement sur le gain de masse musculaire par rapport à un entraînement à faible résistance sans BFR (7,25,26). Il a notamment été mis en évidence que l'utilisation du BFR est un outil intéressant pour lutter contre la sarcopénie. Cette dernière se définit par une perte progressive et généralisée de la force musculaire, associée à une diminution de la masse musculaire et à une dégradation des performances physiques (27). Kong *et al.* suggèrent que l'exercice sous BFR est une alternative pertinente pour diminuer l'effet de la sarcopénie, notamment lorsque l'exercice à charge élevée n'est pas envisageable (28).

1.3.1.1.2 Amélioration de la fonction vasculaire

Zhang *et al.* ont démontré dans une méta-analyse que l'entraînement en LL-BFR chez la personne âgée augmente de manière aiguë la fréquence cardiaque et la pression artérielle, à des niveaux similaires à ceux d'un entraînement à charge élevée. Cependant, après récupération, le LL-BFR entraîne une diminution significative de la pression artérielle systolique, comparée à l'entraînement à résistance élevée. Les bienfaits sur la fonction vasculaire incluent des améliorations de la vasodilatation et de la réduction de la rigidité artérielle sans impact sur la compliance veineuse (29). Néanmoins, certains auteurs nuancent ces résultats sur la fonction vasculaire et préconisent des études plus approfondies pour mieux comprendre les adaptations vasculaires (30).

1.3.1.1.3 Amélioration des capacités aérobiques

Reverdy *et al.* ont publié une revue de portée s'intéressant aux effets d'un entraînement aérobique sous BFR sur la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}). Il en ressort que ce type d'entraînement tend à améliorer la VO_{2max} avec des exercices à basse intensité (marche, vélo) ou bien à haute intensité (course, football en salle). Cependant, les résultats sont à nuancer pour les personnes âgées : ils divergent dans la littérature et certaines études n'ont montré aucun effet (31). Bennett *et al.* arrivent à la même conclusion dans leur revue systématique (32).

1.3.1.1.4 Amélioration de la densité osseuse

Wang X *et al.* ont réalisé une méta-analyse sur l'effet du LL-BFR sur le métabolisme osseux. Cette étude a montré que l'entraînement sous BFR à faible intensité induit des améliorations de la densité osseuse supérieures à celles de l'entraînement à faible intensité sans BFR. Il permet l'augmentation de la densité minérale osseuse, de la formation osseuse, et la diminution de la résorption osseuse. Il demeure néanmoins moins efficace que l'entraînement à haute intensité avec charges élevées. Il peut donc se présenter comme une méthode efficace pour améliorer la densité osseuse chez les patients âgés ou en rééducation musculosquelettique (33).

1.3.1.1.5 Impact sur la douleur

L'exercice est reconnu pour induire un effet hypoalgésique, dont l'ampleur est souvent plus importante lorsque l'exercice est d'une haute intensité. Mais qu'en est-il de l'entraînement sous BFR ? Song *et al.* ont étudié cette question à travers une revue de la littérature (34). Il en ressort qu'un effet hypoalgésique post-exercice serait présent, accompagné d'une réduction de la douleur à long terme. Les mécanismes sous-jacents ne sont, à l'heure actuelle, pas connus. Les hypothèses actuelles incluent une activation plus importante des opioïdes endogènes ainsi qu'un recrutement plus élevé des unités motrices, entraînant une diminution de la perception de la douleur. Hugues *et al.* suggèrent également que l'exercice sous BFR pourrait provoquer une modulation endogène de la douleur. Ce processus permet au système nerveux central de réguler la perception de la douleur. Cette modulation est activée par un stimulus douloureux, appliqué via le manchon dans le cadre du BFR, sur une région éloignée de la zone douloureuse. Ce stimulus provoquerait une modification systémique du traitement sensoriel à travers l'ensemble de l'organisme (35).

1.3.1.2. Les différentes méthodes de rééducation sous BFR

Initialement étudié avec de faibles charges, le BFR a suscité de nombreuses études sur différentes méthodes d'application en raison des réponses physiologiques qu'il engendre sur la force et le gain musculaire. Scott *et al.* ont réalisé une synthèse des différentes applications du BFR décrites dans la littérature (36). Voici les principales applications qui pourraient être pertinentes dans la rééducation des personnes âgées.

1.3.1.2.1 Entraînement à faible résistance

Il consiste à réaliser un entraînement avec des résistances comprises entre 20 % et 40 % de la 1 RM, avec des pressions d'occlusion artérielle comprises entre 40 % et 80 % pour le

membre inférieur (37). C'est la méthode la plus documentée dans la littérature. Comme évoqué précédemment, cette technique permet de développer un gain de force et de trophicité musculaire équivalent à un entraînement à résistance élevée ($>70\%$ de la 1 RM). Cette méthode constitue une alternative de choix lorsque l'utilisation de résistances élevées est compromise, d'où son fort intérêt dans la recherche scientifique.

Au vu des résultats précédents, des études ont été menées pour évaluer l'intérêt de réaliser un entraînement avec BFR à résistances élevées ($>70\%$ de la 1RM). Les résultats sont plus contrastés dans la littérature et tendent à montrer qu'il n'apporte pas d'amélioration significative sur la force et la trophicité musculaire (38).

1.3.1.2.2 Entraînement en exercice aérobique

L'exercice aérobique à faible intensité (marche, vélo) sous BFR a fait l'objet d'études, notamment chez la personne âgée. Pour un même exercice aérobique, l'ajout du BFR entraîne un gain de force et de trophicité musculaire et des bénéfices sur le plan cardiovasculaire. Il permettrait également d'améliorer les capacités fonctionnelles chez cette population (39). Cependant, bien que moins exigeant sur le plan perceptuel et hémodynamique qu'un entraînement en résistance sous BFR, les résultats restent inférieurs sur le plan musculaire (40).

1.3.1.2.3 Application du BFR en passif

Les applications du BFR précédemment citées sont possibles uniquement si l'exercice actif est réalisable. Cependant, lorsque l'immobilisation est préconisée, ces techniques ne sont pas envisageables. Des études se sont penchées sur les bénéfices du BFR sur la trophicité musculaire appliquée de manière passive. Barbalho *et al.* ont démontré que l'application du BFR en association avec des mobilisations passives chez des personnes âgées immobilisées en soins intensifs permet de limiter significativement l'atrophie musculaire au niveau du membre inférieur (41). Une revue systématique de 2020 montre également un effet favorable de l'utilisation du BFR dans la lutte contre l'atrophie musculaire du membre inférieur en cas d'immobilisation. Cependant, les auteurs nuancent ces résultats en raison de la présence de biais et préconisent des études supplémentaires afin de confirmer ces résultats (42).

1.3.1.2.4 Application du BFR avec électrostimulation

Des études ont combiné l'application d'électrostimulation au BFR passif afin de limiter l'atrophie musculaire. Les études tendent à montrer que la combinaison des deux méthodes permet une amélioration significative de la force et de la trophicité musculaire par rapport à

l'utilisation de ces méthodes de manière isolée, notamment pour le quadriceps (43). Il est à noter que l'utilisation du BFR avec des charges légères présente de meilleurs résultats dans le gain de masse musculaire comparée à l'électrostimulation seule (44). L'ajout d'électrostimulation reste donc une option à envisager si la charge est un obstacle ou lorsque le muscle est sidéré.

1.3.1.3. Risques et contre-indications

1.3.1.3.1 Réponse cardiovasculaire

Le LL-BFR affecte la réponse cardiovasculaire centrale en fonction du niveau de restriction, du type d'exercice et du mode d'application. Pendant l'exercice, le BFR augmente la fréquence cardiaque et la pression artérielle par rapport aux conditions sans restriction, notamment lorsque la pression est maintenue en continu. Comparé à l'entraînement en résistance à haute charge, le LL-BFR entraîne généralement des réponses hémodynamiques centrales plus faibles, bien que la pression périphérique et aortique puisse augmenter temporairement. Des pressions restrictives plus élevées entraînent des réponses cardiovasculaires plus importantes, augmentant potentiellement le risque associé. En revanche, après l'exercice, le LL-BFR provoque une hypotension plus marquée que l'entraînement à haute résistance (37).

Concernant le système cardiovasculaire périphérique, l'exercice sous BFR affecte la compliance artérielle et la fonction endothéliale. À court terme, le LL-BFR améliore la compliance des grandes artères, mais son effet sur les petites artères est moindre comparé à un entraînement à haute charge. Bien que le BFR semble temporairement améliorer la fonction endothéliale, cette réponse aiguë n'exclut pas des adaptations à long terme qui peuvent, au contraire, être néfastes si le LL-BFR est réalisé sur une longue période (37).

La résistance vasculaire systémique (RVS) augmente ou reste stable avec le BFR, mais diminue après l'exercice. Malgré cela, l'équilibre entre le débit cardiaque et le RVS ne semble pas représenter une menace cardiovasculaire directe. Cependant, un débit cardiaque constant couplé à une augmentation de la RVS pourrait entraîner une hausse de la pression artérielle, et des réponses individuelles défavorables ne peuvent être exclues (37).

1.3.1.3.2 Thrombose veineuse profonde

L'un des risques envisagés est celui de la formation d'un thrombus veineux causé par l'occlusion induite par l'équipement pouvant mener à une embolie pulmonaire. Des études se sont intéressées à l'impact du BFR sur l'activité de coagulation, en évaluant notamment le taux

de D-dimères dans le sang. Il a été démontré que l'activité de coagulation n'augmente pas après l'exercice sous BFR à charge légère (45,46). Le BFR ne semble pas accroître les facteurs de coagulation associés au risque de thrombose veineuse profonde (TVP). Le taux d'incidence d'un événement de TVP lors de l'application de BFR était de 0,055 % au Japon (sur une population de 12 642 sujets de tous âges), taux inférieur à celui de la population générale (47). À ce jour, aucune étude n'a démontré une augmentation significative du taux de TVP associée à l'utilisation de l'exercice en résistance sous BFR.

En période post-opératoire immédiate, le risque de TVP est particulièrement élevé. Dans le cadre de la PTG, le taux d'incidence de TVP est d'environ 1,5 % (48). Cependant, la littérature indique que l'utilisation du BFR comporte peu de risques de provoquer directement une TVP après une chirurgie orthopédique. Il est même plausible que le BFR améliore le flux sanguin et favorise la fibrinolyse (49). Malgré l'absence de contre-indications établies à l'utilisation du BFR, il faut prendre en compte les facteurs de risque cardiovasculaires que chaque patient peut présenter. Un dépistage minutieux est donc primordial avant toute rééducation sous BFR dans ce cadre post-opératoire. Martin *et al.* ont défini une liste de contre-indications possibles au BFR (Tab. I) ainsi que des principaux facteurs de risque de TVP (ANNEXE I) afin de guider le praticien dans cette décision (22).

*Tableau I : contre-indications possibles au BFR selon Martin *et al.* (2022).*

Contre-indications possibles au BFR (liste non exhaustive)	
Cancer / Tumeur	Fractures ouvertes
Calcification artérielle	Atteinte vasculaire périphérique
Maladie cardiovasculaire	Mauvais système circulatoire
Lésions par écrasement	Atteinte rénale
Infections aux extrémités	Maladies respiratoires
Antécédents familiaux de trouble de la coagulation	Hypertension sévère non contrôlée
Hémophilie	Drépanocytose
Antécédents de thrombose	Fumeur
Lymphectomie	Diabète sucré incontrôlé
Obésité	Embolie thrombotique veineuse
Traitements médicamenteux augmentant le risque de coagulation	

1.3.1.3.3 Lésions musculaires

Les lésions musculaires causées par l'entraînement sous BFR ont également été étudiées. L'exercice contre résistance a le potentiel de causer des lésions musculaires, en

particulier lorsque la charge est élevée. Mais qu'en est-il avec le BFR ? Les dommages musculaires sont-ils accentués par le BFR ? Le BFR associé à des charges légères semble causer moins de dommages musculaires comparé aux exercices à charge élevée (37,50,51). Cependant, ce point reste controversé dans la littérature ; les résultats divergent en fonction des protocoles utilisés et des biomarqueurs étudiés (52).

Il est à noter que des effets secondaires peuvent apparaître lors de l'exercice sous BFR. Les principaux effets retrouvés sont des picotements, des engourdissements temporaires, des courbatures et une fatigue musculaire importante. Moins fréquemment, des événouissements, des cas de rhabdomyolyses et des hémorragies sous-cutanées peuvent être rencontrés (53).

En conclusion de cette partie sur les risques, l'utilisation du BFR en post-opératoire semble être un outil intéressant, mais elle devra passer par une analyse des risques potentiels de TVP. Une décision initiale par l'équipe médicale devra être prise pour chaque patient en fonction des facteurs de risques cardiovasculaires qu'il présente. De plus, il sera essentiel de surveiller attentivement les signes et symptômes de la TVP lors de chaque séance de rééducation, ainsi que tout autre effet secondaire éventuel. Des critères de démarrage et d'arrêt des séances, présentés dans la partie *Matériel et Méthode*, ont été définis afin de renforcer cette surveillance.

1.3.2. Prothèse totale de genou chez la personne âgée

1.3.2.1. Épidémiologie

L'arthroplastie totale du genou est une intervention chirurgicale en augmentation constante depuis les dernières décennies. Environ 720 000 PTG ont été posées en 2019 en Europe et 113 600 en France en 2018, soit une augmentation de 32,2 % par rapport à 2012. En France, cette augmentation est marquée chez les séniors : la croissance est évaluée à 35 % chez les 65-74 ans et à 19 % chez les plus de 75 ans entre 2009 et 2019. Cette croissance devrait se poursuivre : une étude de 2022 projette plus de 150 000 PTG par an en France à l'horizon 2050 (10).

Cette augmentation s'explique principalement par l'augmentation de l'incidence de l'arthrose, due au vieillissement de la population et à l'obésité. L'augmentation de la sédentarité et la diminution de l'activité physique dans notre société actuelle jouent également un rôle majeur, la structure articulaire étant davantage sollicitée chez les individus présentant un déficit ou un déséquilibre musculaire. Par ailleurs, cette augmentation des poses de PTG

s'explique également par l'amélioration des techniques chirurgicales et des implants, facilitant la décision d'intervenir (10).

1.3.2.2. Principes d'intervention

L'arthrose primaire constitue la principale cause de la pose d'une prothèse de genou, surtout lorsque la douleur articulaire devient significative. Plus rarement, elle peut résulter d'autres pathologies, notamment post-traumatiques, métaboliques, ou endocrinianes. Cette condition invalidante se caractérise par une dégénérescence progressive du cartilage, se manifestant d'abord par des fissures, puis par des érosions qui peuvent atteindre l'os sous-chondral. Cliniquement, elle peut se traduire par des douleurs de type mécanique entraînant une perte fonctionnelle et une diminution de la qualité de vie. Le traitement chirurgical n'est envisagé qu'en cas d'échec des traitements conservateurs et médicamenteux réalisés en première intention (54).

Le principe de l'intervention de la pose d'une prothèse de genou consiste à remplacer les surfaces articulaires détériorées. Il existe deux grands types de prothèses de genou :

- La prothèse unicompartmentale (PUC) : qui substitue partiellement l'articulation fémoro-tibiale au niveau du compartiment médial ou latéral.
- La prothèse totale de genou (PTG) : qui remplace la totalité des surfaces articulaires. Aussi appelé prothèse tricompartimentale, elle comporte un implant fémoral (recouvrant la trochlée et les deux condyles), un implant tibial au niveau du plateau et, dans certains cas, un implant patellaire.

Pour la PTG, il existe deux types de prothèses :

- La prothèse à glissement : généralement posée en première intention, elle ne présente pas d'union entre l'implant fémoral et tibial. La stabilité de l'articulation est assurée par les ligaments périphériques du patient. Les ligaments croisés peuvent être sacrifiés, conservés partiellement ou totalement (55).
- La prothèse à charnière : elle comporte un moyen d'union entre les deux implants, assurant la stabilité de l'articulation. Elle est généralement préconisée lorsque les ligaments périphériques ne peuvent assurer la stabilité (54).

L'intervention chirurgicale dure en moyenne 90 minutes (56). De manière simplifiée, les principales étapes de l'intervention chirurgicale sont : un passage par une voie d'abord antéro-médiale ou antéro-latérale, la création d'un repérage osseux pour s'assurer de l'alignement articulaire, la réalisation d'une coupe fémorale distale et d'une coupe tibiale au

niveau du plateau, et enfin, la pose des implants. Ces implants prothétiques sont généralement en métal de type chrome-cobalt et sont fixés avec du ciment acrylique (55). La durée de vie des PTG est désormais estimée à environ 25 ans (57).

1.3.2.3. Risques et complications post-opératoires

En peropératoire, les complications les plus fréquentes sont une hémorragie par atteinte vasculaire, une lésion tendineuse ou nerveuse, et une fracture tibiale ou fémorale. En post-opératoire précoce, une infection de la zone opératoire, une TVP, une embolie pulmonaire, ainsi qu'une infection urinaire peuvent être présentes. Ces événements restent toutefois rares : l'infection sur le site opératoire représente 0,84 % (58), et l'événement thrombo-embolique 0,67 % des cas en France (59). Le déficit de force du quadriceps est la conséquence la plus fréquente durant la phase post-opératoire précoce. Après l'opération, le quadriceps subit une perte de force significative, perdant en moyenne entre 60 % et 80 % de sa capacité en raison du traumatisme chirurgical. La diminution de force résulte d'un mécanisme réflexe central connu sous le nom d'inhibition musculaire arthrogénique (AMI, en anglais), qui provoque ce déficit d'activation du quadriceps (60).

En post-opératoire tardif, le patient peut présenter une raideur articulaire, l'apparition d'un syndrome douloureux régional complexe (SDRC), une douleur persistante, ainsi qu'un descellement prothétique. Cette liste reste non exhaustive.

Les facteurs de risque engendrant des complications sévères sont l'âge (>75 ans), le sexe (prédominance masculine), la présence d'arythmie cardiaque et de maladie cérébrovasculaire (61). L'âge, comme facteur de risque, reste toutefois controversé dans la littérature. Kuperman *et al.*, à travers une méta-analyse, suggèrent que l'âge seul, indépendamment des facteurs de comorbidité, ne constitue pas un facteur de risque (62).

1.3.2.4. Principes de rééducation post-opératoire

Selon les recommandations de la HAS de 2008 (11), la rééducation post-opératoire se déroule en deux phases :

- La rééducation en phase aiguë : rééducation la plus précoce possible, visant à diminuer la douleur, à prévenir les troubles ventilatoires, trophiques et circulatoires, à restaurer les amplitudes articulaires, et à obtenir le verrouillage actif du genou.
- La rééducation secondaire : faisant suite à la phase aiguë, elle a pour principaux objectifs de diminuer les douleurs, d'améliorer le gain d'amplitude, d'obtenir le

contrôle et la stabilité du genou, de retrouver la fonctionnalité du membre inférieur, et de surveiller d'éventuelles complications.

À l'heure actuelle, il n'existe pas de programme de rééducation standard définissant la meilleure stratégie thérapeutique à appliquer. Une récente revue de la littérature conclut qu'actuellement, les techniques kinésithérapiques les plus efficaces dans le cadre de cette rééducation ne sont pas clairement identifiées (63). Les recommandations de la HAS de 2008 préconisent d'utiliser les techniques de rééducation suivantes :

- Massage dans un objectif circulatoire, antalgique et proprioceptif.
- Cryothérapie afin de réduire l'inflammation.
- Électrostimulation excitomotrice pour le réveil et la récupération de la force musculaire.
- Mobilisation passive manuelle et assistée par arthromoteur.
- Mobilisation active libre aidée et résistée.
- Myo-feedback pour favoriser le contrôle musculaire.
- Reprogrammation proprioceptive progressive.
- Rééducation fonctionnelle (déambulation, marche, transfert, équilibre).
- Balnéothérapie.
- Éducation thérapeutique du patient.

Plus récemment, aux États-Unis, l'American Physical Therapy Association (APTA) a publié en 2020 un guide de pratique clinique pour la rééducation de la prothèse totale de genou (64). Les techniques recommandées sont globalement semblables à celles présentes dans les recommandations de la HAS de 2008. Il préconise, par ailleurs, que les physiothérapeutes mettent en œuvre des programmes d'entraînement en force et d'exercices de haute intensité dès le début de la période post-aiguë (c'est-à-dire dans les sept jours suivant l'opération), afin d'améliorer la fonction, la force et l'amplitude de mouvement (64) : cadre dans lequel la rééducation sous BFR s'inscrit parfaitement.

Cette revue de la littérature a mis en évidence l'intérêt d'intégrer le BFR dans la rééducation post-opératoire d'une arthroplastie du genou. Cette technique semble donc favoriser la récupération de la force musculaire et de la trophicité, qui constituent des objectifs majeurs de cette rééducation. La partie suivante, intitulée *Matériel et Méthode*, expose la méthodologie adoptée pour traiter notre question de recherche. Elle commence par décrire le matériel de restriction utilisé ainsi que les modalités d'application identifiées dans la littérature. Ensuite, elle détaille le protocole établi ainsi que les critères d'évaluation retenus pour répondre à notre problématique.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. Type d'étude

Afin de répondre à notre question de recherche, une étude sur trois patients « cas cliniques » a été réalisée au centre de rééducation Florentin. Ce centre, situé à Nancy, est spécialisé dans la rééducation gériatrique. L'étude a été menée au sein de l'unité de soins médicaux et de réadaptation (SMR). Les critères de sélection des patients « cas cliniques » de ce mémoire sont présentés en partie 2.4.1.

Afin de pouvoir recueillir et traiter les données du dossier médical des patients, une déclaration de conformité à la MR-004 a été réalisée auprès de l'ILFMK (ANNEXE II). De plus, un accord préalable de la direction du centre a été obtenu afin de réaliser cette récupération des données et leur exploitation.

2.2. Stratégie de recherche documentaire

En amont de cette étude, une recherche documentaire a été réalisée. Cette recherche visait à faire un état des lieux des connaissances actuelles sur le BFR, ses indications, ses conditions de sécurité, ainsi que ses modalités et protocoles d'utilisation. Des recherches spécifiques ont été menées, notamment sur l'utilisation du BFR en rééducation post-opératoire du genou et chez la personne âgée. L'objectif principal de cette revue de la littérature était de proposer une prise en charge pertinente aux patients, basée sur les connaissances les plus récentes. Les recherches ont été réalisées entre février 2024 et décembre 2024. Pour trouver des articles répondant à notre problématique, les bases de données suivantes ont été interrogées : Medline PubMed, ScienceDirect, Ulysse, Kinédoc, le site de la Haute Autorité de Santé, Google Scholar, The Cochrane Library, et Physiotherapy Evidence Database (PEDro).

Différentes équations de recherche ont été élaborées à partir des mots-clés et des opérateurs booléens. Par exemple, pour rechercher les articles concernant le BFR et les personnes âgées, l'équation de recherche était la suivante : (« blood flow restriction » OR « kaatsu training ») AND (« older » OR « elderly »). Concernant la recherche sur le BFR et la prothèse de genou, l'équation était : (« Blood flow restriction » OR « kaatsu training ») AND (« total knee arthroplasty » OR « total knee replacement »). Pour chaque recherche, une première sélection a été faite à la lecture du titre, suivie de la lecture du résumé, puis d'un dernier filtre à la lecture de l'article dans son intégralité.

2.3. Matériel et modalités d'application

2.3.1. L'entreprise MAD-UP®

Le centre de rééducation Florentin a choisi de s'équiper en BFR auprès de l'entreprise MAD-UP®. Créée en 2018, cette entreprise basée à Angers est l'un des leaders sur le marché du BFR. Ce fournisseur a l'avantage de posséder un système de capteurs permettant de réguler la pression au cours de l'exercice. Sa technologie brevetée permet d'adapter la pression en temps réel à chaque contraction musculaire, maîtrisant ainsi la pression d'occlusion définie et sécurisant le dispositif. Par ailleurs, Nous déclarons n'avoir aucun lien d'intérêt, ni avoir reçu aucun financement par MAD-UP® pour la réalisation de cette étude.

2.3.2. Taille et positionnement du manchon

MAD-UP® a mis à disposition deux tailles de manchons (Medium et Large). La sélection de la taille se fait en fonction de la circonférence de la cuisse du patient. La largeur du manchon est de 12 cm. Il est à noter que plus la largeur du manchon est grande, plus la pression globale nécessaire est faible pour obtenir l'occlusion cible (37). Ce paramètre est important afin d'améliorer la perception de l'équipement par le patient. Cependant, la largeur du manchon ne doit pas gêner l'exécution du mouvement.

Concernant le positionnement, le manchon doit être appliqué sur la partie la plus proximale de la cuisse puis fixé fermement à l'aide du système d'attache (Fig. 1). Le connecteur du manchon doit toujours être placé sur le côté latéral ou antérieur du membre pour éviter que les tuyaux se plient ou gênent la réalisation de l'exercice.



Figure 1 : positionnement du manchon au niveau de la cuisse.

2.3.3. Modalités d'application

Dans la littérature, la pression d'occlusion artérielle (POA) recommandée est comprise entre 40 % et 80 % pour le membre inférieur. Patterson *et al.* ont rédigé un guide regroupant les principales lignes directrices à suivre pour optimiser la rééducation sous BFR (37). Pour un exercice sous BFR avec une faible résistance additionnelle, les auteurs préconisent une POA comprise entre 40 % et 80 % avec une résistance entre 20 % et 40 % de la 1 RM.

Pour paramétriser cette valeur de pression, une étape de calibrage individuelle de l'appareil est nécessaire. Cette étape se déroule avec le patient en décubitus dorsal. Ce calibrage se réalise au début de chaque séance. L'équipement MAD-UP® calcule d'abord la pression nécessaire, induite par le gonflement du manchon, pour atteindre 100 % d'occlusion. Une fois cette valeur obtenue, l'appareil se calibre en fonction du pourcentage de POA renseigné par le thérapeute. Une fois mis en place, l'équipement régule cette pression cible tout au long de l'exercice afin que la POA reste constante.

Pendant le temps de repos entre les séries, il est possible soit de maintenir la POA (mode continu), soit de dégonfler le manchon (mode intermittent). Quel que soit le mode utilisé, les résultats concernant la force et la trophicité musculaire restent inchangés selon la littérature (65). Le mode intermittent peut être une alternative si l'inconfort et la sensation d'effort perçus pendant l'exercice sont trop importants.

Afin de former et de guider les kinésithérapeutes dans l'installation et l'utilisation de l'équipement MAD-UP®, un livret d'instructions a été réalisé (ANNEXE III).

2.4. Protocole d'application

2.4.1. Critères de sélection des patients

Pour sélectionner les patients éligibles au BFR, une validation préliminaire a été effectuée par le médecin du service afin d'exclure toute contre-indication au BFR. Le consentement oral de chaque patient a été ensuite obtenu. Pour obtenir ce consentement libre et éclairé, un livret d'information spécifique au BFR a été créé et remis à chaque patient afin de leur expliquer le principe du BFR, son mode d'application ainsi que ses possibles effets secondaires (ANNEXE IV).

Les critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour sélectionner les patients dans le cadre de ce mémoire sont présentés dans le tableau suivant (Tab. II) :

Tableau II : critères d'inclusion et d'exclusion.

Critères d'inclusion	Critères de non-inclusion
Patient dont l'âge est supérieur à 60 ans.	Patient dont l'âge est inférieur à 60 ans.
Patient suivi au centre Florentin (SMR / HDJ) à la suite d'une pose de PTG unilatérale ou bilatérale.	Patient dont la rééducation sous BFR s'est terminée avant le 10/01/2025 (date butoir pour la rédaction du mémoire).
Patient ayant bénéficié d'une rééducation sous BFR dans un délai maximal de 2 semaines après l'intervention.	
Patient ayant bénéficié d'une rééducation sous BFR avec au minimum 3 séances par semaine.	

2.4.2. Phase de test préliminaire

Avant de démarrer le protocole de rééducation sous BFR, un test préliminaire a été réalisé pour chaque patient. L'objectif de ce test était de s'assurer des points principaux suivants :

- Que le patient soit apte à réaliser les exercices durant le protocole à venir.
- Que la perception du manchon durant la rééducation soit supportable par le patient.
- L'absence d'effets secondaires (évanouissement, hématomes sous-cutanés, courbatures, fatigue musculaire importante, signes de phlébite).

Ce test préliminaire a comporté deux exercices, à savoir :

- La réalisation de mobilisations en actif aidé du genou, patient en décubitus dorsal, durant deux séries de 1 minute sous occlusion.
- La réalisation de contractions dynamiques du quadriceps par des exercices d'extension de genou, en démarrant avec le genou fléchi au maximum de l'amplitude permise et en allant jusqu'à l'extension maximale tolérée par le patient, assis en bord de table (Fig. 2). Cet exercice a été effectué sans charge, selon le protocole défini en partie 2.4.3.2 : une première série de 30 répétitions, suivie de trois séries de 15 répétitions, avec 30 secondes de repos entre les séries. L'objectif était d'aligner au mieux ces conditions avec celles du protocole à venir.



Figure 2 : exercice d'extension de genou contre pesanteur du test préliminaire.

Pour réaliser ces deux exercices, la pression a été réglée à 30 % de la POA, avec une dépressurisation du manchon durant les temps de pause. Les critères de validation du test ont été, tout d'abord, l'évaluation de la perception de l'effort et de la douleur liée à l'équipement, à l'aide de l'échelle de Borg modifiée et de l'échelle numérique (EN). Le test est considéré comme invalide pour tout résultat supérieur ou égal à 8, valeur correspondant à une douleur « très sévère » et un effort « très dur » sur les échelles respectives. Le deuxième critère a été la détection d'effets secondaires pendant, après l'exercice et/ou à +48 heures. Une fiche explicative et une fiche d'évaluation du test préliminaire ont été élaborées afin de guider le praticien et d'enregistrer les résultats (ANNEXE V et ANNEXE VI).

Si le patient a validé ce test préliminaire, le protocole de rééducation sous BFR a alors été mis en place. Dans le cas contraire, le patient a suivi une rééducation sans BFR.

2.4.3. Description du protocole de rééducation

2.4.3.1. Durée et fréquence du protocole

Au cours de leur séjour au centre, chaque patient reçoit deux séances de rééducation par jour, cinq jours par semaine (sauf jours fériés). Le protocole sous BFR s'est déroulé durant ces temps de rééducation. Pour certains patients, le protocole a pu être poursuivi durant leur rééducation en hospitalisation de jour.

Au niveau de la fréquence, la rééducation sous BFR a été réalisée une fois par jour sur quatre jours par semaine afin de suivre les recommandations de Patterson *et al.* (37). Une séance sous BFR a duré en moyenne 10 à 15 minutes. Le démarrage de la rééducation sous

BFR s'est effectué dès la première semaine au centre après l'accord préalable du médecin et la validation du test préliminaire. Le protocole a duré durant tout le séjour du patient au centre. Cette durée a pu varier entre 2 semaines et 4 semaines selon la validation de sortie du patient.

2.4.3.2. Choix de la technique et d'exercice du protocole

Pour focaliser notre étude, une seule technique de BFR a été étudiée, à savoir l'exercice sous BFR avec des résistances légères additionnelles (LL-BFR). Le choix s'est porté sur cette technique car elle est la plus documentée dans la littérature, et ses résultats sur le gain de force et de trophicité musculaire ont été démontrés à plusieurs reprises. L'exercice choisi sous BFR a été la réalisation d'extensions de genou, exercice ciblant le renforcement musculaire du quadriceps en dynamique, permettant d'explorer toute l'amplitude disponible de l'articulation et ne nécessitant pas de matériel particulier. Le patient a été placé dans la même position que celle adoptée lors du test préliminaire précédemment évoqué.

Dans la littérature sur le LL-BFR, le schéma de séries et de répétitions le plus couramment utilisé est une première série de 30 répétitions suivie de trois séries de 15 répétitions (Fig. 3). La première série de 30 répétitions agit comme un « amorçage » en créant une hypoxie locale et démarrant le stress métabolique qui s'accentuera avec les séries suivantes. La vitesse d'exécution du mouvement a été de deux secondes en phase concentrique, suivie de deux secondes en phase excentrique. Un graphique ainsi qu'une indication sonore produits par l'équipement, ont permis de s'assurer de ce rythme et de donner un retour de l'exécution correcte du mouvement au patient. Le temps de repos entre chaque série a été défini à 30 secondes.



Figure 3 : schéma de séries et de répétitions du protocole.

2.4.3.3. Détermination de la POA et de la charge

Comme mentionné précédemment, les données de la littérature préconisent une POA comprise entre 40 % et 80 % ainsi qu'une charge comprise entre 20 % et 40 % de la 1 RM. Cependant, étant dans un cadre post-opératoire précoce, la détermination de la 1 RM n'a pu être envisageable, la douleur et l'inhibition du quadriceps limitant son approche. Afin d'adapter ces paramètres aux capacités et à la progression de chaque patient au cours de la

rééducation, un schéma progressif a été proposé pour guider le praticien dans l'évolution de ces deux paramètres au cours du protocole (Fig. 4). Ce schéma s'est déroulé en trois phases :

- Dans une première phase, l'exercice a été effectué uniquement contre la pesanteur, avec une pression de 40 %, correspondant à la pression minimale recommandée selon la littérature. La première étape a été réalisée avec une dépressurisation durant les temps de pause, tandis que la deuxième étape a maintenu la pressurisation, afin d'habituer progressivement le patient à la pression exercée par le manchon.
- Une deuxième phase s'est effectuée toujours contre la pesanteur, mais en augmentant progressivement la pression de +5 % à chaque étape jusqu'à atteindre une POA de 60 %. Le choix a été fait de ne pas dépasser les 60 % afin de limiter les facteurs de risque et l'inconfort du patient.
- La troisième phase consistait à appliquer une POA de 60 % tout en ajoutant une charge supplémentaire au niveau de la cheville. Un poids initial de 500 g a été utilisé, puis augmenté de 500 g à chaque étape.

Paramètres	Phase 1 Adaptation à la pression du BFR			Phase 2 Augmentation progressive de la POA (en palier de 5%)				Phase 3 Augmentation progressive de la charge additionnelle (en palier de 0,5 kg)		
	Test préliminaire	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4	Étape 5	Étape 6	Étape 7	Étape 8	Étape suivante
% POA	30%	40%	40%	45%	50%	55%	60%	60%	60%	60%
Pressurisation au repos	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Charge additionnelle (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1	+0,5

Figure 4 : schéma d'évolution des paramètres durant le protocole.

Pour valider le passage à l'étape suivante au fil des séances, trois critères ont été pris en compte, en complément de l'appréciation du thérapeute : la réalisation complète du nombre de répétitions (75 répétitions au total), l'intensité de la douleur et la perception de l'effort. Lorsque le premier critère était atteint, la validation de l'étape dépendait des niveaux de perception de l'effort et de la douleur rapportés par le patient. Si ces deux critères étaient évalués entre 0 et 6, l'étape était considérée comme validée, et la séance suivante se déroulait avec les nouveaux paramètres. En revanche, si l'un des deux était compris entre 7 et 8, la séance suivante se déroulait avec les mêmes paramètres.

Afin d'enregistrer les différents paramètres au cours des séances, une fiche de suivi a été créée (ANNEXE VII).

2.4.4. Critères de démarrage et d'arrêt de séance

Des critères de démarrage ainsi que d'arrêt de séance ont été définis afin de sécuriser au maximum la rééducation sous BFR (Tab. III).

Tableau III : critères de démarrage et d'arrêt de séance.

Critères de démarrage	Critères d'arrêt
Absence de signes de phlébite (perte du ballant du mollet, signe d'Homans positif).	Présence de signe de phlébite (perte du ballant, signe d'Homans positif).
Présence d'hématome sous-cutané.	Douleur insupportable.
Présence d'inflammation sur le membre traité.	Inconfort important lié à l'équipement.
Courbatures ou fatigue musculaire importantes.	Engourdissement, picotement.
Douleur importante relatée à la suite de la séance précédente.	Évanouissement.
Effets secondaires importants relatés à la suite de la séance précédente.	Tout signe pouvant être relié à une TVP (rougeur, chaleur, perte du ballant, Homans positif)

2.4.5. Critères de jugement

Afin de répondre à notre problématique et de déterminer la faisabilité d'une rééducation sous BFR dans ce cadre post-opératoire, des critères de jugement ont été définis.

2.4.5.1. Critères de jugement principaux

Afin de déterminer la faisabilité de cette rééducation sous BFR, deux paramètres ont été suivis durant les séances : la perception de l'effort et de la douleur. Ces deux indicateurs ont été évalués au cours de chaque séance par l'échelle numérique d'évaluation de la douleur (EN) et l'échelle de Borg modifiée, deux échelles validées par la HAS (66,67).

De plus, un premier questionnaire a été élaboré pour recueillir l'avis et le ressenti global du patient en fin de sa rééducation. Un deuxième a été conçu pour le kinésithérapeute afin d'évaluer son analyse et son retour d'expérience de l'équipement. Ces questionnaires ont été remplis lors de la dernière séance par les patients et thérapeutes. Ils ont été réalisés sous forme de questionnaire dirigé afin de s'assurer de la compréhension du questionnaire et de permettre une discussion autour du BFR et de leur expérience (ANNEXE VIII).

2.4.5.1. Critères de jugement secondaires

Afin d'approcher l'intérêt clinique du BFR, la force musculaire du quadriceps et la trophicité musculaire de la cuisse ont été retenues comme indicateurs et critères secondaires. En raison de notre type d'étude, des résultats statistiquement significatifs ne pourront pas être obtenus, en raison de l'absence d'un groupe contrôle et du faible nombre de cas étudiés. Cependant, ces données restent essentielles en tant qu'indicateurs de suivi et permettront d'obtenir des tendances sur ces deux critères.

La force musculaire maximale du quadriceps a été mesurée par l'extension maximale isométrique du genou à l'aide d'un dynamomètre mécanique. La position du patient a été standardisée de la manière suivante : position assis bout de table, genou fléchi à 90° avec un coussin au niveau du creux poplité (Fig. 5). Si la flexion à 90° n'était pas permise, la mesure a été faite à l'angle de flexion maximale tolérée par le patient. Le même angle de flexion a été gardé pour la mesure en fin de protocole. Un bottillon a été positionné sur le membre, relié au dynamomètre par une bande inélastique. Le patient a réalisé une contraction isométrique maximale de 5 secondes. Trois mesures ont été prises, avec une minute d'intervalle entre chaque, et la meilleure a été enregistrée en kilogrammes.



Figure 5 : installation pour la mesure de force du quadriceps.

La mesure échographique n'étant pas disponible, la trophicité musculaire a été estimée par une mesure de la circonférence de la cuisse, prise à 10 cm et 15 cm de la base de la patella.

Ces évaluations de trophicité et de force musculaire ont été planifiées avant la première séance, en début de la neuvième séance (milieu du protocole) et à la séance suivant la fin du protocole (4 semaines) ou avant la sortie définitive du patient.

2.4.6. Schéma récapitulatif du protocole

Pour résumer le protocole de l'étude, une schématisation récapitulative est présentée ci-dessous (Fig. 6).

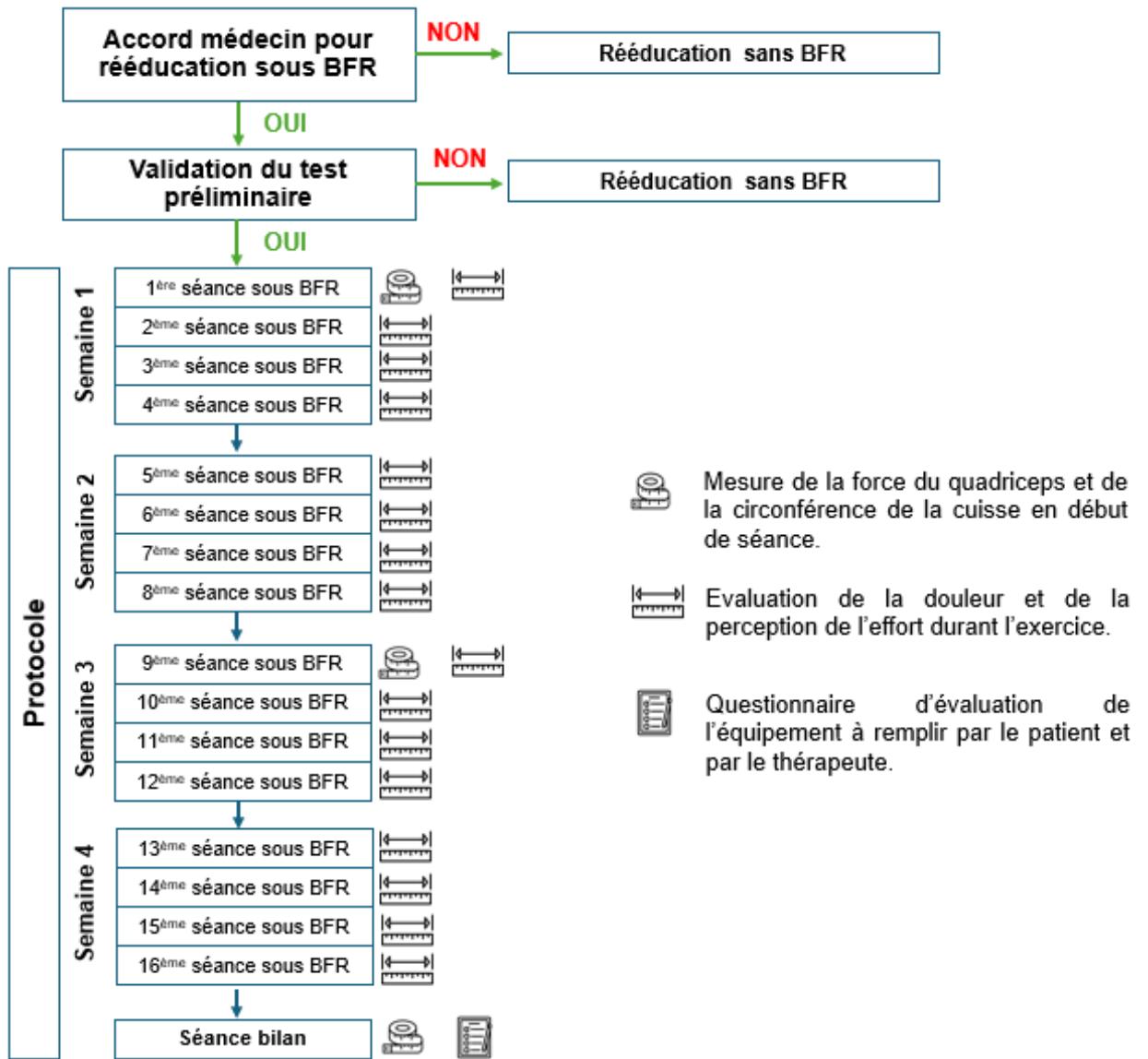


Figure 6 : schéma récapitulatif du protocole.

3. RÉSULTATS

3.1. Population intégrée dans le protocole

L'équipement de BFR a été réceptionné au centre le 31/10/2024. En date du 10/01/2025, qui marquait la clôture de l'inclusion des patients dans l'étude, trois patients ont pu bénéficier d'une rééducation sous BFR. Les trois patients répondant aux critères d'inclusion établis ont été intégrés dans l'analyse du mémoire. Les résultats exposés dans les sections suivantes se basent exclusivement sur ces trois patients « cas cliniques ».

Afin de faciliter la lecture et d'améliorer la compréhension des résultats, des prénoms fictifs ont été attribués aux trois patients. Ces prénoms ont été sélectionnés en fonction de l'âge des patients, en s'appuyant sur les prénoms les plus populaires dans leur décennie de naissance. Un outil en ligne développé par l'INSEE et basé sur le Fichier des prénoms a été utilisé pour cette sélection (68). Pour le cas clinique n°1, la patiente née en 1961 est désignée sous le prénom fictif de Sylvie. Pour le cas clinique n°2, la patiente née en 1963 est appelée Isabelle. Puis pour le cas clinique n°3, le patient né en 1959 est identifié sous le nom de Philippe.

3.2. Étude du cas clinique n°1

3.2.1. Présentation du patient

La première patiente, Sylvie, est âgée de 63 ans. Elle mesure 173 cm et pèse 88 kg, correspondant à un IMC (Indice de Masse Corporelle) de 29,3. Sylvie a été admise au centre le 26/11/2024, à la suite de la mise en place d'une prothèse totale de première intention au niveau de son genou droit. L'intervention chirurgicale a été réalisée le 22/11/2024, soit quatre jours avant son entrée en SMR. À son admission, Sylvie suivait un traitement médicamenteux incluant un antithrombotique et un antalgique puissant (morphinique).

Lors de son bilan initial, les amplitudes articulaires de son genou droit étaient mesurées à 70/35/0 en actif et 85/10/0 en passif, accompagnées d'une douleur localisée sur les faces postérieure et médiale évaluée à 3/10.

L'accord du médecin ainsi que le consentement oral de la patiente, obtenu après remise et lecture du livret d'information relatif à la rééducation sous BFR, ont été recueillis le 27/11/2024.

3.2.2. Résultat du test préliminaire

Le test préliminaire de Sylvie a été réalisé le 28/11/2024, soit six jours après son opération. La douleur initiale, évaluée à 3/10 avant le test, était localisée sur les faces postérieure et médiale du genou droit.

Les deux exercices du test préliminaire ont été réalisés dans leur intégralité avec une occlusion de 30 %. La perception de l'effort durant le test préliminaire a été évaluée à 3/10 pour le premier exercice et 6/10 pour le second. La douleur ressentie a été évaluée à 2/10 lors du premier exercice et à 5/10 lors du second. Sylvie a rapporté une sensation de compression, décrite comme "être dans un étau", en fin de second exercice, tout en précisant que cette sensation restait supportable. Par ailleurs, aucun effet secondaire n'a été observé, ni pendant l'exercice ni après. Le test préliminaire a ainsi été validé.

3.2.3. Évaluation de la douleur et de la perception de l'effort

Sylvie a débuté ses séances de rééducation sous BFR après la validation du test préliminaire. Au total, douze séances de rééducation sous BFR ont pu être réalisées entre le 02/12/2024 et le 20/12/2024, date de sa sortie.

Durant ces douze séances, la douleur et la perception de l'effort ont été évaluées par la patiente (Fig. 7). En fonction de ces deux critères, les paramètres de POA et de charge additionnelle ont été ajustés tout au long du protocole (Fig. 8).

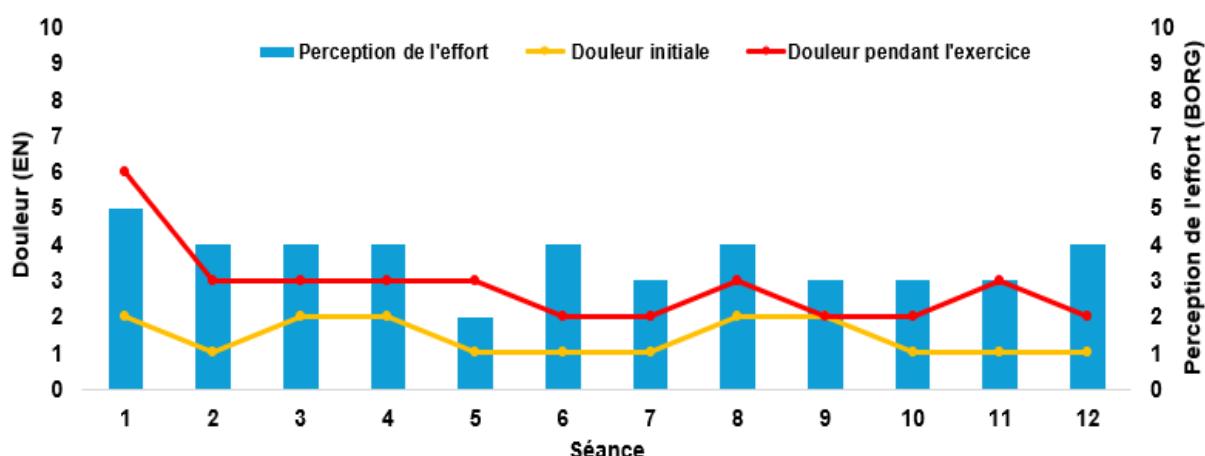


Figure 7 : perception de l'effort et de la douleur de Sylvie durant les séances.

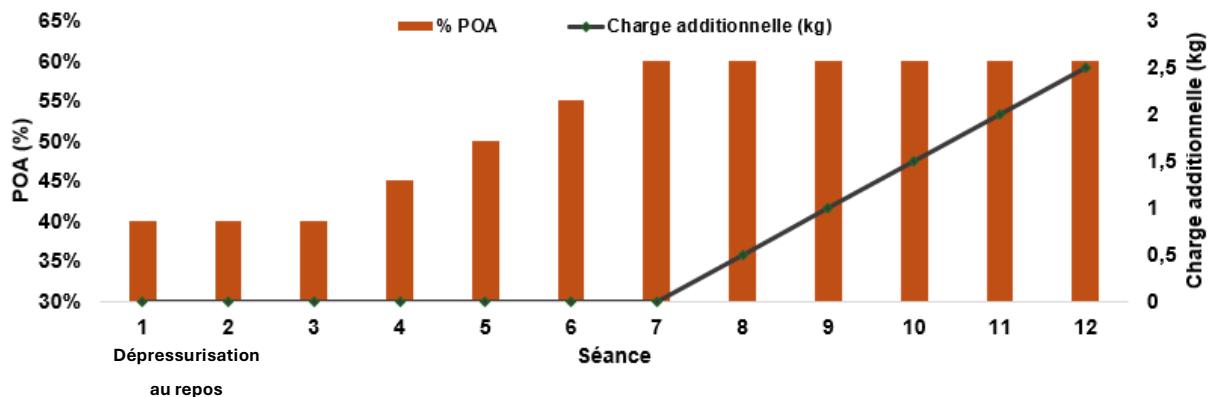


Figure 8 : évolution des paramètres de POA et de charge additionnelle de Sylvie.

La perception de l'effort a varié entre 2 et 5/10, tandis que la douleur a été notée entre 2 et 6/10. Les valeurs maximales pour ces deux critères ont été atteintes une seule fois au cours du protocole, spécifiquement lors de la première séance. Le seuil critique de 8/10 n'a jamais été atteint durant les séances. En ce qui concerne la réalisation des exercices, les 75 répétitions prévues ont été systématiquement atteintes à chaque séance. Par conséquent, les paramètres de POA et de charge additionnelle ont suivi le schéma établi dans la section *Matériel et Méthode* (cf. Fig. 4). Cependant, en raison des valeurs élevées observées lors de la première séance (perception de la douleur à 6/10 et effort perçu à 5/10), la deuxième séance a été conduite avec les mêmes paramètres que la première (POA à 40 %, absence de charge additionnelle, et dépressurisation au repos), par mesure de précaution.

Un tableau récapitulatif détaillant l'ensemble des valeurs mesurées, des paramètres appliqués et des remarques consignées pour chaque séance de Sylvie est disponible en ANNEXE IX.

3.2.4. Évaluation de la force du quadriceps

L'évaluation initiale de la force du quadriceps a été réalisée le 02/12/2024 en amont de la première séance. Le bilan final a été réalisé le 17/12/2024, après dix séances, en raison de contraintes organisationnelles. En raison du délai réduit, le bilan intermédiaire n'a pas été effectué.

La force du quadriceps a été mesurée à une flexion de 70°, amplitude maximale disponible lors du bilan initial (Fig. 9).

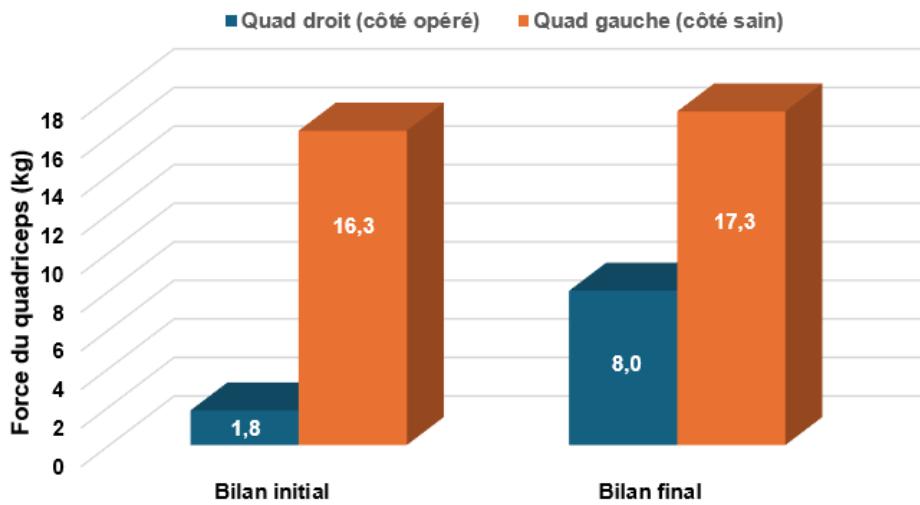


Figure 9 : évolution de la force du quadriceps de Sylvie (70° de flexion).

Lors du bilan initial, la force du quadriceps droit a été mesurée à 1,8 kg, correspondant à 11 % de la force du côté controlatéral. Au bilan final, la force du quadriceps droit a été évaluée à 8,0 kg, représentant un gain d'environ 340 % et atteignant 46 % de la force du côté sain.

3.2.5. Évaluation de la circonférence de la cuisse

La circonférence de la cuisse a été mesurée lors du même bilan que celui de la force du quadriceps. Les résultats, présentés ci-dessous (Fig. 10), illustrent la différence de circonférence entre le membre droit (opéré) et le membre gauche (sain).

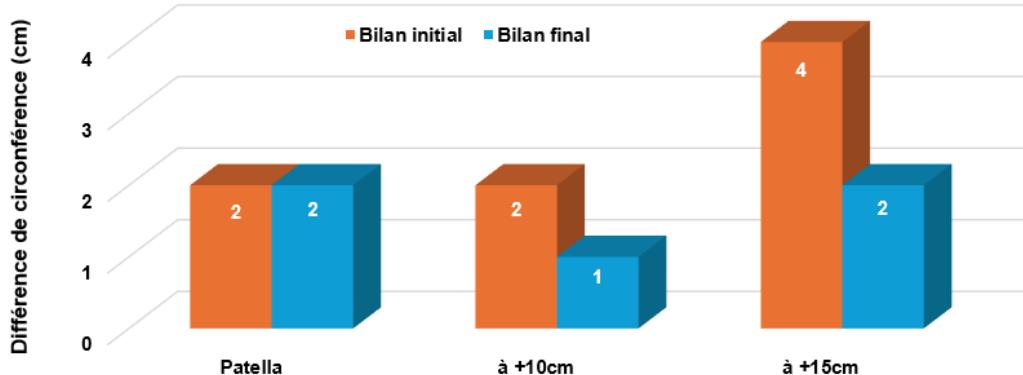


Figure 10 : évolution de la circonférence de la cuisse de Sylvie.

Lors du bilan initial, le membre opéré présentait une circonférence supérieure de 2 cm au niveau de la patella et à 10 cm au-dessus de sa base. Cette différence était plus prononcée à 15 cm au-dessus de la base de la patella, atteignant 4 cm. Au bilan final, la différence de circonférence a été réduite de moitié à 10 cm et 15 cm au-dessus de la patella, tandis qu'elle est restée inchangée au niveau de la patella.

3.2.6. Questionnaire de retour d'expérience

Le questionnaire dirigé de Sylvie a été réalisé le 17/12/2024 au terme de la dixième séance. En ce qui concerne la facilité à supporter le BFR et à réaliser l'exercice, Sylvie a indiqué être « plutôt d'accord » avec ces deux affirmations. Elle explique que l'exercice peut sembler complexe au départ, notamment en ce qui concerne le suivi de la cadence. Cependant, la répétition du même exercice d'une séance à l'autre permet de s'y habituer progressivement et de maîtriser cette rythmicité. Sylvie ajoute que la régularité dans l'exécution de cet exercice favorise également un dépassement de soi par un renforcement de la confiance au fil des séances.

En ce qui concerne l'occlusion, elle mentionne avoir ressenti une certaine appréhension initiale. Toutefois, les explications fournies par le thérapeute, ainsi que l'augmentation progressive de la pression, lui ont permis de développer une confiance au fil des séances. Finalement, elle note qu'elle parvenait à faire abstraction de la pression en se concentrant pleinement sur l'exercice et sur sa respiration.

En ce qui concerne les douleurs, Sylvie a répondu « pas d'accord » à la question relative à la survenue de douleurs pendant les séances, et « plutôt pas d'accord » pour celles ressenties après les séances. Par ailleurs, aucune fatigue musculaire importante après les séances n'a été signalée, comme en témoigne la réponse « pas du tout d'accord ».

Enfin, la satisfaction globale à l'égard de la rééducation avec le BFR a été évaluée comme « tout à fait satisfaisante ». De plus, Sylvie affirme être « tout à fait d'accord » pour réutiliser le BFR dans le cadre d'une autre rééducation.

3.3. Étude du cas clinique n°2

3.3.1. Présentation du patient

La deuxième patiente, Isabelle, est âgée de 61 ans. Elle mesure 170 cm et pèse 72 kg (IMC de 24,9). Isabelle a été admise au centre le 05/12/2024 à la suite de la pose d'une PTG à droite, prothèse de première intention. L'intervention a eu lieu le 02/12/2024, soit trois jours avant son arrivée au centre. À son admission, Isabelle suivait un traitement médicamenteux comprenant un antithrombotique et un antalgique (paracétamol). Lors du bilan initial, les amplitudes articulaires de son genou droit étaient de 60/25/0 en actif et de 65/0/0 en passif. La douleur, localisée sur la face antérieure du genou au niveau de la cicatrice, était évaluée à 2/10.

L'accord du médecin ainsi que le consentement oral de la patiente, recueilli après la remise et l'explication du livret d'information sur la rééducation sous BFR, ont été obtenus le 06/12/2024.

3.3.2. Résultat du test préliminaire

Le test préliminaire d'Isabelle a été réalisé le 09/12/2024, soit sept jours après son intervention chirurgicale. La douleur initiale, avant le test, a été évaluée à 2/10 et était localisée sur la face antérieure du genou droit, en regard de la cicatrice.

Les deux exercices du test préliminaire ont été effectués dans leur intégralité avec un taux d'occlusion de 30 %. La perception de l'effort a été notée à 3/10 pour le premier exercice et à 4/10 pour le second. En ce qui concerne la douleur, elle a été évaluée à 3/10 lors du premier exercice et à 4/10 lors du second.

Aucune remarque particulière n'a été formulée au cours de ce test. De plus, aucun effet secondaire n'a été observé, ni pendant les exercices ni après. Le test préliminaire a ainsi été validé.

3.3.3. Évaluation de la perception de l'effort et de la douleur

Isabelle a donc démarré ses séances de rééducation sous BFR à la suite de la validation du test préliminaire. Seulement sept séances de rééducation sous BFR ont pu être réalisées entre le 10/12/2024 et le 20/12/2024, date de sa sortie.

Les évaluations de la douleur et de la perception de l'effort durant ces sept séances sont présentées ci-dessous (Fig. 11). En fonction de ces deux critères, les paramètres de POA et de charge additionnelle ont été ajustés durant le protocole (Fig. 12).

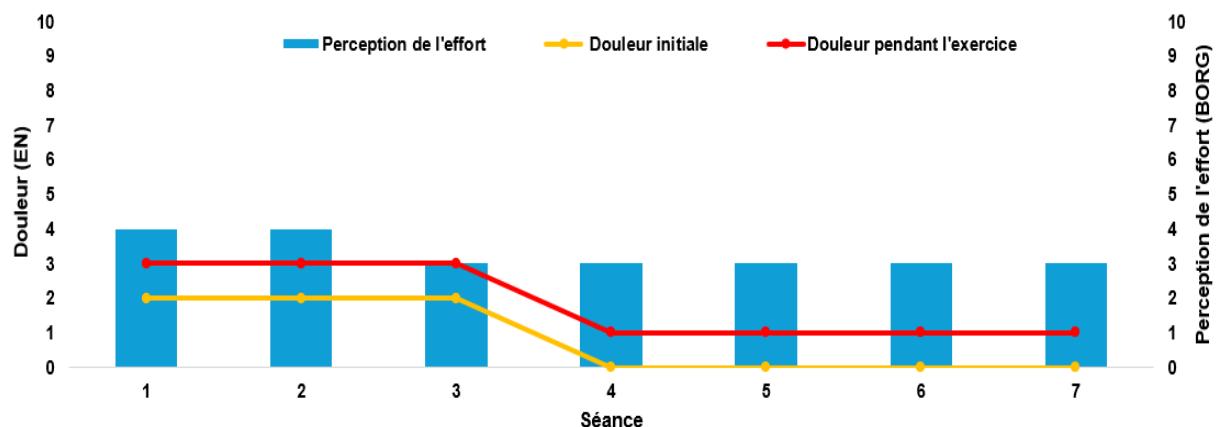


Figure 11 : perception de l'effort et de la douleur d'Isabelle durant les séances.

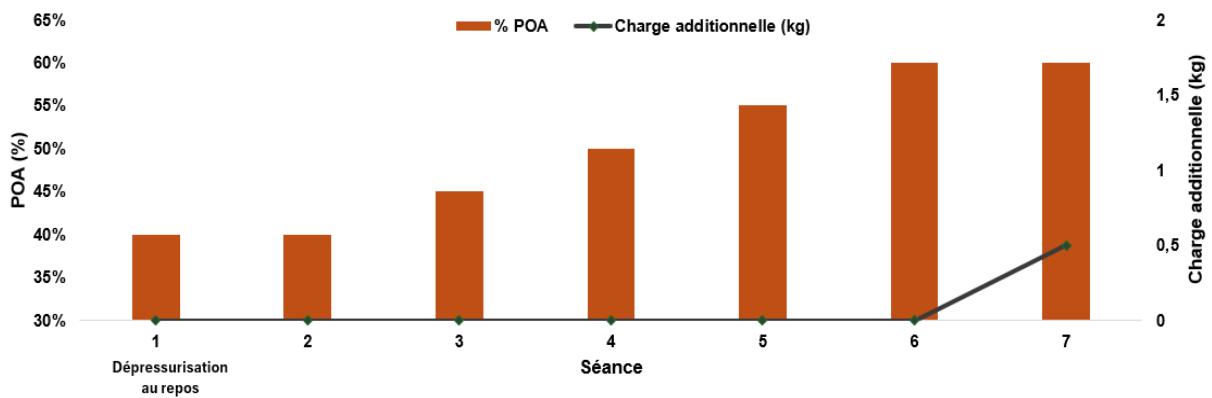


Figure 12 : évolution des paramètres de POA et de charge additionnelle d'Isabelle.

Concernant la douleur, Isabelle l'a évaluée à 3/10 lors des trois premières séances, puis à 2/10 pour les séances suivantes. Cette évaluation était systématiquement supérieure d'un point à la valeur de douleur initiale. La perception de l'effort a été notée à 4/10 pour les deux premières séances, puis réduite à 3/10 pour les suivantes. Les 75 répétitions de l'exercice ont été réalisées avec succès lors de chaque séance. Le protocole a ainsi suivi le schéma d'évolution défini initialement, incluant une mise en charge de 500 g introduite lors de la septième et dernière séance, juste avant la sortie de la patiente. Un tableau récapitulatif détaillant l'ensemble des valeurs de séance d'Isabelle est disponible en ANNEXE IX.

3.3.4. Évaluation de la force du quadriceps

L'évaluation initiale de la force du quadriceps a été réalisée le 09/12/2024. Le bilan final a été réalisé le 19/12/2024, soit après six séances, pour des raisons organisationnelles. Au vu du court temps de séjour au centre, le bilan intermédiaire n'a pas été réalisé.

La force du quadriceps a été mesurée à une flexion de 60°, correspondant à l'amplitude maximale disponible lors du bilan initial. Les résultats de la force du quadriceps sont illustrés ci-dessous (Fig. 13).

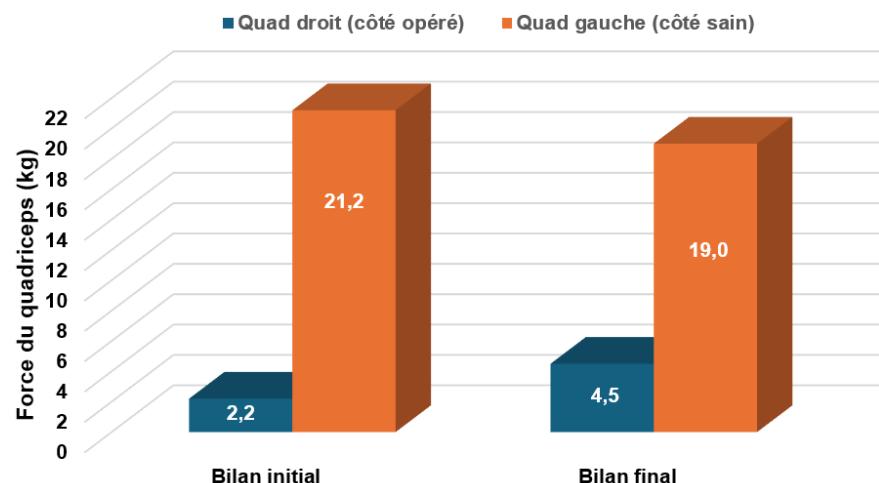


Figure 13 : évolution de la force du quadriceps d'Isabelle (60° de flexion).

Lors du bilan initial, la force du quadriceps droit a été mesurée à 2,2 kg, représentant 10 % de la force du côté controlatéral. Lors du bilan final, la force a été évaluée à 4,5 kg, représentant un gain d'environ 105 %, atteignant 24 % de la force du côté sain.

3.3.5. Évaluation de la circonférence de la cuisse

La circonférence de la cuisse a été mesurée lors du même bilan que celui de la force du quadriceps. Les résultats, présentés ci-dessous (Fig. 14), montrent la différence de circonférence entre le membre droit (opéré) et le membre gauche (sain).

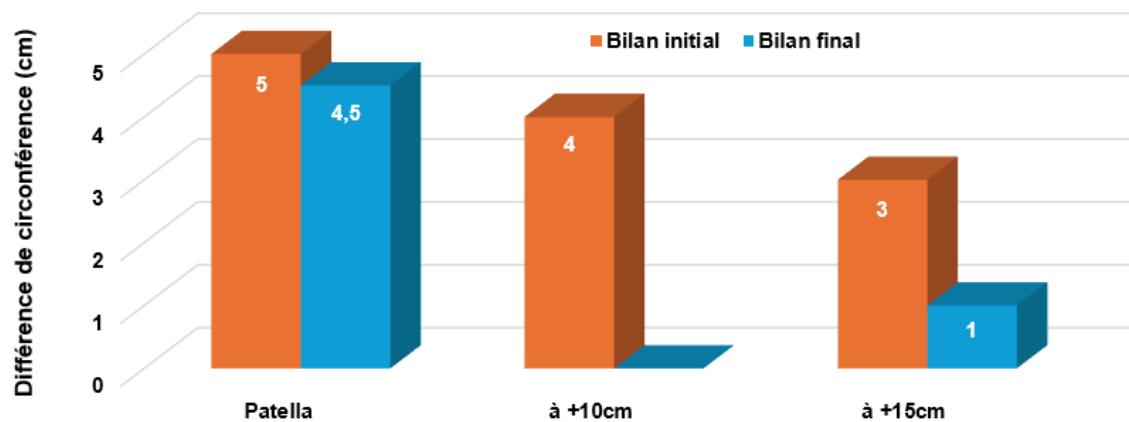


Figure 14 : évolution de la circonférence de la cuisse d'Isabelle.

Lors du bilan initial, le membre opéré présentait une circonférence supérieure de 5 cm, 4 cm et 3 cm aux points de mesure respectifs. Au bilan final, la différence de circonférence est restée identique au niveau de la patella, et s'est fortement réduite à +10 cm (identique au côté sain) et à +15 cm (1 cm de plus que le côté sain).

3.3.6. Questionnaire de retour d'expérience

Le questionnaire dirigé d'Isabelle a été réalisé le 17/12/2024. Le BFR a été jugé facile à supporter, avec une réponse indiquant un « accord total ». Cependant, elle précise qu'elle a ressenti une légère gêne lors de la première séance par le positionnement du brassard. Cette gêne n'a pas été présente sur les séances suivantes. Concernant la calibration, elle évoque une sensation équivalente à une « prise de tension » tout à fait supportable. L'exercice a également été considéré comme facilement réalisable, avec un « accord » exprimé. Elle indique que le temps de sa réalisation est correct et par ce fait atteignable. Elle souligne qu'elle trouve judicieux de réaliser cet exercice sous BFR en début de séance, lui permettant d'avoir suffisamment de force pour réaliser les 75 répétitions.

Concernant les douleurs pendant les séances, aucune douleur importante n'a été signalée, la réponse étant « pas d'accord ». De même, aucune douleur après les séances n'a été ressentie, avec un avis de « pas du tout d'accord ». Quant à la fatigue musculaire après les séances, cela n'a pas été un problème, Isabelle ayant répondu « pas du tout d'accord » à la question.

En termes de satisfaction globale, la rééducation avec le BFR a été jugée satisfaisante. Enfin, pour la perspective d'une future utilisation du BFR dans une autre rééducation, Isabelle a répondu qu'elle serait « tout à fait d'accord ».

3.4. Étude du cas clinique n°3

3.4.1. Présentation du patient

Le troisième patient, Philippe, est âgé de 67 ans. Il mesure 178 cm et pèse 89 kg pour un IMC de 28,1. Philippe a été admis au centre le 04/12/2024 à la suite d'une pose de PTG bilatérale de première intention. L'opération a eu lieu le 28/11/2024, soit six jours avant son admission. Philippe était sous traitement médicamenteux comprenant un antithrombotique et un antalgique (opioïde).

Lors du bilan initial, les amplitudes articulaires du genou droit de Philippe étaient de 90/30/0 en actif et de 95/15/0 en passif. Pour le genou gauche, les amplitudes étaient de 90/35/0 en actif et de 95/10/0 en passif. Une douleur initiale, localisée sur la face antérieure du genou droit au niveau de la cicatrice, était évaluée à 3/10.

L'accord du médecin ainsi que le consentement oral de Philippe, recueillis après la remise et l'explication du livret d'information relatif à la rééducation sous BFR, ont été obtenus le 06/12/2024.

3.4.2. Résultat du test préliminaire

Le test préliminaire a été réalisé le 09/12/2024, soit onze jours après son opération. La douleur initiale, avant le test, a été évaluée à 3/10 et localisée principalement sur la face antérieure du genou droit, au niveau de la cicatrice.

Les deux exercices du test préliminaire ont été réalisés dans leur intégralité, avec une occlusion de 30 %. La perception de l'effort lors du test préliminaire a été évaluée à 5/10 pour les deux genoux et les deux exercices. La douleur a été évaluée à 4/10 pour les deux genoux

et les deux exercices. Aucun effet secondaire n'a été observé, ni pendant l'exercice ni après. Le test préliminaire a donc pu être validé également pour Philippe.

3.4.3. Évaluation de la perception de l'effort et de la douleur

Philippe a débuté ses séances de rééducation sous BFR le lendemain du test préliminaire. Un total de douze séances de rééducation sous BFR a pu être réalisé entre le 10/12/2024 et le 30/12/2024. Philippe est sorti du centre le 31/12/2024. Cependant, sa rééducation s'est poursuivie au centre, en hospitalisation de jour, à partir du 06/01/2025. Les résultats suivants se limitent exclusivement à sa période de rééducation avant le début de l'hospitalisation de jour.

Les évaluations de la douleur et de la perception de l'effort au cours de ces douze séances sont illustrées ci-dessous (Fig. 15) pour chaque membre. Sur la base de ces deux critères, les paramètres de POA et de charges additionnelles ont été ajustés tout au long du protocole (Fig. 16).

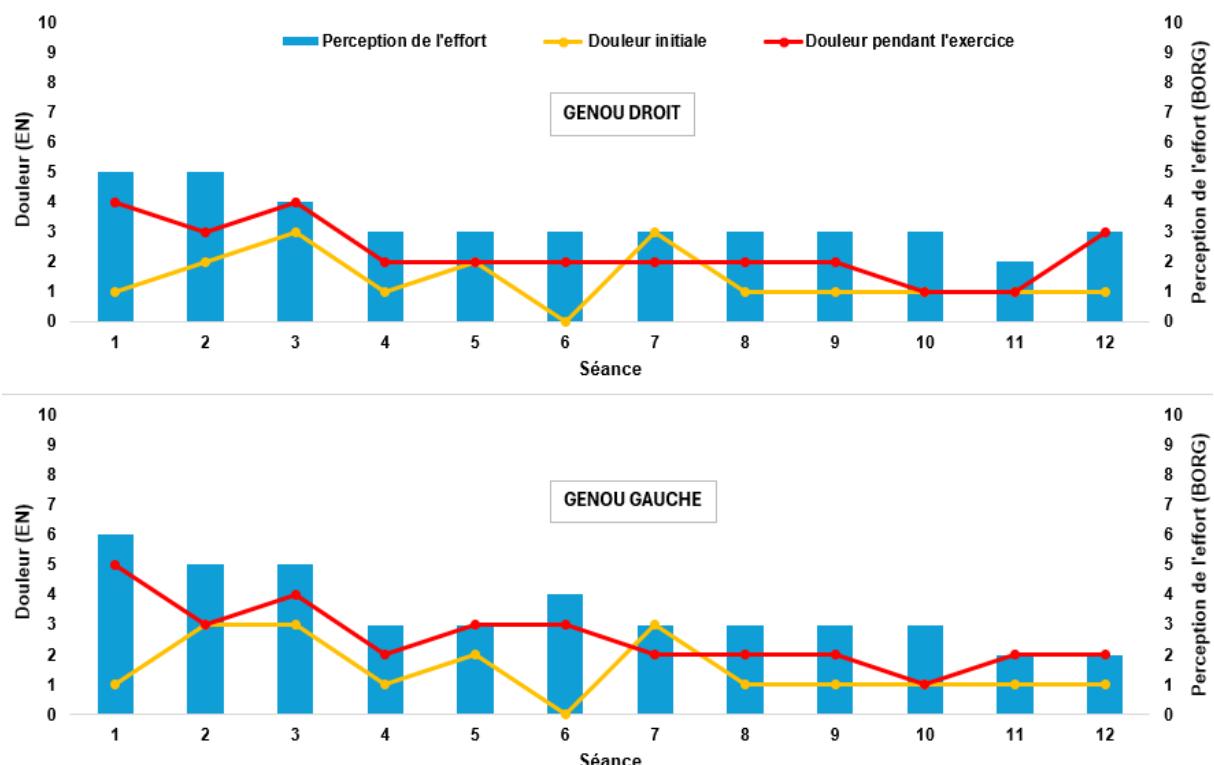


Figure 15 : perception de l'effort et de la douleur de Philippe durant les séances.

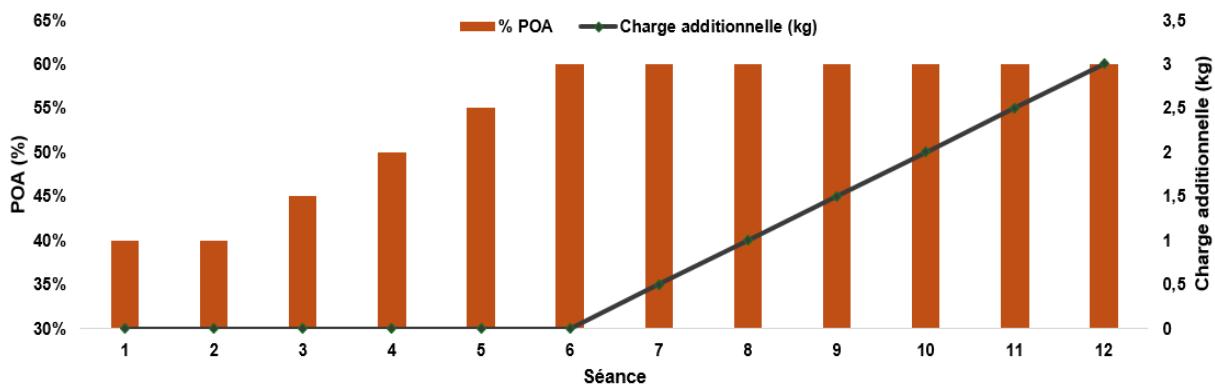


Figure 16 : évolution des paramètres de POA et de charge additionnelle de Philippe.

Concernant la douleur, Philippe l'a évaluée à 5/10 au maximum pour le genou gauche lors de la première séance et à 4/10 pour le genou droit lors des première et troisième séances. À partir de la quatrième séance, l'évaluation de la douleur a varié entre 1 et 3/10 pour les deux genoux lors des séances suivantes. La perception de l'effort a été notée au maximum entre 5 et 6/10 pour le genou gauche et entre 4 et 5/10 pour le genou droit lors des trois premières séances. Lors des séances suivantes, l'effort a été perçu de manière moins intense, oscillant entre 2 et 4/10. Par ailleurs, les 75 répétitions de l'exercice ont été réalisées à chaque séance. Le protocole a ainsi respecté le schéma d'évolution initialement prédefini, avec une mise en charge introduite lors de la septième séance (500 g), augmentant progressivement jusqu'à atteindre 3 kg à la dernière séance. Un tableau récapitulatif détaillant l'ensemble des valeurs de séance de Philippe est disponible en ANNEXE IX.

3.4.4. Évaluation de la force du quadriceps

L'évaluation initiale de la force du quadriceps a été réalisée le 09/12/2024, avant la première séance. Le bilan final a été réalisé le 24/12/2024, avant la neuvième séance. Initialement prévu comme bilan intermédiaire, ce bilan a été considéré comme le bilan final. En raison de contraintes organisationnelles et du fait que le patient n'a suivi que trois séances supplémentaires avant sa sortie, nous avons estimé que les résultats seraient comparables.

La force du quadriceps a été mesurée à un angle de flexion de 90° (Fig. 17). Dans le cadre de cette prothétisation bilatérale, les résultats sont présentés pour chaque membre en comparant les forces mesurées au bilan initial et au bilan final.

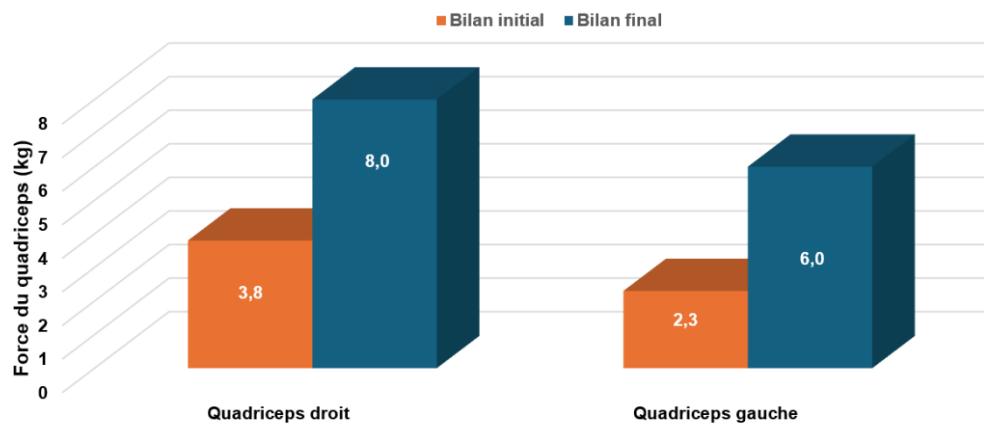


Figure 17 : évolution de la force du quadriceps de Philippe (90° de flexion).

Les mesures indiquent un gain de force de 4,2 kg, soit une augmentation de 110 % pour le côté droit. Pour le côté gauche, le gain a été estimé à 3,7 kg, correspondant à une amélioration de 160 %.

3.4.5. Évaluation de la circonférence de la cuisse

La circonférence de la cuisse a été mesurée lors du même bilan que celui de la force du quadriceps. Comme pour la force du quadriceps, la prothétisation bilatérale n'a pas permis d'effectuer une comparaison avec le côté non opéré. Ainsi, les résultats montrent les différences de circonférence pour chaque zone et chaque membre entre le bilan initial et le bilan final (Fig. 18).

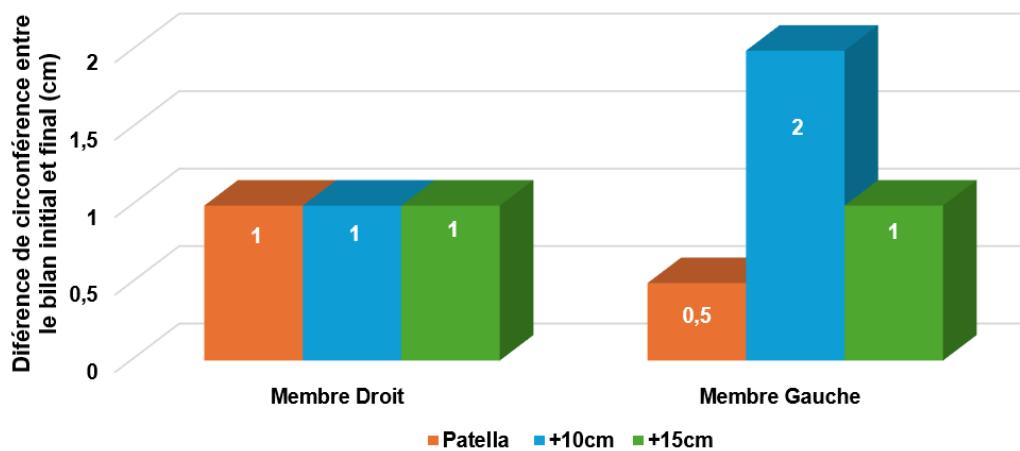


Figure 18 : évolution de la circonférence de la cuisse de Philippe.

Les mesures révèlent une diminution de 1 cm de la circonférence sur les trois zones de la cuisse droite entre les deux bilans. Les résultats sont moins homogènes pour la cuisse gauche, bien qu'ils montrent une diminution de circonférence : 0,5 cm au niveau de la patella, 2 cm à +10 cm, et 1 cm à +15 cm de la base de la patella.

3.4.6. Questionnaire de retour d'expérience

Le questionnaire dirigé de Philippe a été réalisé le 30/12/2024, à la fin de sa douzième séance.

Le BFR a été perçu comme facile à supporter par Phillippe, avec une réponse de « tout à fait d'accord ». La pression générée par le manchon n'a pas été dérangeante. Les exercices associés au BFR ont été évalués comme étant facilement réalisables, avec une réponse de « d'accord ». Il précise que l'augmentation progressive des différents paramètres durant sa rééducation a permis une difficulté croissante lui permettant tout de même d'atteindre le nombre de répétitions requises.

En ce qui concerne les douleurs pendant les séances, la réponse a été « pas d'accord ». Il signale que la douleur était présente lors des premières séances au niveau de la rotule mais pas au niveau du manchon. Cette douleur s'est amoindrie au fur et à mesure des séances. Pour les douleurs ressenties après les séances, la réponse a été « pas du tout d'accord ». De même, aucune fatigue musculaire importante n'a été rapportée après les séances, la réponse étant « pas du tout d'accord ». Il signale tout de même qu'une fatigue musculaire a été ressentie durant l'exercice, mais dans des proportions supportables.

Enfin, la satisfaction globale vis-à-vis de la rééducation avec le BFR a été exprimée par une réponse de « satisfait ». À la question relative à la réutilisation du BFR pour une autre rééducation, la réponse obtenue a été « d'accord ».

3.5. Synthèse des résultats des cas cliniques

Cette partie vise à offrir une vue d'ensemble des critères de jugement des trois patients « cas cliniques » présentés précédemment, afin de permettre leur comparaison.

3.5.1. Critères de jugements principaux

3.5.1.1. Perception de l'effort et de la douleur

Les graphiques suivants représentent l'évaluation de la douleur (Fig. 19) et de la perception de l'effort (Fig. 20) au fil des séances pour les trois patients.

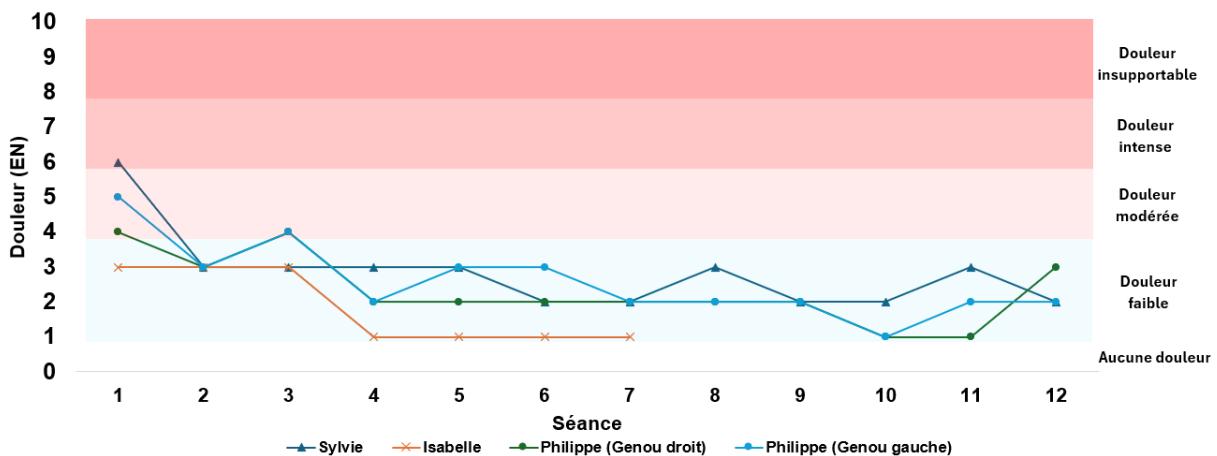


Figure 19 : évaluation de la douleur des trois patients au cours des séances

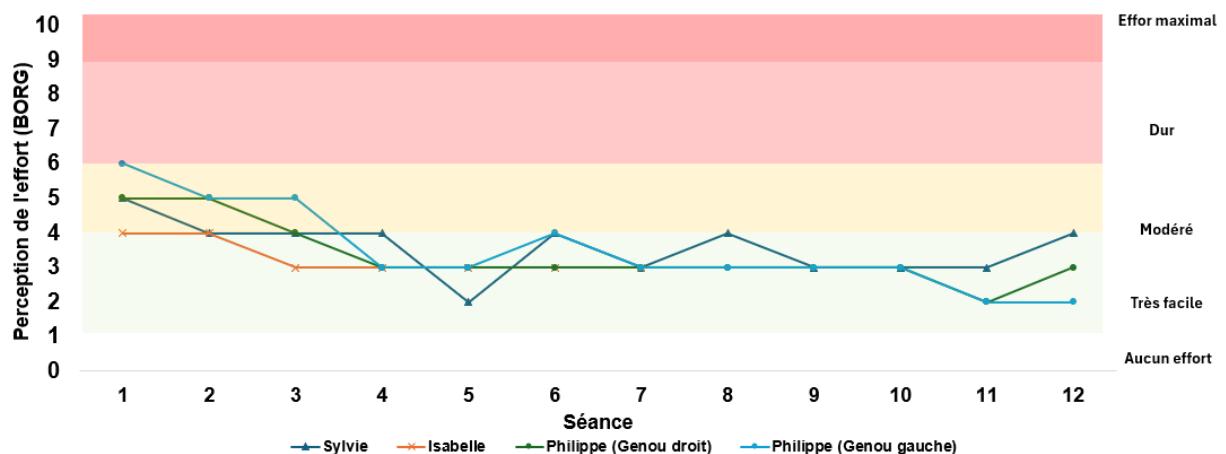


Figure 20 : évaluation de la perception de l'effort des trois patients au cours des séances

Concernant la douleur, une intensité maximale a été observée pour chaque patient lors des premières séances. Cette douleur reste toutefois dans une fourchette tolérable comprise entre 3 et 6/10. Par la suite, cette douleur diminue progressivement, malgré l'augmentation de la POA et l'introduction de la mise en charge. Cette douleur se maintient dans un intervalle allant de 1 à 3/10.

Une tendance similaire est observée concernant la perception de l'effort. Elle atteint son maximum lors des premières séances, avec des valeurs comprises entre 4 et 6/10, avant de diminuer malgré l'évolution des paramètres du protocole. À partir de la quatrième séance, la perception de l'effort varie entre 2 et 4/10 pour l'ensemble des patients.

3.5.1.2. Questionnaire de retour d'expérience.

La synthèse des réponses au questionnaire est présentée dans le tableau IV.

Tableau IV : résultats au questionnaire de retour d'expérience patient.

	Sylvie	Isabelle	Philippe
Q1: Facilité à supporter l'équipement.	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord	Tout à fait d'accord
Q2: Exercices facilement réalisables.	Plutôt d'accord	D'accord	D'accord
Q3 : Provocation de douleur pendant la séance.	Pas d'accord	Pas d'accord	Pas d'accord
Q4 : Provocation de douleur après la séance.	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord	Pas du tout d'accord
Q5 : Provocation d'une fatigue musculaire importante après la séance.	Pas du tout d'accord	Pas du tout d'accord	Pas du tout d'accord
Q6 : Satisfaction globale de la rééducation sous BFR.	Tout à fait satisfaisant	Satisfaisant	Satisfaisant
Q7 : Intention de réutiliser le BFR pour une autre rééducation.	Tout à d'accord	Tout à fait d'accord	D'accord

Les patients se sont déclarés « plutôt d'accord » ou « tout à fait d'accord » sur la facilité à supporter le BFR. Concernant la facilité de réalisation des exercices, ils ont répondu « plutôt d'accord » ou « d'accord ». La douleur pendant la séance n'a été signalée par les participants, tous ayant répondu « pas d'accord ». De même, aucun n'a ressenti de douleur importante après la séance, avec des réponses allant de « plutôt pas d'accord » à « pas du tout d'accord ». Aucun patient n'a rapporté une fatigue musculaire importante après la séance, tous répondant « pas du tout d'accord » à cette question. La satisfaction globale concernant la rééducation sous BFR a été évaluée positivement, avec des réponses allant de « satisfaisant » à « tout à fait satisfaisant ». Enfin, les participants ont exprimé une intention favorable à réutiliser le BFR pour une autre rééducation, avec des réponses allant de « d'accord » à « tout à fait d'accord ».

3.5.2. Critères de jugements secondaires

3.5.2.1. Évaluation de la force du quadriceps

La figure 21 résume l'évolution de la force du quadriceps pour les trois patients. Les mesures finales, réalisées à des stades différents en raison de contraintes organisationnelles, ont été prises après 10 séances pour Sylvie, 6 pour Isabelle et 9 pour Philippe. L'angulation

de flexion lors des mesures a également varié selon l'amplitude initiale : 70° pour Sylvie, 60° pour Isabelle et 90° pour Philippe.

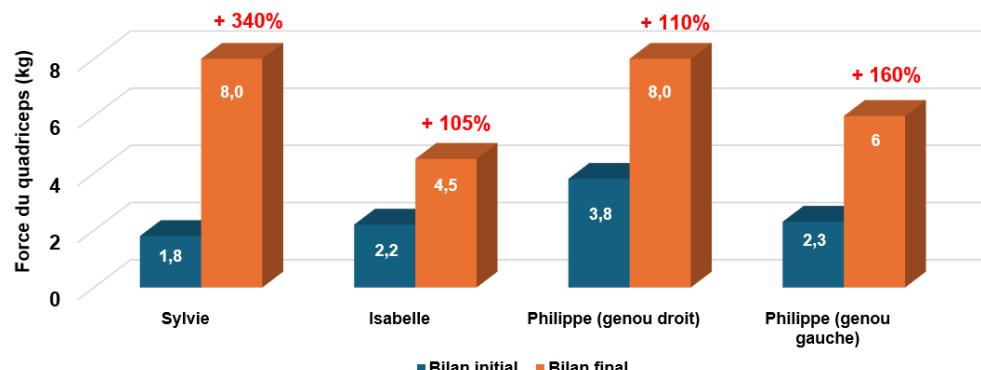


Figure 21 : évolution de la force du quadriceps des trois patients.

Les résultats indiquent une augmentation de la force musculaire pour les trois cas cliniques. Sylvie présente le meilleur gain (+340 %), tandis qu'Isabelle et Philippe montrent une amélioration similaire de la force du quadriceps, comprise entre 105 % et 160 %.

3.5.2.2. Évaluation de la circonférence de la cuisse

Les mesures de circonférence ont été effectuées aux mêmes dates que celles de la force du quadriceps. La figure 22 illustre les variations de circonférence à différentes zones pour chaque patient, entre le bilan initial et le bilan final.

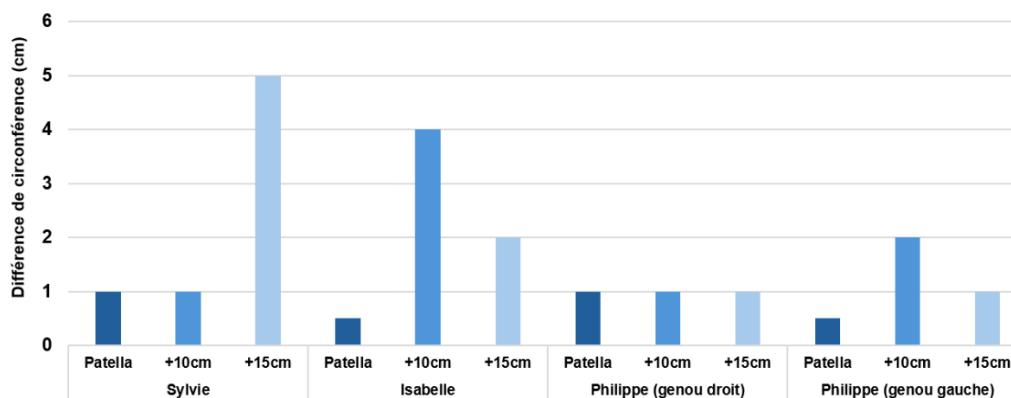


Figure 22 : évolution de la circonférence de la cuisse des trois patients.

Les résultats obtenus montrent une diminution globale de la circonférence de la cuisse et du genou, quelle que soit la zone. Pour la patella, une diminution comprise entre 0,5 cm et 1 cm a été mesurée. Pour le segment crural, la diminution mesurée à 10 cm au-dessus de la base patellaire varie entre 1 cm et 4 cm selon les patients. Une tendance similaire est observée pour la mesure à 15 cm, avec des résultats variant de 1 cm à 5 cm.

3.6. Évaluation du BFR par les kinésithérapeutes

Durant cette période de démarrage du BFR au centre, un seul kinésithérapeute a utilisé le dispositif de manière régulière, avec une fréquence d'au moins trois utilisations par semaine. Par conséquent, l'évaluation du dispositif BFR a été exclusivement réalisée par ce praticien.

Le kinésithérapeute a jugé la facilité d'utilisation du BFR (mise en route, calibration, lancement et suivi du programme) comme étant totalement satisfaisante, se déclarant « tout à fait d'accord » sur ce point. Il précise que l'écran de commande est intuitif, permettant de guider aisément le réglage et le démarrage de l'équipement. Concernant la facilité d'installation et de retrait du dispositif, le kinésithérapeute se positionne en accord avec cette affirmation. Il relève, tout de même, avoir rencontré des difficultés dans le positionnement et le serrage du manchon à la racine du membre. Ce dernier ayant parfois tendance à glisser. Le temps de mise en place n'a pas été perçu comme un frein à son utilisation, le kinésithérapeute exprimant un désaccord total sur cet aspect. Il estime un temps d'installation de l'ordre de 5 minutes pour un genou, temps incluant l'étape de calibration. Par ailleurs, il exprime que cette étape de calibration a souvent été ressentie comme douloureuse par le patient. Pour éviter cela, le thérapeute a réalisé la calibration en début de chaque semaine afin de déterminer la pression pour atteindre 100 % d'occlusion. Une fois cette valeur connue, le thérapeute a utilisé le mode EXPERT de l'appareil pour régler la POA objectif à partir de cette donnée, évitant ainsi de réaliser une calibration à chaque séance.

L'intégration du BFR dans les séances de rééducation a été jugée « tout à fait satisfaisante ». La séquence sous BFR, comprenant la mise en route et la réalisation de l'exercice, a été estimée à environ 10 à 15 minutes pour un genou, durée permettant d'intégrer d'autres techniques de rééducation au cours de la séance du patient. L'évaluation de la sécurité du dispositif a été qualifiée de pleinement satisfaisante. Le thérapeute souligne que cette appréciation est liée, d'une part, à l'accord préalable donné par le médecin et au test préliminaire et, d'autre part, au dispositif de régulation et de visualisation de la pression en temps réel qui sécurise son utilisation.

En termes de satisfaction globale, le kinésithérapeute a estimé le BFR « tout à fait satisfaisant ». Aucun effet secondaire n'a été présent durant les séances. Par ailleurs, il souligne un fort intérêt et attrait des trois patients pour le BFR. Les patients se sont montrés curieux, posant de nombreuses questions sur l'équipement. Il indique que les patients ont facilement accepté l'équipement et se sont montrés confiants, notamment par les informations qui leur ont été délivrées. Il s'est également déclaré « tout à fait d'accord » pour proposer le BFR à d'autres patients et fortement enclin à le recommander à ses collègues.

4. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer la faisabilité de la rééducation sous BFR post-opératoire d'une arthroplastie du genou chez les personnes âgées. Pour répondre à cette problématique, un protocole a d'abord été élaboré en s'appuyant sur les données de la littérature. Puis, une étude de faisabilité a été menée auprès de trois patients en phase post-opératoire précoce en appliquant ce protocole défini.

Pour rappel, les principaux critères de jugement retenus ont été la perception de l'effort et de la douleur ressentis par les patients après chaque séance de BFR, ainsi que leur retour d'expérience recueilli via un questionnaire de fin de rééducation. Parallèlement, l'avis du thérapeute sur la faisabilité de cette méthode a été évalué à l'aide d'un questionnaire dédié. En complément, la force et le volume du muscle quadriceps ont été mesurés comme critères secondaires. Cette partie a pour objectif d'analyser de manière critique les résultats obtenus et d'ouvrir des perspectives pour de futures recherches dans ce domaine.

4.1. Interprétation des résultats

4.1.1. Critères de jugements principaux

4.1.1.1. Perception de la douleur

La douleur ressentie pendant les différentes séances du protocole n'a jamais dépassé 6/10 pour les trois patients. Sylvie a atteint cette valeur uniquement lors de la première séance. Pour Isabelle, la douleur maximale enregistrée a été de 3/10, tandis que Philippe a atteint une valeur maximale de 5/10 pour le genou gauche et de 4/10 pour le droit, ces valeurs ayant également été relevées lors de la première séance. Par la suite, la douleur a progressivement diminué pour se stabiliser dès la quatrième séance entre 1 et 3/10. Ces résultats indiquent que la douleur engendrée par l'exercice sous BFR reste dans des seuils tout à fait tolérables dans le cadre de cette rééducation post-opératoire. Les valeurs de douleur comprises entre 1 et 3/10 sont catégorisées comme douleur faible par la HAS (67). Ainsi, avec le protocole mis en place, la douleur n'a pas constitué un frein à la rééducation sous BFR pour les trois patients.

Les trois patients ont rapporté leur douleur la plus intense lors de la première séance. Ce phénomène pourrait s'expliquer, d'une part, par une appréhension initiale de l'exercice. Une autre hypothèse pourrait être liée à la nature même de l'exercice, impliquant un balayage articulaire complet et une contraction du quadriceps réalisée dans différents modes (concentrique, isométrique et excentrique). Pour rappel, le quadriceps présente une faiblesse importante et une inhibition dans ce contexte post-opératoire.

Par la suite, la douleur a diminué progressivement au fil des séances, et ce malgré l'augmentation de la pression et de la charge. Une première explication pourrait être la familiarisation du patient avec l'exercice. En répétant le même mouvement, le patient a pu s'accoutumer à l'effort et gagner en confiance quant à ses capacités, comme l'a souligné Sylvie lors de son questionnaire. Par ailleurs, le réveil progressif du quadriceps et l'amélioration de la mobilité du genou durant la rééducation pourraient également expliquer cette tendance. De plus, Song *et al.* ont mis en évidence une hypoalgésie induite par l'application du BFR (34). Ce mécanisme pourrait constituer un facteur supplémentaire expliquant cette diminution progressive de la douleur observée chez les patients.

4.1.1.2. Perception de l'effort

Concernant la perception de l'effort, les résultats obtenus sont similaires à ceux de la douleur. La perception de l'effort a atteint son maximum lors des premières séances, sans toutefois dépasser 6/10 (correspondant à un effort qualifié de « moyennement difficile »). Sylvie a rapporté une perception maximale de 5/10, Isabelle de 4/10, et Philippe de 6/10. Globalement, ces valeurs ont été observées lors des trois premières séances. Par la suite, à l'instar de la douleur, la perception de l'effort a diminué, se stabilisant dans une plage comprise entre 2 et 4/10, correspondant à un effort de « très faible » à « modéré » (66). Ainsi, la perception de l'effort n'a pas constitué un frein à la rééducation sous BFR pour les trois patients au cours du protocole.

Les hypothèses expliquant cette évolution peuvent être similaires à celles avancées pour la douleur. Un effort maximal lors des premières séances pourrait s'expliquer par une appréhension de l'exercice, combinée à une faiblesse du quadriceps et à une inhibition musculaire encore significative après l'opération. Cependant, l'effort perçu n'a pas augmenté malgré l'augmentation progressive de la POA et le passage à la mise en charge au cours des séances suivantes. Une première explication pourrait être que le protocole proposé a suivi l'évolution de la force du quadriceps, permettant de maintenir une perception de l'effort constante. Une autre hypothèse serait que les étapes du protocole n'étaient pas suffisamment exigeantes par rapport à l'évolution des capacités des patients, rendant la réalisation de l'exercice trop facile.

4.1.1.3. Retour d'expérience des patients

Tout d'abord, les résultats du questionnaire dirigé ont montré que le BFR a été globalement bien toléré durant la rééducation. Sylvie a semblé légèrement moins à l'aise,

notamment lors des premières séances, ce qu'elle a attribué à une appréhension initiale de l'équipement. Le BFR a donc été, dans l'ensemble, facilement supporté par les trois patients.

Concernant l'exercice, il a été jugé comme « facilement » à « plutôt facilement » réalisable. En effet, l'ensemble des répétitions prévues a été systématiquement réalisé par les trois patients. Ces derniers ont particulièrement apprécié le fait de répéter le même exercice à chaque séance, ce qui leur a permis de réduire progressivement leur appréhension, de s'habituer à la rythmicité de l'effort et, par conséquent, de gagner en confiance en eux et en leurs capacités. Par ailleurs, l'augmentation progressive des paramètres de pression et de charge a également contribué à cette prise de confiance.

Aucune douleur notable n'a été rapportée par les participants pendant les séances (réponse « pas d'accord » pour tous). De même, après les séances, Isabelle et Philippe ont indiqué « pas du tout d'accord » à la question portant sur la survenue de douleurs, tandis que Sylvie a répondu « plutôt pas d'accord ». Ces résultats suggèrent que le protocole a été globalement bien toléré, bien qu'un léger inconfort ait pu être ressenti par Sylvie, sans pour autant atteindre un niveau significatif.

Tous les participants ont unanimement répondu « pas du tout d'accord » à la question sur une éventuelle fatigue musculaire importante après les séances. Cela souligne l'absence d'effet négatif notable lié à la rééducation sous BFR en termes de fatigue post-séance, un facteur essentiel pour garantir une bonne observance des patients.

La satisfaction globale exprimée par les participants est très positive. Sylvie a qualifié son expérience de « tout à fait satisfaisante », tandis qu'Isabelle et Philippe ont répondu « satisfaisant ». Ces réponses reflètent une perception favorable de la rééducation sous BFR et du protocole mis en place. Cela est confirmé par l'intention de réutiliser le BFR dans le cadre d'une autre rééducation. Sylvie et Isabelle se déclarent « tout à fait d'accord », tandis que Philippe est « d'accord », montrant ainsi leur adhésion au dispositif.

4.1.2. Retour d'expérience du kinésithérapeute

Le kinésithérapeute a jugé l'utilisation du dispositif BFR comme totalement satisfaisante, notamment en ce qui concerne la mise en route, la calibration et le suivi du programme, grâce à un écran de commande intuitif. La facilité d'installation et de retrait du dispositif a également été globalement bien perçue, bien qu'il ait noté des difficultés occasionnelles dans le positionnement et le serrage du manchon, qui avait parfois tendance à glisser. La mise en place d'une interface serait à étudier afin d'éviter ce phénomène.

Le temps de mise en place (environ 5 minutes pour un genou, incluant la calibration) n'a pas été perçu comme un obstacle. Cependant, la calibration initiale a été jugée douloureuse pour certains patients. Pour remédier à cela, le kinésithérapeute a opté pour une calibration hebdomadaire, utilisant ensuite le mode EXPERT pour ajuster directement la pression d'occlusion cible, évitant ainsi de répéter cette étape à chaque séance. Cette solution proposée est très pertinente, notamment si c'est le même thérapeute qui applique le manchon au même patient, mettant ainsi la même pression de serrage initiale. Le livret d'instruction pourrait être mis à jour avec cette méthodologie, réduisant ainsi le risque de douleur lors de la calibration.

L'intégration du BFR dans les séances a été très satisfaisante. La séquence, incluant la mise en route et l'exercice, durait 10 à 15 minutes par genou, laissant du temps pour d'autres techniques de rééducation. Le dispositif a été jugé sécuritaire, notamment grâce à l'évaluation préalable des patients par un médecin, à un test préliminaire, et à la visualisation et à la régulation en temps réel de la pression via le système MAD-UP®.

Sur le plan global, le kinésithérapeute estime que le BFR a suscité un fort intérêt de la part des patients, qui se sont montrés curieux et confiants grâce aux informations fournies. Aucun problème ni effet secondaire n'a été observé, et le thérapeute recommande vivement l'utilisation du BFR à d'autres patients et collègues, exprimant une satisfaction totale à son sujet. La formation des autres thérapeutes du centre devrait avoir lieu prochainement.

Il est à noter qu'un seul avis de thérapeute a pu être recueilli lors de notre étude, ce qui limite fortement l'analyse de nos données. Par ailleurs, ce thérapeute avait déjà utilisé le BFR dans une autre structure, ce qui a pu faciliter sa prise en main, même si l'équipement qui l'utilisait précédemment n'était pas le même modèle que celui du centre Florentin.

4.1.3. Critères de jugements secondaires

4.1.3.1. Évolution de la force du quadriceps

La force du quadriceps a augmenté pour les trois patients entre le bilan initial et le bilan final. Sylvie a enregistré un gain de force de 340 %, Isabelle de 105 %, Philippe de 110 % pour son genou droit et de 160 % pour son genou gauche. Cependant, ce gain de force ne peut être directement mis en relation avec la rééducation sous BFR. En effet, les patients ont reçu différentes techniques de rééducation durant leur séjour qui ont, elles aussi, participées à la réactivation et à l'augmentation de force du quadriceps. Il aurait été pertinent de comparer cette évolution de la force avec celle d'autres patients du centre ayant suivi les mêmes techniques de rééducation, à l'exception de celle réalisée avec le BFR. Cela aurait permis de

constituer un groupe témoin et de comparer nos résultats de manière plus rigoureuse. Ce point sera discuté dans la section 4.4 : *Perspectives d'approfondissement*.

4.1.3.2. Évolution du volume musculaire

Pour évaluer l'évolution de la masse musculaire, la méthodologie choisie consistait à mesurer la circonférence de la cuisse à +10 cm et à +15 cm au-dessus de la rotule. Une augmentation de volume du segment crural aurait entraîné une augmentation de cette circonférence. Cependant, les résultats des trois patients montrent une diminution de cette mesure entre le bilan initial et le bilan final, comprise globalement entre 1 cm et 5 cm. Ce résultat s'explique par la présence d'un œdème post-opératoire. La résorption progressive de cet œdème au cours du séjour au centre a contribué à la diminution de la circonférence mesurée.

Cette méthodologie n'était donc pas adaptée au contexte post-opératoire. Pour contourner l'effet de l'œdème et analyser plus précisément l'évolution de l'épaisseur du quadriceps, une mesure par échographie aurait été une méthode plus appropriée (69). Cependant, le centre ne disposait pas de cet équipement au moment de l'étude.

4.2. Analyse critique du protocole

4.2.1. Population

L'étude présente certaines limites. Tout d'abord, elle ciblait la personne âgée, définie par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) comme ayant 60 ans ou plus. Cependant, les participants de l'étude, Sylvie, Isabelle et Philippe, sont respectivement âgés de 63, 61 et 67 ans. Cette homogénéité d'âge introduit un biais de sélection, rendant l'échantillon peu représentatif de l'ensemble de la population cible. Cela limite la capacité à généraliser les résultats à un groupe plus large de personnes âgées. De plus, la principale limite de cette étude réside dans son faible effectif.

La sélection des patients éligibles au BFR a été réalisée en amont par l'équipe médicale, sur la base des contre-indications établies par l'équipementier. En raison de ces critères, les médecins du centre n'ont pu proposer qu'un nombre restreint de patients pour une rééducation avec le BFR. L'un des principaux facteurs limitant l'inclusion a été un IMC supérieur à 30. Cependant, la littérature rapporte des études ayant utilisé le BFR auprès de cette population (70,71). Les recherches futures sur le BFR permettront de préciser progressivement les contre-indications, ouvrant la possibilité d'élargir les critères d'inclusion.

4.2.2. Évolution des paramètres de pression et de charge

Le schéma d'évolution des paramètres de POA et des charges additionnelles proposé dans notre protocole a été suivi par l'ensemble des trois patients. Seule Sylvie a réalisé la première étape lors de ses première et deuxième séances, une décision prise par mesure de précaution en raison de sa douleur, évaluée à 6/10 à la fin de sa première séance. Ce schéma s'appuyait sur les recommandations de Patterson *et al.* (37), incluant notamment un programme de 75 répétitions et une POA supérieure à 40 %. Cependant, la résistance correspondant à 20 % à 40 % de la 1 RM n'a pu être appliquée, car la 1 RM ne pouvait pas être déterminée dans ce contexte post-opératoire. Par conséquent, nous avons choisi de faire évoluer la charge par paliers de 500 g une fois les 60 % de POA atteints.

Notre protocole a été correctement suivi par les patients. Cependant, les résultats montrent une perception de l'effort variant entre « très facile » et « modérée » pour l'ensemble des participants. Chaque patient a atteint le nombre de répétitions prévu sans jamais s'approcher de l'échec. Cela soulève la question de l'adéquation du protocole à l'évolution et à la progression des patients, suggérant que les exercices pourraient avoir été trop faciles. Une révision du protocole pourrait être envisagée, afin d'augmenter son niveau de difficulté et de mieux s'adapter aux progrès des patients. Une proposition en ce sens est détaillée dans la section 4.4.1 : *Adaptation des paramètres du protocole*.

4.3. Intérêt et limites pour la pratique clinique et professionnelle

La prothétisation du genou entraîne, dans la période post-opératoire, de nombreux déficits, tels que la douleur, l'œdème, les limitations d'amplitude, l'inhibition et la faiblesse musculaire, ainsi que des troubles de la proprioception. L'objectif principal de la prise en charge kinésithérapeutique est de réduire ces déficits afin de permettre au patient de retrouver rapidement ses capacités fonctionnelles et, ainsi, d'améliorer sa qualité de vie. Comme le souligne la HAS dans ses recommandations (11), le réveil et le renforcement musculaire sont des étapes primordiales pour atteindre cet objectif. Dans cette phase post-opératoire, l'utilisation de charges lourdes ne peut être envisagée précocement. À la lumière des données de la littérature, l'alternative d'une rééducation sous BFR prend tout son sens pour optimiser le renforcement musculaire. Selon notre étude, la perception de l'effort et de la douleur des patients ne semble pas constituer un frein à sa mise en place. Par ailleurs, les résultats ont montré que la rééducation sous BFR peut facilement s'intégrer dans un plan thérapeutique, nécessitant seulement une quinzaine de minutes pour son exécution. En outre, les nouveaux équipements de BFR rendent son utilisation nettement plus sécuritaire grâce à la visualisation et à la régulation en temps réel de la pression.

Cependant, certains freins à l'utilisation du BFR peuvent être présents. Le premier consiste à identifier les éventuelles contre-indications que pourrait présenter le patient. Dans le cadre de notre étude, l'équipe médicale du centre disposait des dossiers médicaux complets des patients, ce qui a facilité l'évaluation des risques. Une telle accessibilité aux informations médicales pourrait ne pas être garantie dans un contexte de prise en charge en libéral.

Par ailleurs, pour mettre en place une rééducation sous BFR de manière efficace et sécurisée, une connaissance approfondie de la technique par le praticien est indispensable. Cependant, cette méthode récente reste encore peu connue dans la profession et n'est pas abordée dans les cursus des instituts de formation. Il sera donc nécessaire de disposer d'études de haut niveau de preuve ainsi que de recommandations émanant des hautes autorités de santé pour encourager son intégration. Enfin, un autre frein notable est le coût de l'équipement, estimé à environ 8 000 €, ce qui peut représenter un obstacle pour certaines structures ou professionnels libéraux.

4.4. Perspectives d'approfondissement

4.4.1. Adaptation des paramètres du protocole

Comme mentionné précédemment, notre protocole a été suivi par l'ensemble des patients avec une perception de l'effort relativement faible, particulièrement après les premières séances. Une perspective de notre étude serait de modifier ce protocole afin d'ajuster certains paramètres, notamment la pression et le nombre de répétitions, pour mieux s'adapter à l'évolution des capacités des patients.

Une des pistes d'amélioration serait d'abord de faire évoluer la pression par palier de 10 % au lieu de 5 %, ce qui favoriserait une adaptation progressive tout en permettant une mise en charge plus précoce que dans notre protocole. Par ailleurs, la valeur maximale de POA avait été fixée à 60 %, dans l'hypothèse que l'inconfort se ferait déjà ressentir à ce seuil. Cependant, au vu des résultats, ce seuil pourrait être relevé à 70 % avant la mise en charge.

Le nombre de répétitions a également été facilement atteint par les patients. Pour rappel, le protocole proposé par Patterson *et al.* comprenait une première série de 30 répétitions, suivie de 3 séries de 15 répétitions, avec 30 secondes de repos entre chaque série. Une orientation possible serait de répéter ce schéma non pas une fois, comme dans notre protocole, mais deux fois, afin de favoriser une fatigue musculaire plus prononcée. Une proposition détaillée de ce nouveau protocole est présentée en ANNEXE X.

4.4.2. Étude pour évaluer l'intérêt de la rééducation sous BFR

L'étude avait pour objectif d'évaluer la faisabilité d'une rééducation sous BFR en post-opératoire d'une arthroplastie de genou, notamment à travers la perception des patients et du thérapeute. Comme évoqué précédemment, l'utilisation de cette technique pourrait favoriser le renforcement musculaire, en particulier celui du quadriceps, qui est l'un des principaux muscles affectés par cette intervention.

Bien que la force du quadriceps ait été mesurée dans cette étude, les résultats ne permettent pas de conclure directement sur l'impact du BFR dans la récupération de cette force. Pour évaluer précisément cet impact, il serait pertinent de conduire un essai contrôlé randomisé (ECR) comparant un groupe bénéficiant d'une rééducation sous BFR à un groupe témoin. Le protocole utilisé dans cette étude pourrait être repris, éventuellement modifié selon la proposition présentée en ANNEXE X après test, pour cet ECR. Un tel travail représenterait une perspective intéressante à développer dans le cadre d'un futur mémoire.

4.4.3. Rééducation sous BFR en pré-opératoire

Notre étude s'est concentrée sur l'utilisation du BFR lors d'une rééducation post-opératoire de PTG. Toutefois, une autre approche pourrait s'interroger sur l'intérêt d'une rééducation sous BFR en phase pré-opératoire.

Une méta-analyse de 2024 souligne les avantages d'une rééducation pré-opératoire avant une arthroplastie totale du genou (72). Les résultats indiquent que les patients ayant bénéficié de séances de rééducation préalables à la chirurgie, basées sur des exercices actifs contre résistance, obtiennent de meilleurs résultats cliniques en post-opératoire. Ces bénéfices incluent une diminution de la douleur, une meilleure récupération de la force musculaire et une amplitude articulaire optimisée. Dans cette optique, la HAS recommande également la kinésithérapie pré-opératoire, notamment pour renforcer les membres inférieurs avant l'intervention chirurgicale (11).

L'intégration du BFR dans ce contexte pourrait se révéler être une stratégie pertinente pour le renforcement musculaire, en particulier lorsque la douleur limite l'utilisation de charges lourdes. Une étude de 2022 a évalué l'impact d'un programme de rééducation pré-opératoire de six semaines avec BFR sur la masse musculaire et la force, avant et après une PTG (73). Les résultats ont démontré que le BFR réduit significativement la douleur perçue et améliore à la fois la force et la masse musculaire, comparativement à une rééducation sans BFR. Il est à noter que le BFR a été appliqué pendant des exercices réalisés sur un vélo ergomètre.

Par ailleurs, une étude de 2024 a évalué l'effet d'une rééducation pré-opératoire combinant le BFR à une faible résistance sur la fonction physique et la force des membres inférieurs (74). Les résultats ont révélé une amélioration significative de la force musculaire trois mois après l'opération par rapport au groupe témoin. Toutefois, cette différence n'a pas été confirmée douze mois après l'intervention. Les auteurs ont conclu que l'ajout du BFR pourrait avoir contribué à une récupération plus rapide de la fonction musculaire à court terme.

5. CONCLUSION

L'analyse des trois patients a mis en évidence la faisabilité de la rééducation avec BFR en post-opératoire d'une arthroplastie du genou chez la personne âgée. Cette technique a pu être mise en œuvre sans que la perception de l'effort ou de la douleur ne constitue un obstacle, même en phase post-opératoire précoce. Aucun effet secondaire n'a été observé, et les patients ont rapidement adhéré à la méthode.

Du point de vue du thérapeute, le dispositif BFR s'est distingué par sa facilité d'utilisation et son intégration aisée dans les séances de rééducation. Il a également été jugé sécuritaire grâce à son système de régularisation et de visualisation en temps réel de la pression. La validation médicale préalable et la réalisation de tests préliminaires ont contribué à l'intégration sécurisée des patients.

Concernant les modalités d'application, un protocole progressif basé sur les données actuelles de la littérature a permis d'adapter et d'ajuster l'utilisation du BFR tout au long de la rééducation. Toutefois, étant donné la faible perception de l'effort et de la douleur rapportée par les patients, une optimisation du protocole pourrait inclure une augmentation du nombre de répétitions et une progression plus rapide de la POA pour maximiser les gains en force et en volume musculaire. Une proposition de modification en ce sens a été élaborée.

Malgré la limite principale liée au faible nombre de participants, cette étude a démontré la faisabilité d'une rééducation sous BFR dans ce contexte post-opératoire. Cependant, son impact spécifique sur la récupération de la force et de la trophicité musculaire n'a pas pu être clairement établi. Une tendance à la récupération de la force du quadriceps a été observée, mais elle nécessite des études supplémentaires pour confirmation.

En conclusion, au regard des résultats obtenus et des données issues de la littérature sur les gains de force et de masse musculaire induits par le BFR, cette technique s'impose comme une approche prometteuse pour les rééductions post-opératoires après arthroplastie du genou. Des études futures permettront sans doute d'affiner les connaissances sur cette méthode et ses multiples champs d'application.

BIBLIOGRAPHIE

1. 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.* 2020;30(5):P837-848.
2. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bemben MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(5):P1849-1859.
3. Slys J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2016;19(8):P669-675.
4. Perera E, Zhu XM, Horner NS, Bedi A, Ayeni OR, Khan M. Effects of Blood Flow Restriction Therapy for Muscular Strength, Hypertrophy, and Endurance in Healthy and Special Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* 2022;32(5):P531-545.
5. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):P1334-1359.
6. Gheno R, Cepparo JM, Rosca CE, Cotten A. Musculoskeletal Disorders in the Elderly. *J Clin Imaging Sci.* 2012;3(2):P39.
7. 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.* 2019;49(1):P95-108.
8. Ouang C. Enquête sur la pratique clinique du Blood Flow Restriction par les Masseurs-Kinésithérapeutes libéraux de France [Mémoire]. [NANCY]: Institut lorrain de formation de masso-kinésithérapie; 2023.
9. Planque F, Tamalet B. L'exercice avec restriction du flux sanguin (BFR) : une mode ? Une alternative ? Une méthode miracle ? L'expérience du centre médical FFF de Clairefontaine. *J Traumatol Sport.* 2021;38(2):P94-100.
10. Le Stum M, Gicquel T, Dardenne G, Le Goff-Pronost M, Stindel E, Clavé A. Prothèses Totale de Genou en France : une croissance portée par les Hommes entre 2009 et 2019. Projections à 2050. *Rev Chir Orthopédique Traumatol.* 2023;109(5):P733-739.
11. Haute Autorité de Santé. Critères de suivi en rééducation et d'orientation en ambulatoire ou en SSR après arthroplastie totale du genou [Internet]. Saint-Denis La Plaine: Haute Autorité de Santé; 2008 [cité 11 juin 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/reeducation_genou_ptg_-_recommandations.pdf
12. Majors IB, Mears SC, Ohlendt CK, Hargett NA, Barnes CL, Stambough JB. Does Blood Flow Restriction Therapy Improve Leg Strength in Patients With a Painful Total Knee Arthroplasty? *J Arthroplasty.* 2022;37(6):P1064-1068.
13. Keating C, Muth S, Hui C, Hoglund L. Utilization of Blood Flow Restriction Therapy with a Former Triathlete After Total Knee Arthroplasty: A Case Report. *Int J Sports Phys Ther.* 2024;19(9):P1138-1150.

14. Kilgas MA, DenHerder AE, Lytle LLM, Williams CT, Elmer SJ. Home-Based Exercise With Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Muscle and Physical Function After Total Knee Arthroplasty: A Case Report. *Phys Ther.* 2019;99(11):P1495-1500.
15. De Renty C, Forelli F, Mazeas J, Kakavas G, Hewett TE, Korakakis V. Knee Loading With Blood Flow Restriction Can Enhance Recovery After Total Knee Arthroplasty. *Cureus.* 2023;15(4):E37895.
16. 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.* 2018;7(10):P1037-1043.
17. Girard J, Parent-Nichols J, Cleland JA, Pallot A. Pratique factuelle : théorie et application. *Kinésithérapie Rev.* 2019;19(211):P16-19.
18. Sato Y. The history and future of KAATSU Training. *Int J KAATSU Train Res.* 2005;1(1):P1-5.
19. Lim C, Nunes EA, Currier BS, McLeod JC, Thomas ACQ, Phillips SM. An Evidence-Based Narrative Review of Mechanisms of Resistance Exercise-Induced Human Skeletal Muscle Hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc.* 2022;54(9):P1546-1559.
20. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):P2857-2872.
21. Dolin R, Ben Zaki B. L'entraînement sous restriction du flux sanguin, ou « *Blood Flow Restriction* », une alternative au renforcement musculaire à charge élevée. *Kinésithérapie Rev.* 2022;22(247):P34-40.
22. Martin PM, Bart RM, Ashley RL, Velasco T, Wise SR. An Overview of Blood Flow Restriction Physiology and Clinical Considerations. *Curr Sports Med Rep.* 2022;21(4):P123-128.
23. Rossi FE, de Freitas MC, Zanchi NE, Lira FS, Cholewa JM. The Role of Inflammation and Immune Cells in Blood Flow Restriction Training Adaptation: A Review. *Front Physiol.* 2018;9:P1376.
24. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Piñero A, Burke R, Coleman M, Rolnick N. Fiber-Type-Specific Hypertrophy with the Use of Low-Load Blood Flow Restriction Resistance Training: A Systematic Review. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2023;8(2):P51.
25. Rodrigo-Mallorca D, Loaiza-Betancur AF, Monteagudo P, Blasco-Lafarga C, Chulvi-Medrano I. Resistance Training with Blood Flow Restriction Compared to Traditional Resistance Training on Strength and Muscle Mass in Non-Active Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(21):P11441.
26. Labata-Lezaun N, Llurda-Almuzara L, González-Rueda V, López-de-Celis C, Cedeño-Bermúdez S, Bañuelos-Pago J, et al. Effectiveness of Blood Flow Restriction Training on Muscle Strength and Physical Performance in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2022;103(9):P1848-1857.
27. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing.* 2019;48(1):P16-31.

28. Kong J, Li Z, Zhu L, Li L, Chen S. Comparison of blood flow restriction training and conventional resistance training for the improvement of sarcopenia in the older adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med Health Sci.* 2023;5(4):P269-276.
29. Zhang T, Tian G, Wang X. Effects of Low-Load Blood Flow Restriction Training on Hemodynamic Responses and Vascular Function in Older Adults: A Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(11):P6750.
30. Stanford DM, Mouser JG, Chatlaong MA, Jessee MB. A narrative review of the effects of blood flow restriction on vascular structure and function. *Physiol Int.* 2022;2(109):P186-203.
31. Reverdy M, Stephan M, Daufrène A. Intérêt de l'entraînement en restriction de flux sanguin associé aux exercices aérobies en rééducation : une revue de portée. *Kinésithérapie Rev.* 2024;24(266):P18-28.
32. Bennett H, Slattery F. Effects of Blood Flow Restriction Training on Aerobic Capacity and Performance: A Systematic Review. *J Strength Cond Res.* 2019;33(2):P572-583.
33. Wang X, Wang Y, Yang X, Mohd Nasiruddin NJB, Dong D, Samsudin SB, et al. Effects of blood flow restriction training on bone metabolism: a systematic review and meta-analysis. *Front Physiol.* 2023;14:1212927.
34. Song JS, Spitz RW, Yamada Y, Bell ZW, Wong V, Abe T, et al. Exercise-induced hypoalgesia and pain reduction following blood flow restriction: A brief review. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* 2021;50:P89-96.
35. Hughes L, Patterson SD. The effect of blood flow restriction exercise on exercise-induced hypoalgesia and endogenous opioid and endocannabinoid mechanisms of pain modulation. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985.* 2020;128(4):P914-924.
36. Scott BR, Girard O, Rolnick N, McKee JR, Goods PSR. An Updated Panorama of Blood-Flow-Restriction Methods. *Int J Sports Physiol Perform.* 2023;18(12):P1461-1465.
37. 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.
38. Teixeira EL, Ugrinowitsch C, de Salles Painelli V, Silva-Batista C, Aihara AY, Cardoso FN, et al. Blood Flow Restriction Does Not Promote Additional Effects on Muscle Adaptations When Combined With High-Load Resistance Training Regardless of Blood Flow Restriction Protocol. *J Strength Cond Res.* 2021;35(5):P1194-1200.
39. Clarkson MJ, Conway L, Warmington SA. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. *J Sci Med Sport.* 2017;20(12):P1041-1046.
40. Silva JCG, Pereira Neto EA, Pfeiffer PAS, Neto GR, Rodrigues AS, Bemben MG, et al. Acute and Chronic Responses of Aerobic Exercise With Blood Flow Restriction: A Systematic Review. *Front Physiol.* 2019;10:P1239.
41. Barbalho M, Rocha AC, Seus TL, Raiol R, Del Vecchio FB, Coswig VS. Addition of blood flow restriction to passive mobilization reduces the rate of muscle wasting in elderly patients in the intensive care unit: a within-patient randomized trial. *Clin Rehabil.* 2019;33(2):P233-240.

42. Cerqueira MS, Do Nascimento JDS, Maciel DG, Barboza JAM, De Brito Vieira WH. Effects of blood flow restriction without additional exercise on strength reductions and muscular atrophy following immobilization: A systematic review. *J Sport Health Sci.* 2020;9(2):P152-159.
43. Santiago-Pescador S, Fajardo-Blanco D, López-Ortiz S, Peñín-Grandes S, Méndez-Sánchez R, Lucia A, et al. Acute effects of electrostimulation and blood flow restriction on muscle thickness and fatigue in the lower body. *Eur J Sport Sci.* 2023;23(8):P1591-1599.
44. Bergamasco JGA, Alvarez IF, Biazon TMP de C, Ugrinowitsch C, Augusto Libardi C. Effects of Blood Flow Restriction Combined With Resistance Training or Neuromuscular Electrostimulation on Muscle Cross-Sectional Area. *J Sport Rehabil.* 2022;31(3):P319-324.
45. Clark BC, Manini TM, Hoffman RL, Williams PS, Guiler MK, Knutson MJ, et al. Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports.* 2011;21(5):P653-662.
46. Madarame H, Kurano M, Takano H, Iida H, Sato Y, Ohshima H, et al. Effects of low-intensity resistance exercise with blood flow restriction on coagulation system in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2010;30(3):P210-213.
47. 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):P5-13.
48. Santana DC, Emara AK, Orr MN, Klika AK, Higuera CA, Krebs VE, et al. An Update on Venous Thromboembolism Rates and Prophylaxis in Hip and Knee Arthroplasty in 2020. *Med Kaunas Lith.* 2020;56(9):P416.
49. Bond CW, Hackney KJ, Brown SL, Noonan BC. Blood Flow Restriction Resistance Exercise as a Rehabilitation Modality Following Orthopaedic Surgery: A Review of Venous Thromboembolism Risk. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2019;49(1):P17-27.
50. Curty VM, Zovico PVC, Salgueiro RB, Caldas LC, Leite RD, Sousa NMF, et al. Blood Flow Restriction Attenuates Muscle Damage in Resistance Exercise Performed Until Concentric Muscle Failure. *Int J Exerc Sci.* 2023;16(2):P469-481.
51. Curty VM, Melo AB, Caldas LC, Guimarães-Ferreira L, de Sousa NF, Vassallo PF, et al. Blood flow restriction attenuates eccentric exercise-induced muscle damage without perceptual and cardiovascular overload. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2018;38(3):P468-476.
52. Yang J, Ma F, Wang Q, Cui Y, Zheng J. Effect of blood flow restriction with low-load exercise on muscle damage in healthy adults: A systematic review of randomized controlled trials. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2024;44(1):P1-13.
53. 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. *Medicine (Baltimore).* 2021;100(18):E25794.
54. Haute Autorité de Santé. Eléments concourant à la décision d'arthroplastie du genou et du choix de la prothèse [Internet]. Saint-Denis La Plaine; 2013 [cité 18 juin 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-07/elements_concourant_a_la_decision_darthroplastie_du_genou_et_du_choix_de_la_prothese.pdf

55. Suignard N, Labban J, Desseaux A A, Williams T, Dubrana F. Principes techniques de prothèses tricompartimentales du genou de première intention. EMC - Tech Chir - Orthopédique - Traumatol. 2020;40(3):P1-24.
56. Sarpong NO, Boddapati V, Herndon CL, Shah RP, Cooper HJ, Geller JA. Trends in Length of Stay and 30-Day Complications After Total Knee Arthroplasty: An Analysis From 2006 to 2016. J Arthroplasty. 2019;34(8):P1575-1580.
57. Evans JT, Walker RW, Evans JP, Blom AW, Sayers A, Whitehouse MR. How long does a knee replacement last? A systematic review and meta-analysis of case series and national registry reports with more than 15 years of follow-up. Lancet Lond Engl. 2019;393(10172):P655-663.
58. Haute Autorité de Santé. Mesure des complications en chirurgie orthopédique - Infections du site opératoire 3 mois après pose d'une PTH ou d'une PTG ISO-PTH ou ISO-PTG [Internet]. Saint-Denis La Plaine: HAS; 2023 [cité 19 juin 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2023-02/has_resultats_iso_pth_ptg_2022.pdf
59. Haute Autorité de Santé. Mesure des complications en chirurgie orthopédique - Évènements thrombo-emboliques après pose d'une PTH ou d'une PTG ETE- PTH ou ETE-PTG [Internet]. Saint-Denis La Plaine: HAS; 2023 [cité 19 juin 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2023-02/has_resultats_ete_pth_ptg_2022.pdf
60. Churchill L, John Bade M, Koonce RC, Stevens-Lapsley JE, Bandholm T. The past and future of peri-operative interventions to reduce arthrogenic quadriceps muscle inhibition after total knee arthroplasty: A narrative review. Osteoarthr Cartil Open. 2024;6(1):100429.
61. Ma L, Yu X, Weng X, Lin J, Lin J, Qian W, et al. Possible Risk Factors for Severe Complications Occurring after Primary Total Knee Arthroplasty. Chin Med Sci J Chung-Kuo Hsueh Ko Hsueh Tsa Chih. 2022;37(4):P303-308.
62. Kuperman EF, Schweizer M, Joy P, Gu X, Fang MM. The effects of advanced age on primary total knee arthroplasty: a meta-analysis and systematic review. BMC Geriatr. 2016;16:P41.
63. Konnyu KJ, Thoma LM, Cao W, Aaron RK, Panagiotou OA, Bhuma MR, et al. Rehabilitation for Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review. Am J Phys Med Rehabil. 2023;102(1):P19-33.
64. Jette DU, Hunter SJ, Burkett L, Langham B, Logerstedt DS, Piuzzi NS, et al. Physical Therapist Management of Total Knee Arthroplasty. Phys Ther. 2020;100(9):P1603-1631.
65. Schwiete C, Franz A, Roth C, Behringer M. Effects of Resting vs. Continuous Blood-Flow Restriction-Training on Strength, Fatigue Resistance, Muscle Thickness, and Perceived Discomfort. Front Physiol. 2021;12:663665.
66. Haute Autorité de Santé. Guide des connaissances sur l'activité physique et la sédentarité [Internet]. Saint-Denis La Plaine: Haute Autorité de Santé; 2022 [cité 11 juill 2024]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2022-08/guide_connaissance_ap_sedentarite_vf.pdf
67. Haute Autorité de Santé. Liste des échelles acceptées pour mesurer la douleur [Internet]. Saint-Denis La Plaine: Haute Autorité de Santé; 2022 [cité 11 juill 2024]. Disponible sur:

https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2022-01/liste_ecelles_aceptees_2022.pdf

68. INSEE. Outil interactif sur les prénoms [Internet]. 2024 [cité 1 janv 2025]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3532172>
69. Gellhorn AC, Stumph JM, Zikry HE, Creelman CA, Welbel R. Ultrasound measures of muscle thickness may be superior to strength testing in adults with knee osteoarthritis: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):P350.
70. Zhuang M, Shi J, Liu J, He X, Chen N. Comparing the efficacy of low-load resistance exercise combined with blood flow restriction versus conventional-load resistance exercise in Chinese community-dwelling older people with sarcopenic obesity: a study protocol for a randomised controlled trial. *BMC Geriatr.* 2023;23(1):P874.
71. Sun L. Effects of blood flow restriction training on anthropometric and blood lipids in overweight/obese adults: Meta-analysis. *Front Physiol.* 2022;13:1039591.
72. Wei G, Shang Z, Li Y, Wu Y, Zhang L. Effects of lower-limb active resistance exercise on mobility, physical function, knee strength and pain intensity in patients with total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024;25(1):P730.
73. Franz A, Ji S, Bittersohl B, Zilkens C, Behringer M. Impact of a Six-Week Prehabilitation With Blood-Flow Restriction Training on Pre- and Postoperative Skeletal Muscle Mass and Strength in Patients Receiving Primary Total Knee Arthroplasty. *Front Physiol.* 2022;13:881484.
74. Jørgensen SL, Aagaard P, Bohn MB, Hansen P, Hansen PM, Holm C, et al. The Effect of Blood Flow Restriction Exercise Prior to Total Knee Arthroplasty on Postoperative Physical Function, Lower Limb Strength and Patient-Reported Outcomes: A Randomized Controlled Trial. *Scand J Med Sci Sports.* 2024;34(11):E14750.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Facteurs de risque de la TVP.

ANNEXE II : Déclaration de conformité à la MR-004.

ANNEXE III : Livret d'instructions d'utilisation du BFR MAD-UP® dans le cadre du protocole.

ANNEXE IV : Livret d'information Patient sur la rééducation sous BFR.

ANNEXE V : Fiche explicative du test préliminaire.

ANNEXE VI : Fiche d'évaluation du test préliminaire.

ANNEXE VII : Fiche de suivi patient.

ANNEXE VIII : Questionnaires dédiés aux patients et aux thérapeutes.

ANNEXE IX : Tableaux récapitulatifs des paramètres des trois patients durant le protocole.

ANNEXE X : Proposition d'évolution des paramètres du protocole.

ANNEXE I : Facteurs de risques pour la TVP.

Risk factors for VTE [Patterson 2019 (1), Bond 2019 (26)].

- | | |
|---|--|
| • Age ≥ 40 yr | • Lymphectomies |
| • Arterial calcification | • Major general/orthopedic surgery |
| • Atherosclerotic vessels | • Multiple traumas |
| • Blood clotting disorders | • Nonhealing soft tissue injuries |
| • Cancer/tumor | • Obesity |
| • Central catheter | • Open fractures |
| • Crush injuries | • Oral contraceptives |
| • Diabetes | • Peripheral vascular disease |
| • Dialysis | • Physical inactivity |
| • Fractures of pelvis, hip, or long bones | • Pregnancy (perinatal, postnatal) |
| • Grafts (skin, vascular) | • Prior history or family history of VTE |
| • Hypertension | • Renal compromise |
| • Immobility | • Sickle cell anemia |
| • Implanted medical device | • Spinal cord injury |
| • Increased intracranial pressure | • Stroke |
| • Infection (general or local) | • Varicose veins |

This list (while listed in alphabetical order) is not comprehensive, and some may be precautions based on clinical judgment.

Source : Martin PM, Bart RM, Ashley RL, Velasco T, Wise SR. An Overview of Blood Flow Restriction Physiology and Clinical Considerations. Curr Sports Med Rep. 2022;21(4):P123-128.

ANNEXE II : Déclaration de conformité à la MR-004.



Référence CNIL :
2222982 v 0

Déclaration de conformité

au référentiel de méthodologie de référence MR-004

reçue le 9 juillet 2021

Monsieur Pascal GOUILLY
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN
MASSO-KINÉSITHÉRAPIE DE NANCY
57 BIS RUE DE NABÉCOR
54000 NANCY

ORGANISME DÉCLARANT

Nom : INSTITUT LORRAIN DE
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE
DE NANCY

Service :

Adresse : 57 BIS RUE DE NABÉCOR

CP : 54000

Ville : NANCY

N° SIREN/SIRET : 783342215 00028

Code NAF ou APE : 8542Z

Tél. : 0383518333

Fax. :

Par la présente déclaration, le déclarant atteste de la conformité de son/ses traitement(s) de données à caractère personnel au référentiel mentionné ci-dessus.

La CNIL peut à tout moment vérifier, par courrier ou par la voie d'un contrôle sur place ou en ligne, la conformité de ce(s) traitement(s).

Fait à Paris, le 12 juillet 2021

—RÉPUBLIQUE FRANÇAISE—

3 Place de Fontenoy, TSA 80715 – 75334 PARIS CEDEX 07 – 01 53 73 22 22 – www.cnil.fr

Les données personnelles nécessaires à l'accomplissement des missions de la CNIL sont conservées et traitées dans des fichiers destinés à son usage exclusif. Les personnes concernées peuvent exercer leurs droits Informatique et Libertés en s'adressant au délégué à la protection des données de la CNIL via un formulaire en ligne ou par courrier postal.

Pour en savoir plus : <https://www.cnil.fr/donnees-personnelles>

ANNEXE III : Livret d'instructions d'utilisation du BFR MAD-UP® dans le cadre du protocole.

Livret d'instructions BFR



Livret conçu dans le cadre du programme de rééducation post-opératoire pour les prothèses totales du genou (PTG).

Fabrice CABARE
Centre de rééducation FLORENTIN
06/11/2024

Ce livret vise à guider le thérapeute étape par étape dans l'installation et la mise en route du matériel de BFR, dans le cadre du programme post-opératoire de la pose d'une prothèse de genou. Il a été élaboré à partir du livret d'instructions rédigé par le fournisseur MAD-UP®.

Ce guide est divisé en deux parties. La première partie vise à guider le thérapeute dans l'utilisation du MAD-UP lors de la **séance de test préliminaire**. La seconde partie explique la démarche à suivre pour **les séances du programme**.

- GUIDE POUR LA REALISATION DU TEST PRELIMINAIRE p.1

- GUIDE POUR LA REALISATION DES SEANCES DU PROGRAMME p.7

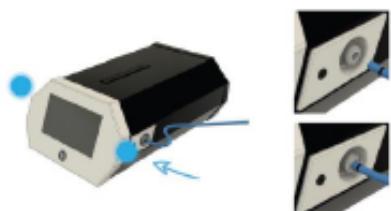
GUIDE POUR LA REALISATION DU TEST PRELIMINAIRE

✓ Etape 1: Démarrage



Mettre l'appareil sous tension en appuyant fermement sur le bouton poussoir pendant 5 secondes. Une série de clignotements lumineux vous indiquera la prise en charge du lancement de l'application.

✓ Etape 2: Branchement pneumatique



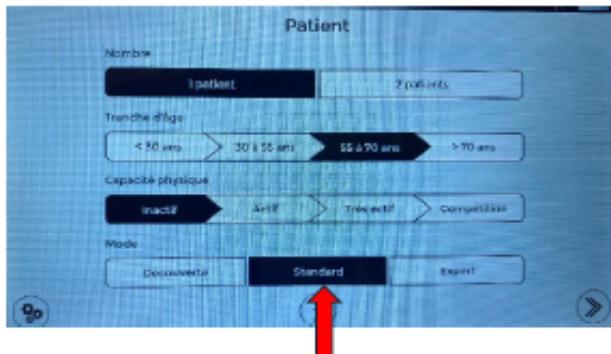
Insérer la tubulure d'un seul côté du MAD-UP ® jusqu'à la butée représentée par la marque de couleur présente sur chaque tubulure.

✓ Etape 3: Positionnement du manchon



Installer le patient sur la table en décubitus dorsal. Prendre le manchon bleu (Taille L) plus adapté pour la cuisse. Puis positionner et ajuster fermement le manchon sur la partie la plus proximale de la cuisse avec le connecteur vers le haut. Ensuite brancher la tubulure en la clipsant.

✓ Etape 4: Sélection des caractéristiques patients



Sélectionner :

- 1 patient
- 55 à 70 ans (peu importe l'âge)
- Inactif
- Standard

Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 5 : Sélection du membre et de la voie**



Sélectionner :

- Membre : Jambe
- Voie : Gauche ou Droite en fonction de la sortie du dispositif choisi.

Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 6 : Sélection du programme**



Sélectionner :

- Programme Libre

Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 7: Positionnement brassard**



Le brassard étant déjà positionné, valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 8: Calibration de la pression**



L'appareil va maintenant se calibrer afin de déterminer la pression nécessaire pour atteindre une occlusion de 100%.

Appuyer sur Lecture pour lancer.

Le patient doit être en décubitus et être détendu au maximum. Un coussin peut être placé sous ses genoux.

Le patient ne doit pas ni parler, ni bouger durant ce calibrage.

Si l'étape de calibrage a échoué, un message apparaîtra et vous demandera de renouveler l'opération.

✓ **Etape 9: Sélection de la pression d'occlusion**



Sélectionner :

- Charge add : Sans

La valeur indiquée entre parenthèses (ici 250 mmHg) correspond à la pression calculée précédemment pour obtenir 100 % d'occlusion.

- Sélectionner la pression à 30%

Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 10: Démarrage du programme libre**



Le brassard se gonfle afin d'atteindre les 30 % d'occlusion correspondant à la valeur indiquée au niveau de la ligne inférieure (ici 75 mmHg). **Retenir cette valeur pour les étapes ultérieures (p.5).**

Réaliser les mobilisation en actif aidé en double flexion (genou et hanche), talon du patient glissant sur la table, durant 1min. Puis appuyer sur « pause » (le brassard se dégonfle). Faire une pause de 30 sec puis relancer le programme en appuyant sur lecture. Le brassard se regonfle. Réaliser alors une 2ème série de mobilisation pendant 1 min.

Appuyer alors sur « STOP » pour arrêter l'exercice. Le brassard se dégonfle. Revenir sur la page d'accueil en appuyant sur le symbole.

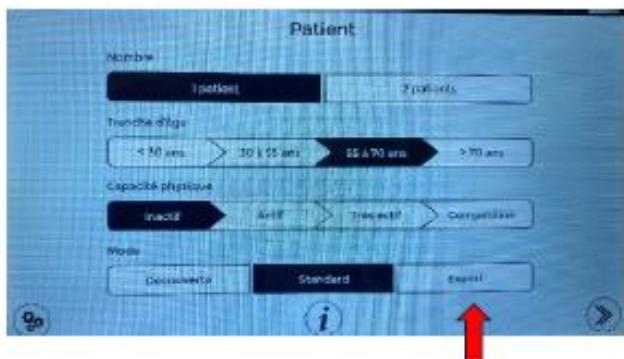
Le premier exercice du test préliminaire est terminé.

Bien penser à retenir la **valeur de pression (en mmHg) pour 30% d'occlusion**.

Demander au patient d'évaluer sa **perception de l'effort et de la douleur** à l'aide des échelles fournies. Les reporter dans la fiche d'évaluation du test préliminaire.

Pour réaliser le deuxième exercice de cette étape préliminaire, procédez de la manière suivante :

✓ **Etape 11: Sélection des caractéristiques patients**



Sélectionner :

- 1 patient
- 55 à 70 ans (peu importe l'âge)
- Inactif
- Expert

Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 12: Sélection du membre et de la voie**



Sélectionner :

- Membre : Jambe
- Voie : Gauche ou Droite en fonction de la sortie du dispositif choisi.

Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 13: Sélection du programme**



Sélectionner :

- Programme Force

Il se traduit par la réalisation d'1 série de 30 mouvements puis de 3 séries de 15 mouvements (30/15/15/15) avec 30s de repos entre chaque série.

Chaque mvmt est cadencé avec 2s en concentrique, 0s en iso et 2s en excentrique (2/0/2).

Valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 14: Positionnement brassard**



Le brassard étant déjà positionné, valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 15: Choix de la pression de travail**



Dans ce mode expert, il n'y a pas de calibration automatique. La pression de travail est saisie manuellement.

Sélectionner :

- Dépressurisé
- La valeur de pression relevée lors du précédent exercice (correspondant à 30% de la pression d'occlusion totale).

Valider en appuyant sur >>.

Il vous sera alors demander de vérifier et de confirmer le choix de la pression pour l'exercice.

Avant de valider, positionner le patient dans la position de réalisation de l'exercice (assis bord de table).

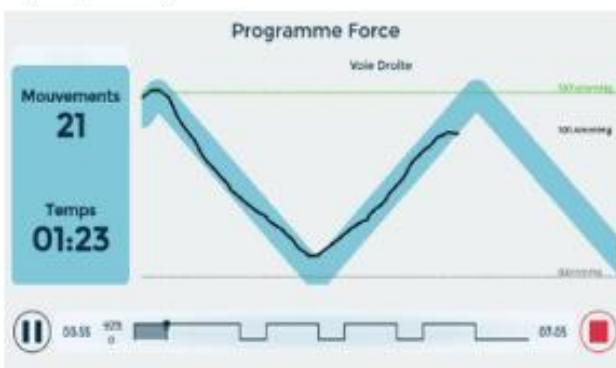
Puis appuyer sur Valider.

✓ **Etape 16: Démarrage de l'exercice**



Le brassard gonfle à la valeur consigne et l'exercice démarre.

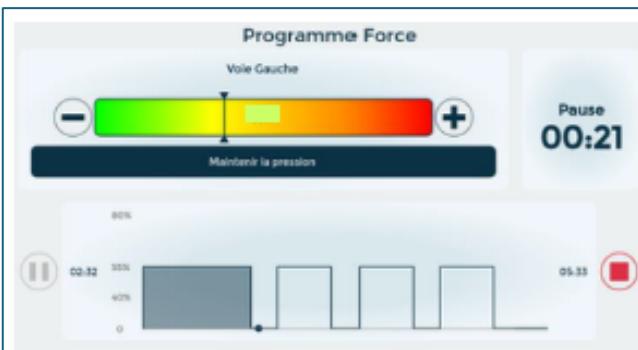
✓ **Etape 17: Suivi de l'exercice**



La courbe bleu clair représente le mouvement que le patient doit suivre. Un signal sonore lui indiquera également la cadence à suivre.

La ligne verte indique la meilleure contraction réalisée. La ligne rouge indique la pression de consigne.

Le patient aura aussi l'indication du nombre de mouvement et du temps restant avant la pause.



Durant la pause, il est possible de dégonfler le brassard. Cette action peut être réalisée si l'inconfort est trop important.

Le brassard se regonflera automatiquement une fois la pause terminée.

✓ Etape 18: Fin du programme

Récapitulatif							
Programme : Force		Mode : Expert		Configuration			
Membre :	Jambe						
Performance							
Série :	Total	1	2	3	4		
Score (%) :	70	87	90	60	25		
Max (mmHg) :	109	109	106	105	105		
Temps (s) :	300	120	60	60	60		
Repos (s) :	150	30	30	30	60		
Difficulté :	1	1	1	1	1		

Appuyer sur pour revenir sur la page d'accueil.

Le test préliminaire est terminé !

Pensez à évaluer la **perception de l'effort et de la douleur** sur ce deuxième exercice et les reporter sur la fiche d'évaluation du test préliminaire.

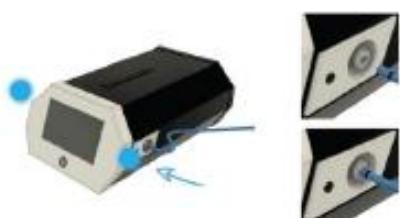
GUIDE POUR LA REALISATION D'UNE SEANCE DU PROGRAMME

✓ Etape 1: Démarrage



Mettre l'appareil sous tension en appuyant fermement sur le bouton poussoir pendant 5 secondes. Une série de clignotements lumineux vous indiquera la prise en charge du lancement de l'application.

✓ Etape 2: Branchement pneumatique



Insérer la tubulure d'un seul côté du MAD-UP PRO® jusqu'à la butée représentée par la marque de couleur présente sur chaque tubulure. (utilisation 1 voie).

✓ Etape 3: Positionnement du manchon



Installer le patient sur la table en décubitus dorsal. Prendre le manchon bleu (Taille L) plus adapté pour la cuisse. Puis positionner et ajuster fermement le manchon sur la partie la plus proximale de la cuisse avec le connecteur vers le haut. Ensuite brancher la tubulure en la clipsant.

✓ Etape 4: Sélection des caractéristiques patients

A screenshot of a software interface titled "Patient". It shows selection criteria: "Nombre" (1 patient), "Tranche d'âge" (55 à 70 ans), "Capacité physique" (Inactif), and "Mode" (Standard). A red arrow points to the "Standard" button in the "Mode" section.

Sélectionner :

- 1 patient
- 55 à 70 ans (peu importe l'âge)
- Inactif
- Standard

Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 5 : Sélection du membre et de la voie**



Sélectionner :

- Membre : Jambe
- Voie : Gauche ou Droite en fonction de la sortie du dispositif choisi.

Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 6 : Sélection du programme**



Sélectionner :

- Programme Force

Il se traduit par la réalisation d'1 série de 30 mouvements puis de 3 séries de 15 mouvements (30/15/15/15) avec 30s de repos entre chaque série.

Chaque mvmt est cadencé avec 2s en concentrique, 0s en iso et 2s en excentrique (2/0/2).

Valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 7: Positionnement brassard**



Le brassard étant déjà positionné, valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 8: Calibration de la pression**



L'appareil va maintenant se calibrer afin de déterminer la pression nécessaire pour atteindre une occlusion de 100%.

Appuyer sur Lecture pour lancer.

Le patient doit être en décubitus et être détendu au maximum. Un coussin peut être placé sous ses genoux.

Le patient ne doit pas ni parler, ni bouger durant ce calibrage.

Si l'étape de calibrage a échoué, un message apparaîtra et vous demandera de renouveler l'opération.

✓ **Etape 9: Sélection de la pression d'occlusion**



Sélectionner :

- Charge additionnelle : **Sans**
- Repos : **Voir consignes programme.**

NB : si l'inconfort du patient est important, il est possible d'activer le mode Dépressurisé qui dégonflera le brassard à chaque pause.

La valeur indiqué entre parenthèse (ici 206mmHg) correspond à la pression calculée précédemment pour obtenir 100% d'occlusion.

- Sélectionner la pression définie par le programme (ici 55% pour exemple).

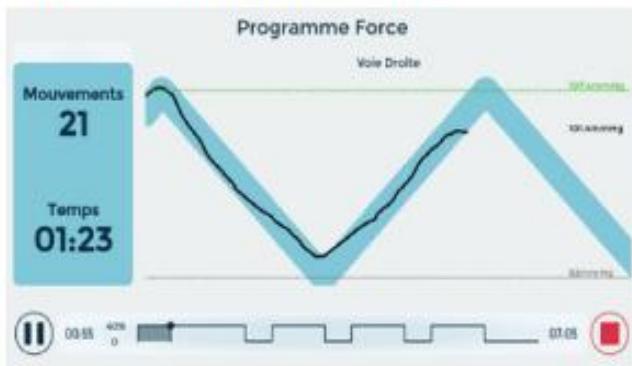
Avant de valider, positionner le patient dans la position de réalisation de l'exercice (assis bord de table). Puis valider en appuyant sur >>.

✓ **Etape 10: Démarrage de l'exercice**



Le brassard gonfle à la valeur consigne et l'exercice démarrera.

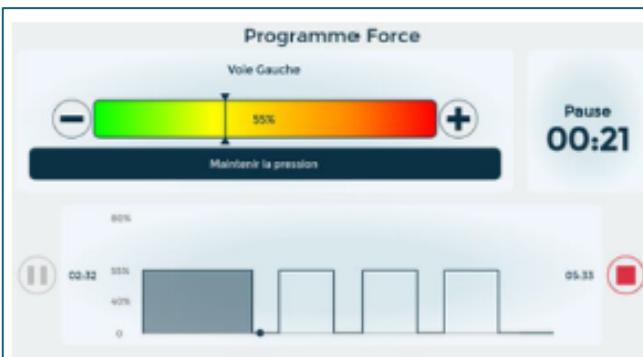
✓ **Etape 11: Suivi de l'exercice**



La courbe bleu clair représente le mouvement que le patient doit suivre. Un signal sonore lui indiquera aussi la cadence à suivre.

La ligne verte indique la meilleure contraction réalisée. La ligne indique la pression de consigne.

Le patient aura aussi l'indication du nombre de mouvement et du temps restant avant la pause.



Durant la pause, il est possible de dégonfler le brassard. Cette action peut être réalisée si l'inconfort est trop important.

Le brassard se regonflera automatiquement une fois la pause terminée.

✓ Etape 12: Fin du programme

Récapitulatif						
Configuration						
Programme :	Force	Mode :	Expert			
Membre : Jambe						
Performance						
Série :	Total	1	2	3		
Score (%) :	70	87	90	60		
Max (mmHg) :	109	109	106	105		
Temps (s) :	300	120	60	60		
Repos (s) :	150	30	30	60		
Difficulté :	1	1	1	1		

[Revenir](#)



Appuyer sur pour revenir sur la page d'accueil.

La séance est terminée.

Pensez à **évaluer la perception de l'effort et de la douleur** sur ce deuxième exercice et les reporter sur la fiche d'évaluation du test préliminaire.

ANNEXE IV : Livret d'information Patient sur la rééducation sous BFR.

APPLICATION DU BFR

Les séances sous BFR durent **environ 10 minutes** et s'effectuent durant vos séances de kinésithérapie.

Votre thérapeute vous placera un **bracelet gonflable** au niveau de la partie supérieure de votre cuisse.

Une **étape de calibration**, procurant une sensation comparable à celle d'une prise de tension, sera réalisée pendant quelques secondes.

Ensuite, le thérapeute **paramétrera la pression** nécessaire pour votre exercice.

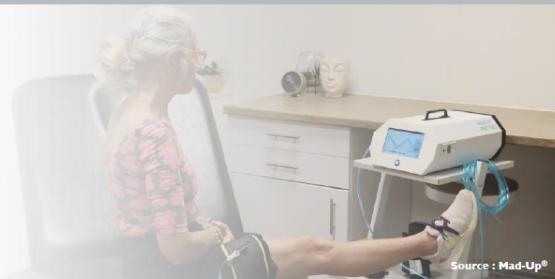
Durant les séances de BFR, votre thérapeute vous demandera d'évaluer la perception de l'effort et de la douleur. **Les niveaux de pressions pourront être adaptés** en fonction de votre ressenti et vous pourrez décider à tout moment d'**arrêter votre rééducation sous BFR**.

Pour toute information complémentaire, **n'hésitez pas à solliciter votre médecin ou votre masseur-kinésithérapeute du centre.**

OHS de LORRAINE
CENTRE DE REEDUCATION FLORENTIN
2 Rue Des Cinq Piques - 54000 NANCY
Tel : 03 83 86 91 43



Fiche d'Information Patient



Le renforcement musculaire avec le BFR

(Blood Flow Restriction)

QU'EST-CE QUE LE BFR ?

Le BFR, ou restriction du flux sanguin, est une méthode de rééducation et de renforcement musculaire **limitant partiellement le flux sanguin** vers les muscles par un **dispositif de compression**. Cette technique permet de réaliser des exercices avec une charge plus légère tout en obtenant des résultats similaires à ceux d'un exercice avec des charges lourdes en termes de force et de volume musculaire.

Cette technique est particulièrement intéressante à intégrer dans le programme de rééducation en post-opératoire d'une arthroplastie de genou. Cette intervention chirurgicale entraîne notamment une inhibition et une perte de force du quadriceps. L'un des objectifs de votre rééducation sera de récupérer cette force. L'ajout du BFR durant les exercices de renforcement musculaire permet ainsi **d'accélérer la récupération fonctionnelle**.

Le principe du BFR consiste à réduire temporairement le flux sanguin pendant l'exercice. Ce processus entraîne des réactions métaboliques qui permettent de **limiter la perte de force et de volume musculaire** et favorisent leur récupération.



PRECAUTIONS ET EFFETS SECONDAIRES

Avant toute rééducation sous BFR, un accord préalable du médecin du centre sera donné après l'analyse de vos risques cardio-vasculaires.

De plus, un test préliminaire sera effectué afin d'évaluer l'inconfort que vous pourriez percevoir avec l'équipement. Si ce dernier est trop important, le BFR ne sera pas utilisé durant votre rééducation au centre.

Afin de garantir un suivi optimal, la présence de votre kinésithérapeute sera effective pendant toute la durée de la séance.

Malgré ses nombreux bénéfices, le BFR peut présenter certains effets secondaires :

- **Inconfort ou douleur locale** liée à la compression.
- **Sensations de fourmillement ou d'engourdissement** durant la séance.
- Exceptionnellement, lors de la première séance, une **sensation de malaise vagal**.



ANNEXE V : Fiche d'explication du test préliminaire.

Test préliminaire à la rééducation sous BFR

❖ Objectif :

Ce test préliminaire a pour objectif de s'assurer que le patient supporte la pression exercée par le brassard et de vérifier l'absence d'effets secondaires. Il permet également au patient de faire une première approche de l'équipement et de se familiariser avec celui-ci.

❖ Méthodologie :

➤ 1^{ère} étape : Information au patient + remise du livret

Le thérapeute présente au patient le principe du BFR en s'appuyant sur les informations du livret qu'il lui remet par la suite. Il lui évoque aussi les effets secondaires possibles et obtient le consentement oral du patient pour l'utilisation du BFR (cf. livret d'information Patient).

➤ 2^{ème} étape : Réalisation d'un exercice activo-passif

Patient en décubitus, le thérapeute règle la pression d'occlusion à 30 % et lance le programme « Libre » (*voir livret d'instructions BFR*). Il effectue ensuite des mouvements en actif aidé de double flexion (hanche et genou) à un rythme lent et selon les amplitudes tolérées par le patient. Ces mobilisations sont effectuées 2 x 1 minute avec une pause de 30 s entre les 2 séries. Le brassard sera dégonflé durant la pause.

À la fin de la 2^{eme} série, on arrête le programme. Le brassard se dégonfle progressivement. Observer un temps de repos de 5 min avant de passer à l'étape 3. Pendant ce repos, le patient évalue sa perception de l'effort (Échelle de Borg modifiée) et sa douleur (Échelle Numérique).

➤ 3^{ème} étape : Réalisation d'un exercice actif dynamique

Le patient va ensuite réaliser un exercice actif pour contracter le quadriceps sous occlusion. Pour se conformer au programme à venir, le patient effectuera des extensions de genou en position assise au bout de la table, contre la pesanteur. La pression d'occlusion sera réglée à 30 %. Le programme à réaliser sera « Force », consistant en une première série de 30 répétitions suivie de trois séries de 15 répétitions, avec 30 secondes de repos entre chaque série sans pressurisation (*voir livret d'instructions BFR*). La même évaluation que celle de l'étape 2 sera réalisée à la fin de l'exercice.



ANNEXE VI : Fiche d'évaluation du test préliminaire

Fiche d'évaluation du test préliminaire

Date du test : Nom du thérapeute :

Explication et remise livret d'information : Oui

Evaluation de la douleur initiale

/ 10 Localisation :

Exercice 1 : Réalisation de mobilisation activo-passive sous occlusion à 30%

- L'exercice a-t-il pu être réalisé dans son ensemble? : Oui Non

Si non, merci de préciser la raison :

- Evaluation de la perception de l'effort : (présenter au patient l'échelle au verso)

/ 10 Remarques:

- Evaluation de la douleur: (présenter au patient l'échelle au verso)

/ 10 Remarques:

Exercice 2 : Réalisation d'extension de genou en actif sous occlusion à 30%

- L'exercice a-t-il pu être réalisé dans son ensemble? : Oui Non

Si non, merci de préciser la raison :

- Evaluation de la perception de l'effort : (présenter au patient l'échelle au verso)

/ 10 Remarques:

- Evaluation de la douleur: (présenter au patient l'échelle au verso)

/ 10 Remarques:

Evaluation des effets secondaires

Cette partie permet d'évaluer la présence d'effets secondaires durant la séance et/ou relatée par le patient lors de la séance suivante. Merci de les préciser ci-dessous :

➔ Durant la séance : Picotement Evanouissement Autres :

RAS

➔ Relatée à la séance suivante : (Préciser la date de la séance :

Hématomes sous-cutanés Courbatures Fatigue musculaire importante

Signes de phlébite Autres :

RAS

Validation du test préliminaire

Les critères de validation sont la réalisation complète des 2 exercices, une note inférieure ou égale à 7 concernant la perception de l'effort et de la douleur ainsi que l'absence d'effets secondaires notoire durant la séance et post-séance.

Validation du test préliminaire : Oui Non

Date et Signature thérapeute:

ANNEXE VII : Fiche suivi patient

Fiche Suivi Patient

Nom du patient:

Validation du test préliminaire: Oui Non

Bilan initial	<p>Séance 0 (A faire au début de la séance 1)</p> <p>• Douleur : /10 Localisation :</p> <p>• Mesure Circonférence : +15 cm : +10 cm : Centre Patella : Côté sain +15 cm : +10 cm : Centre Patella :</p> <p>• Mesure Force musculaire : kg (maximum sur les 3 essais) Côté sain : kg (maximum sur les 3 essais)</p>	<u>Date :</u>
	<u>Remarques:</u>	

Séance 1	<p>Séance 1</p> <p>• Douleur début séance : /10 Localisation :</p> <p>• POA :% Dépressurisation au repos : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Charge additionnelle :Kg</p> <p>• Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10</p> <p>• Réalisation programme entier : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON (Si non, précisez l'échec : <u>Série</u> : .../4 <u>Nbre rep</u> :)</p>	<u>Date :</u>
	<u>Remarques:</u>	

Séance 2	<p>Séance 2</p> <p>• Douleur début séance : /10 Localisation :</p> <p>• POA :% Dépressurisation au repos : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Charge additionnelle :Kg</p> <p>• Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10</p> <p>• Réalisation programme entier : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON (Si non, précisez l'échec : <u>Série</u> : .../4 <u>Nbre rep</u> :)</p>	<u>Date :</u>
	<u>Remarques:</u>	

Séance 3	<p>Séance 3</p> <p>• Douleur début séance : /10 Localisation :</p> <p>• POA :% Dépressurisation au repos : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Charge additionnelle :Kg</p> <p>• Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10</p> <p>• Réalisation programme entier : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON (Si non, précisez l'échec : <u>Série</u> : .../4 <u>Nbre rep</u> :)</p>	<u>Date :</u>
	<u>Remarques:</u>	

Séance 4**Date :**

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :

Remarques:**Séance 5****Date :**

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :

Remarques:**Séance 6****Date :**

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :

Remarques:**Séance 7****Date :**

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :

Remarques:**Séance 8****Date :**

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :

Remarques:

Bilan intermédiaire

Séance 9 (A faire au début de la séance 9)

Date :

- Douleur : /10 Localisation :
- Mesure Circonférence : +15 cm : +10 cm : Centre Patella :
Côté sain +15 cm : +10 cm : Centre Patella :
- Mesure Force musculaire : kg (maximum sur les 3 essais)
Côté sain : kg (maximum sur les 3 essais)

Remarques:

Séance 9

Date :

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :)

Remarques:

Séance 10

Date :

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :)

Remarques:

Séance 11

Date :

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :)

Remarques:

Séance 12

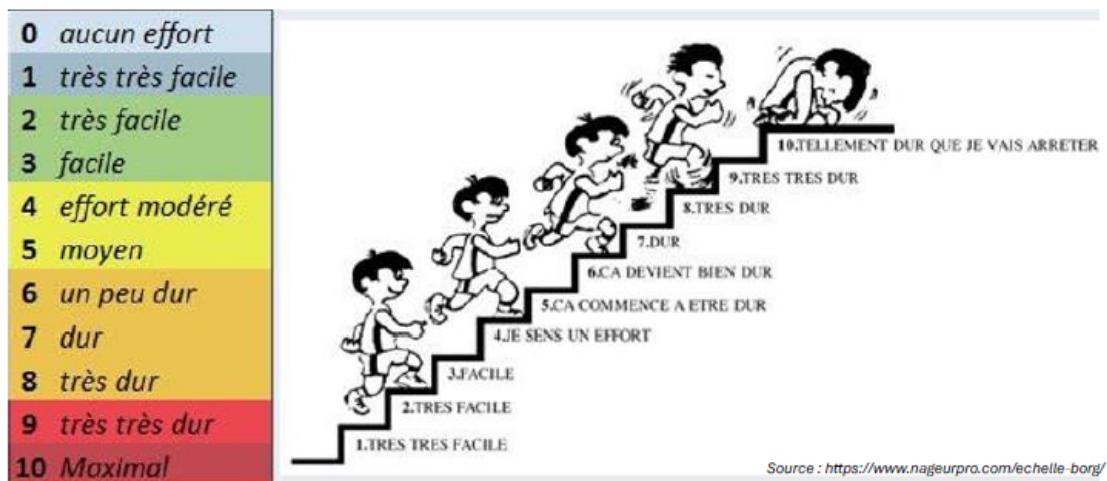
Date :

- Douleur début séance : /10 Localisation :
- POA :% Dépressurisation au repos : OUI NON Charge additionnelle :Kg
- Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10
- Réalisation programme entier : OUI NON (Si non, précisez l'échec : Série : .../4 Nbre rep :)

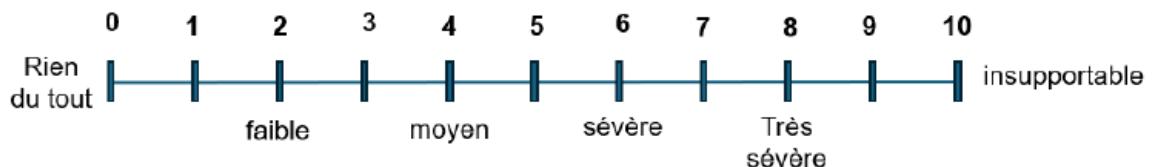
Remarques:

Bilan final	<p><u>Séance 13</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Douleur début séance : /10 Localisation : POA :% Dépressurisation au repos : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Charge additionnelle :Kg Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10 Réalisation programme entier : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON (Si non, précisez l'échec : <u>Série</u> : .../4 <u>Nbre rep</u> :) <p><u>Remarques:</u></p>	<u>Date :</u>
	<p><u>Séance 14</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Douleur début séance : /10 Localisation : POA :% Dépressurisation au repos : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Charge additionnelle :Kg Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10 Réalisation programme entier : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON (Si non, précisez l'échec : <u>Série</u> : .../4 <u>Nbre rep</u> :) <p><u>Remarques:</u></p>	<u>Date :</u>
	<p><u>Séance 15</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Douleur début séance : /10 Localisation : POA :% Dépressurisation au repos : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Charge additionnelle :Kg Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10 Réalisation programme entier : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON (Si non, précisez l'échec : <u>Série</u> : .../4 <u>Nbre rep</u> :) <p><u>Remarques:</u></p>	<u>Date :</u>
	<p><u>Séance 16</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Douleur début séance : /10 Localisation : POA :% Dépressurisation au repos : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Charge additionnelle :Kg Evaluation perception de l'effort post-BFR : /10 Douleur post-BFR : /10 Réalisation programme entier : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON (Si non, précisez l'échec : <u>Série</u> : .../4 <u>Nbre rep</u> :) <p><u>Remarques:</u></p>	<u>Date :</u>
	<p>Séance bilan final (à faire à distance de la dernière séance) <u>Date :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Douleur : /10 Localisation : Mesure Circonférence : +15 cm : +10 cm : Centre Patella : Côté sain : +15 cm : +10 cm : Centre Patella : Mesure Force musculaire : kg (maximum sur les 3 essais) Côté sain : kg (maximum sur les 3 essais) Remplissage questionnaire patient : <input type="checkbox"/> Oui <p><u>Remarques:</u></p>	

Echelle de la Perception de l'effort (BORG modifiée)



Echelle d'évaluation de la douleur (Echelle numérique)



ANNEXE VIII : Questionnaires dédiés aux patients et aux thérapeutes.

Questionnaire BFR destiné au patient

Date : N° d'anonymat patient (ne pas remplir) :

1- Le BFR a-t-il été facile à supporter pendant ma rééducation ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

2- Les exercices avec le BFR ont-ils été facilement réalisables:

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

3- Le BFR m'a-t-il provoqué des douleurs **pendant** les séances ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

4- Le BFR m'a-t-il provoqué des douleurs **après** les séances ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

5- Le BFR m'a-t-il provoqué une fatigue musculaire importante **après** les séances ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

6- Quelle est votre satisfaction globale concernant votre rééducation avec le BFR ?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pas du tout satisfaisant	Pas satisfaisant	Plutôt pas satisfaisant	Plutôt satisfaisant	Satisfaisant	Tout à fait satisfaisant

7- Seriez-vous prêt à réutiliser le BFR pour une autre rééducation ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Tournez la page SVP



8- Avez-vous des remarques, suggestions à proposer concernant le BFR ?

Le questionnaire est maintenant terminé ! Un grand merci pour votre temps et votre aide !

Questionnaire BFR destiné au thérapeute

Date : N° d'anonymat thérapeute (ne pas remplir) :

1- Le BFR est-il facile à utiliser (mise en route, calibration, suivi du programme...) ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

2- Le BFR est-il facile à installer / retirer ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

3- Le temps de mise en place du BFR a été un frein à son utilisation ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

4- Le BFR s'est-il intégré facilement dans vos séances de rééducation ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

5- Comment évaluerez-vous la sécurité de l'équipement ?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pas du tout sécuritaire	Pas sécuritaire	Plutôt pas sécuritaire	Plutôt sécuritaire	Sécuritaire	Tout à fait sécuritaire

6- Quelle est votre satisfaction globale concernant le BFR ?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pas du tout satisfaisant	Pas satisfaisant	Plutôt pas satisfaisant	Plutôt satisfaisant	Satisfaisant	Tout à fait satisfaisant

7- Seriez-vous prêt à proposer le BFR à d'autres patients ?

<input type="checkbox"/>					
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Tournez la page SVP



8- Recommanderiez-vous le BFR à vos collègues ?

<input type="checkbox"/>					
Fortement déconseillé	Déconseillé	Plutôt déconseillé	Plutôt recommandé	Recommandé	Fortement recommandé

9- Avez-vous des remarques, suggestions à proposer concernant le BFR ?

Le questionnaire est maintenant terminé ! Un grand merci pour votre temps et votre aide !

ANNEXE IX : Tableaux récapitulatifs des paramètres des trois patients durant le protocole.

Fiche de suivi du protocole de Sylvie												
Séance	Date de la séance	N° Etape du protocole	% POA	Préssurisation au repos	Charge additionnelle réalisée (%)	% réalisation exercice	Douleur initiale	Douleur pendant l'exercice	Perception de l'effort secondaires	Effets secondaires	Passage à l'étape suivante	Commentaires
1	02/12/2024	1	40%	Non	0	100%	2	6	5	NON	NON	Douleur localisée face postérieure et médiale du genou
2	03/12/2024	1	40%	Non	0	100%	1	3	4	NON	OUI	Douleur localisée face médiale
3	05/12/2024	2	40%	Oui	0	100%	2	3	4	NON	OUI	Douleur localisée face médiale
4	06/12/2024	3	45%	Oui	0	100%	2	3	4	NON	OUI	Douleur localisée face antérieure (au niveau de la cicatrice)
5	09/12/2024	4	50%	Oui	0	100%	1	3	2	NON	OUI	RAS
6	10/12/2024	5	55%	Oui	0	100%	1	2	4	NON	OUI	Douleur localisée au niveau du tendon patellaire durant l'exercice
7	11/12/2024	6	60%	Oui	0	100%	1	2	3	NON	OUI	Sensation de craquement du genou
8	12/12/2024	7	60%	Oui	0,5	100%	2	3	4	NON	OUI	Douleur initiale en face médiale et tendon patellaire. Diminuée après l'exercice avec une douleur plutôt localisée au niveau du quadriceps
9	16/12/2024	8	60%	Oui	1	100%	2	2	3	NON	OUI	Sensation de brûlure au pourtour de la patella en début d'exercice
10	17/12/2024	9	60%	Oui	1,5	100%	1	2	3	NON	OUI	Sensation de brûlure au pourtour de la patella en début d'exercice
11	19/12/2024	10	60%	Oui	2	100%	1	3	3	NON	OUI	Sensation de brûlure au pourtour de la patella en début d'exercice
12	20/12/2024	11	60%	Oui	2,5	100%	1	2	4	NON	OUI	Sensation de brûlure au pourtour de la patella en début d'exercice

Fiche de suivi du protocole d'isabelle

Séance	Date de la séance	N° Etape du protocole	% POA	Préssurisation au repos	Charge additionnelle (kg)	% réalisation exercice	Douleur initiale	Douleur pendant l'exercice	Perception de l'effort	Effets secondaires	Passage à l'étape suivante	Commentaires
1	10/12/2024	1	40%	Non	0	100%	2	3	4	NON	OUI	Douleur localisée au niveau de la cicatrice
2	11/12/2024	2	40%	Oui	0	100%	2	3	4	NON	OUI	Douleur localisée au niveau de la cicatrice
3	12/12/2024	3	45%	Oui	0	100%	2	3	3	NON	OUI	Douleur localisée au niveau de la cicatrice + un peu vers la cuisse
4	16/12/2024	4	50%	Oui	0	100%	0	1	3	NON	OUI	RAS
5	17/12/2024	5	55%	Oui	0	100%	0	1	3	NON	OUI	RAS
6	19/12/2024	6	60%	Oui	0	100%	0	1	3	NON	OUI	RAS
7	20/12/2024	7	60%	Oui	0,5	100%	0	1	3	NON	OUI	RAS

Fiche de suivi du protocole de Philippe

Séance	Date de la séance	N° Etape du protocole	% POA au repos	Genou Droit				Genou Gauche				Passage à l'étape suivante	Commentaires	
				Préssurisation additionnelle (kg)	Charge réalisation exercice	% Douleur initiale	Douleur pendant l'exercice	Perception de l'effort	Douleur initiale	Douleur pendant l'exercice	Perception de l'effort	Effets secondaires		
1	10/12/2024	1	40%	Non	0	100%	1	4	5	1	5	6	NON	OUI
2	11/12/2024	2	40%	Oui	0	100%	2	3	5	3	3	5	NON	OUI
3	12/12/2024	3	45%	Oui	0	100%	3	4	4	3	4	5	NON	OUI
4	16/12/2024	4	50%	Oui	0	100%	1	2	3	1	2	3	NON	OUI
5	17/12/2024	5	55%	Oui	0	100%	2	2	3	2	3	3	NON	OUI
6	19/12/2024	6	60%	Oui	0	100%	0	2	3	0	3	4	NON	OUI
7	20/12/2024	7	60%	Oui	0,5	100%	3	2	3	3	2	3	NON	OUI
8	23/12/2024	8	60%	Oui	1	100%	1	2	3	1	2	3	NON	OUI
9	24/12/2024	9	60%	Oui	1,5	100%	1	2	3	1	2	3	NON	OUI
10	26/12/2024	10	60%	Oui	2	100%	1	1	3	1	1	3	NON	OUI
11	27/12/2024	11	60%	Oui	2,5	100%	1	1	2	1	2	2	NON	OUI
12	30/12/2024	12	60%	Oui	3	100%	1	3	3	1	2	2	NON	OUI

ANNEXE X : Proposition d'évolution des paramètres du protocole.

Paramètres	Phase 1 Adaptation à la pression du BFR		Phase 2 Augmentation du nombre de répétitions		Phase 3 Augmentation progressive de la POA (en palier de 10%)		Phase 4 Augmentation progressive de la charge additionnelle (en palier de 0,5 kg)		Étape suivante	
	Test préliminaire	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4	Étape 5	Étape 6	Étape 7	Étape 8	
% POA	30%	40%	40%	40%	50%	60%	70%	70%	70%	
Pressurisation au repos	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	
Nombre de répétitions	1x 75	1x75	1x75	2x75	2x75	2x75	2x75	2x75	2x75	
Charge additionnelle (kg)	0	0	0	0	0	0	0,5	1	+0,5	

RÉSUMÉ/ABSTRACT

Rééducation sous restriction du flux sanguin en post-opératoire d'une arthroplastie totale de genou chez la personne âgée : une étude de faisabilité.

Introduction : La prothèse totale de genou (PTG) est une intervention en constante augmentation, notamment chez la personne âgée. Les contraintes post-opératoires restreignent l'utilisation de charges lourdes dans la récupération musculaire. La restriction du flux sanguin, ou blood flow restriction (BFR), en favorisant le stress métabolique, apparaît comme une alternative intéressante pour optimiser le gain de force et de volume musculaire. Cependant, peu d'études ont exploré son application en phase post-opératoire de PTG chez la personne âgée. Cette étude vise à évaluer la faisabilité d'une rééducation sous BFR, en mesurant la perception de l'effort et de la douleur des patients.

Matériel et Méthode : Une étude de faisabilité, portant sur trois patients « cas cliniques » en phase post-opératoire précoce, a été réalisée dans un centre de rééducation. Le protocole s'est étendu sur deux à trois semaines avec quatre séances de BFR hebdomadaires en complément de leur rééducation kinésithérapeutique. La perception de l'effort a été mesurée avec l'échelle de Borg modifiée et la douleur par l'échelle numérique, après chaque séance. En fin de rééducation, un questionnaire de retour d'expérience a été proposé aux patients et au thérapeute. La force et le volume quadriceps ont été évalués comme critères secondaires.

Résultats : Les patients ont globalement ressenti une faible perception de l'effort et de la douleur, avec une diminution progressive au fil des séances. L'effort perçu est passé de 4-6/10 à 2-4/10, tandis que la douleur a diminué de 3-6/10 à 1-3/10. Aucun effet secondaire n'a été observé, et les patients ont rapidement adhéré à la méthode, exprimant un retour d'expérience positif. Concernant le thérapeute, le BFR s'est révélé facile à utiliser, intégrable sans difficulté dans les séances de rééducation, et sécurisé. Une tendance au gain de force du quadriceps a été observée, mais des études spécifiques sont nécessaires pour établir un lien clair avec l'utilisation du BFR.

Discussion et Conclusion : Cette étude a montré que le BFR s'avère être une méthode applicable pour la rééducation post-opératoire de PTG chez la personne âgée. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats, optimiser le protocole et valider son efficacité.

Mots clés : Arthroplastie totale de genou, Blood flow restriction, Rééducation post-opératoire, Personne âgée.

Blood flow restriction rehabilitation in elderly patients following total knee arthroplasty in elderly patients : a feasibility study.

Introduction : Total knee arthroplasty (TKA) is a procedure which is being used more and more, particularly among the elderly. Postoperative constraints limit the use of heavy loads in muscle recovery. Blood Flow Restriction (BFR), by promoting metabolic stress, emerges as an interesting alternative to optimize improvements in muscle strength and volume. However, few studies have explored its application in the postoperative phase of TKA in elderly patients. This study aims to assess the feasibility of rehabilitation under BFR by measuring patients' perception of effort and pain.

Materials and Methods : A feasibility study involving three « clinical cases » patients in the early postoperative phase was conducted in a rehabilitation center. The protocol spanned two to three weeks with four BFR sessions per week in addition to their physiotherapy rehabilitation. Perceived effort was measured using the modified Borg scale, and pain was assessed using the numerical rating scale after each session. At the end of the rehabilitation program, a feedback questionnaire was provided to both the patients and the therapist. Quadriceps strength and volume were evaluated as secondary criteria.

Results : Patients generally reported low levels of perceived effort and pain, with a progressive decrease over the sessions. Perceived effort decreased from 4–6/10 to 2–4/10, while pain levels dropped from 3–6/10 to 1–3/10. No side effects were observed, and patients quickly embraced the method, expressing satisfaction and providing positive feedback. From the therapist's perspective, BFR was easy to use, seamlessly integrated into rehabilitation sessions, and deemed safe. A trend toward quadriceps strength improvement was noted, although specific studies are needed to establish a clear link to the use of BFR.

Discussion and Conclusion : This study showed that BFR proves to be a feasible method for postoperative rehabilitation following TKA in elderly patients. Further research is needed to confirm these findings, optimize the protocol, and validate its effectiveness.

Keywords: Total knee arthroplasty, Blood flow restriction, Postoperative rehabilitation, Elderly.