

# Entraînement avec occlusion vasculaire : mécanismes et applications

Dr MOHAMED GUEDRIA<sup>a</sup>, CYRIL BESSON<sup>a</sup>, Pr GRÉGOIRE P. MILLET<sup>b</sup> et Pr VINCENT GREMEAUX<sup>a,b</sup>

Rev Med Suisse 2022; 18: 1464-9 | DOI : 10.53738/REVMED.2022.18.790-2.1464

Les directives traditionnelles stipulent qu'un développement musculaire nécessite un entraînement avec une charge minimale correspondant à 70% du maximum d'une répétition (1RM). Cependant, des preuves récentes suggèrent que l'entraînement à faible charge (20-40% de 1RM), combiné à une restriction modérée du flux sanguin (Blood Flow Restriction, BFR), peut également entraîner des améliorations de la masse et de la force musculaires. Alors que le BFR a d'abord été principalement étudié sur des populations cliniques, de nouveaux travaux rapportent son efficacité en milieu sportif. Cet article présente les mécanismes, les méthodes, les protocoles, les risques ainsi que les effets connus du BFR.

## Exercise training with blood flow restriction: mechanisms and applications

*Traditional guidelines state that substantial muscle development requires training at least 70% of the one-repetition maximum (1RM) load. However, recent evidence has proven that low load training (20-40% 1RM) combined with moderate blood flow restriction (BFR) can also lead to improvements in muscle mass and strength. While BFR has primarily been studied in clinical populations, emerging evidence demonstrates the effectiveness of BFR in sport. This article displays the mechanisms, methods, protocols, risks, and known effects of BFR.*

## INTRODUCTION

Les méthodes d'entraînement utilisant une limitation de la fourniture d'oxygène, que ce soit au niveau ambiant (hypoxie systémique) ou périphérique (hypoxie localisée), suscitent un intérêt scientifique croissant ainsi que de nombreux développements cliniques.<sup>1</sup> Parmi ces différentes méthodes, la restriction du flux sanguin par occlusion vasculaire, initialement développée au Japon sous le nom de «kaatsu training», s'est développée, principalement dans le domaine de la rééducation et des sciences du sport, et est maintenant communément appelée «Blood Flow Restriction» (BFR). Elle utilise une réduction du flux sanguin (c'est-à-dire ischémie relative) dans le (les) membre(s), pendant que le sujet réalise un exercice à faible charge, en utilisant des brassards gonflables qui obstruent partiellement le flux artériel et restreignent complètement le retour veineux.

Le but de cet article est de décrire les mécanismes d'action supposés de cette méthode, ainsi que les conditions d'appli-

cation, les risques, et de rapporter les principaux résultats de la littérature en médecine du sport.

## MÉCANISMES SUPPOSÉS

Le BFR active plusieurs voies cellulaires qui entraînent finalement une augmentation de la masse et de la force musculaires (figure 1):

- L'obstruction du flux veineux induit un œdème cellulaire par accumulation de liquide au niveau périphérique. Cet œdème stimule l'anabolisme musculaire en activant les voies mTOR (Mammalian Target of Rapamycin) et MAPK (Mitogen-Activated Protein Kinase).
- L'accumulation de métabolites tels que les lactates s'accompagne d'une acidose intramusculaire qui va stimuler l'activité nerveuse sympathique par le biais des métaborecepteurs intramusculaires et des fibres afférentes des groupes III et IV, entraînant le recrutement de fibres musculaires à contraction rapide de type IIa et IIx, et ce, même avec de faibles charges d'entraînement.
- L'accumulation de métabolites entraîne également la libération de l'hormone de croissance (GH) qui, d'une part, favorise la synthèse de collagène et, d'autre part, induit la libération de l'IGF-1 (Insulin-Like Growth Factor 1), qui active les cellules satellites. Ces cellules souches musculaires activées prolifèrent initialement sous forme de myoblastes squelettiques avant de subir une différenciation myogénique.
- La nNOS (Neuronal Nitric Oxide Synthase), par induction de la voie de signalisation HGF/c-Met (Hepatocyte Growth Factor/Mesenchymal-Epithelial Transition Factor), régule aussi l'activation des cellules satellites.
- En même temps, sous l'effet de l'hypoxie induite par une restriction du flux artériel a minima, un lit vasculaire se reforme par angiogenèse grâce à l'expression du facteur de croissance de l'endothélium vasculaire (VEGF) et du facteur 1 $\alpha$  inductible par l'hypoxie (HIF-1 $\alpha$ ).<sup>3</sup>

Le stress métabolique créé par la cascade des événements précédemment cités et le stress mécanique induit par l'exercice physique et la pression du brassard sont responsables de l'ensemble des adaptations musculaires lors d'un entraînement avec BFR (figure 2).

## ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

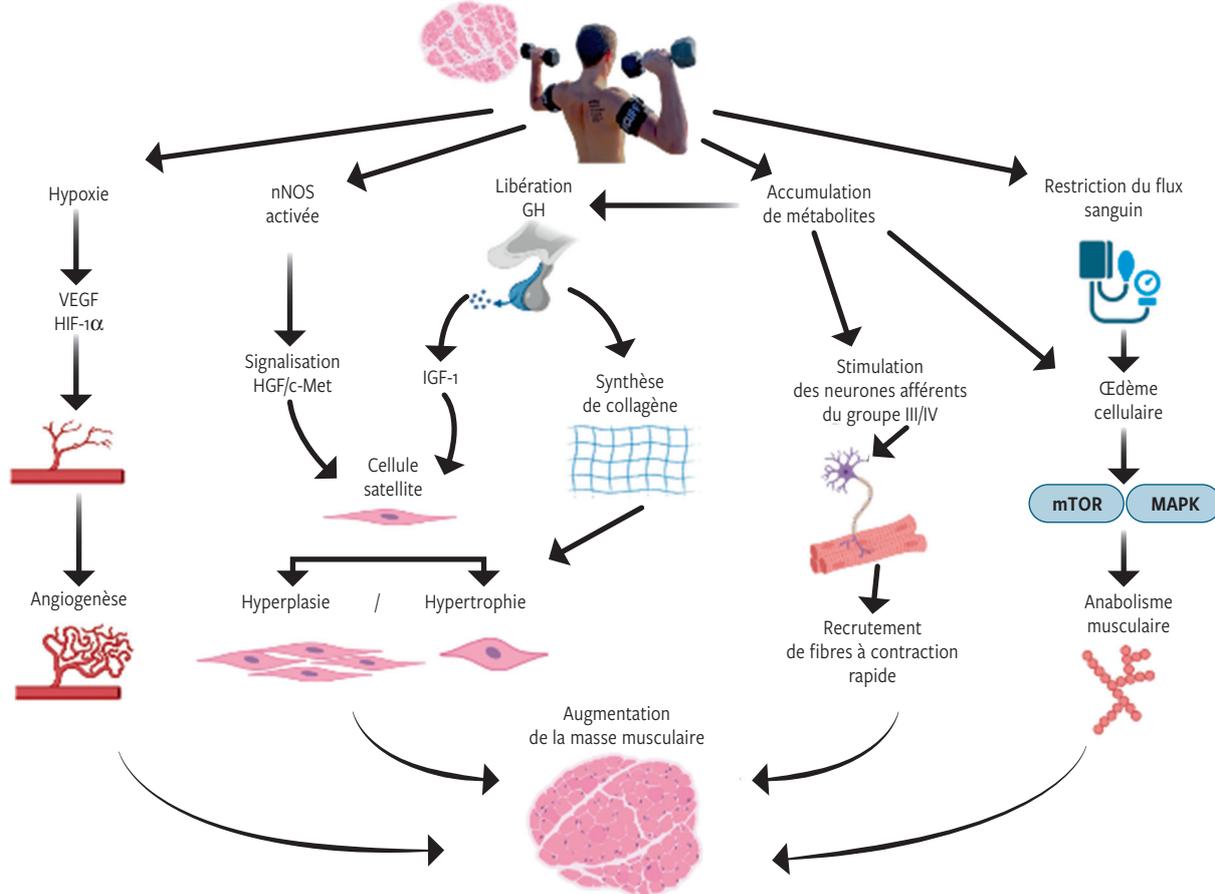
### Pressions d'occlusion artérielle

La pression optimale dépend de plusieurs caractéristiques; d'une part, la forme et la largeur/longueur du brassard, le

<sup>a</sup>Division de médecine physique et réadaptation, Département de l'appareil locomoteur, Centre de médecine du sport, Swiss Olympic Medical Center, Centre hospitalier universitaire vaudois, 1011 Lausanne, <sup>b</sup>Institut des sciences du sport, Université de Lausanne, 1015 Lausanne mohamed.guedria@chuv.ch | cyril.besson@chuv.ch | gregoire.millet@unil.ch vincent.gremeaux@chuv.ch

**FIG 1 Mécanismes de l'hypertrophie musculaire sous l'effet du BFR**

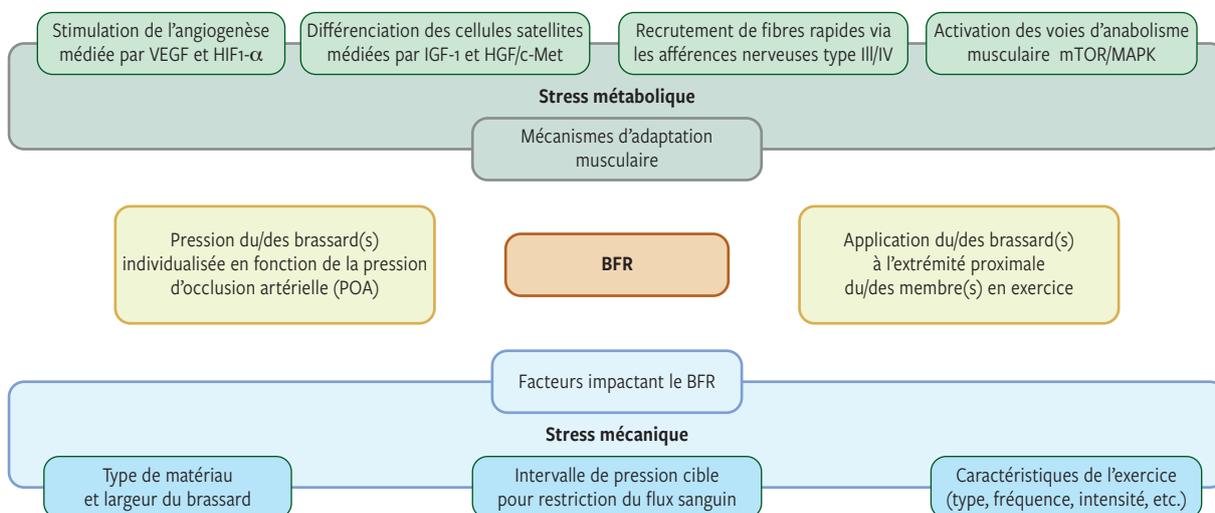
BFR : Blood Flow Restriction ; GH : Growth Hormone ; HGF/c-Met : Hepatocyte Growth Factor/Mesenchymal-Epithelial Transition Factor ; HIF-1 $\alpha$  : Hypoxia-Inducible Factor 1 $\alpha$  ; IGF-1 : Insulin-Like Growth Factor 1 ; MAPK : Mitogen-Activated Protein Kinase ; mTOR : Mammalian Target of Rapamycin ; nNOS : Neuronal Nitric Oxide Synthase ; VEGF : facteur de croissance de l'endothélium vasculaire.



(Adaptée de réf. 2.) Créée avec Biorender.

**FIG 2 Ensemble des mécanismes et facteurs impactant le BFR**

BFR : Blood Flow Restriction ; HGF/c-Met : Hepatocyte Growth Factor/Mesenchymal-Epithelial Transition Factor ; HIF-1 $\alpha$  : Hypoxia-Inducible Factor 1 $\alpha$  ; IGF-1 : Insulin-Like Growth Factor 1 ; MAPK : Mitogen-Activated Protein Kinase ; mTOR : Mammalian Target of Rapamycin ; VEGF : facteur de croissance de l'endothélium vasculaire.



(Adaptée de réf. 3.) Créée avec Biorender.

matériau utilisé et, d'autre part, la taille du membre et la pression artérielle de l'individu.

Les pressions appliquées varient de pressions absolues aussi basses que 50 mmHg jusqu'à 300 mmHg. Certains chercheurs ont suggéré que celle à appliquer pourrait être individualisée en fonction de la pression d'occlusion artérielle (POA) totale (%).<sup>4</sup> Dans la littérature, les pressions utilisées vont de 40 à 80% de la POA. Mouser et coll. ont néanmoins démontré qu'avec différents types de brassards, le débit sanguin reste relativement inchangé entre 50 et 90% de la POA. Il apparaît néanmoins plus approprié d'utiliser des pressions plus proches de 50% de la POA pour le confort des participants.<sup>5</sup>

### Largeur du brassard

Il existe une large gamme de largeurs de brassard (3-18 cm). Pour un même pourcentage cible d'occlusion relatif à la POA, une manchette plus large nécessite une pression plus faible en raison de la plus grande surface sur laquelle la pression a été appliquée, et inversement. Néanmoins, une étude récente a révélé que l'application d'une pression en % de POA sur 3 brassards de tailles différentes produisait un changement similaire dans le flux sanguin au repos.<sup>6</sup> Par conséquent, une grande variété de largeurs de brassard peut être utilisée si la pression est correctement réglée en fonction de la POA.

### Matériau du brassard

Les brassards les plus couramment utilisés sont élastiques et en nylon. Il n'existe pas de preuve suggérant qu'un matériau serait supérieur à un autre. Pour des raisons pratiques, de simples bandes élastiques sont parfois utilisées. Lorsque la pression est exprimée en % de POA, le nombre de répétitions

effectuées jusqu'à épuisement paraît similaire pour un brassard en nylon ou élastique.<sup>7</sup> La seule différence observée était l'inconfort ressenti dans les séries avec brassard élastique. Cela pourrait être dû à la POA absolue, qui est plus élevée lors de l'utilisation du brassard élastique par opposition à celui en nylon.<sup>7</sup> Pour des considérations plus pratiques, l'utilisation de brassards élastiques pourrait être recommandée dans la rééducation en raison de sa sécurité (pas d'occlusion artérielle complète).<sup>8</sup> Il semble que toute différence de matériau pourrait être corrigée en appliquant simplement une pression définie par rapport à la POA cible.

Un nouveau dispositif pneumatique connecté (AirBand) a récemment été mis sur le marché, dont les propriétés ne sont pas encore étudiées. Le **tableau 1** regroupe les principaux brassards utilisés ainsi que leurs caractéristiques.

### Sites d'application du brassard

Au vu du risque de survenue de lésion nerveuse par compression externe directe sur des régions vulnérables, il est recommandé d'appliquer le (les) brassard(s) au niveau des racines des membres où les structures vasculonerveuses sont plus protégées en raison de la présence de tissus mous (**figure 3**).

### Nombre maximum de brassards pendant l'exercice

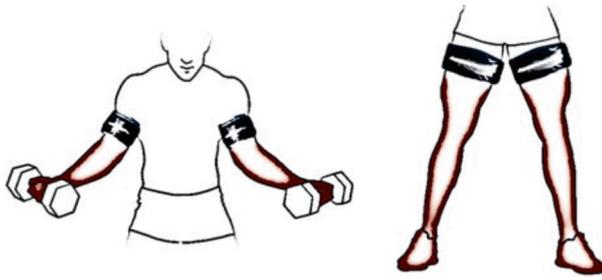
Bien qu'il n'existe aucune recherche comparant l'innocuité du BFR appliqué aux 4 membres simultanément, il a été démontré que le BFR en bilatéral (membres supérieurs ou membres inférieurs) augmente la fréquence cardiaque pour compenser la perte de volume d'éjection systolique pendant l'exercice. Chez les personnes utilisant plus de 2 brassards simultanément, cela peut augmenter inutilement le risque d'événements cardiovasculaires indésirables.<sup>9</sup>

**TABLEAU 1** Types et caractéristiques des différents brassards

POA : pression d'occlusion artérielle.

Brassard pneumatique	Bande pneumatique	Bande élastique	AirBand pneumatique (récente)
Rigide (nylon)	Élastique	Élastique	Rigide
Large	Étroite	Étroite	Large
Conçu pour interrompre le flux sanguin	Conçue pour restreindre le flux sanguin	Conçue pour restreindre le flux sanguin	Conçu pour interrompre le flux sanguin
Individualisée en fonction de la POA	Individualisée selon la perception d'étroitesse et/ou de la pression absolue entre 100 et 500 mmHg (idéalement entre 350 et 400 mmHg)	Individualisée en fonction de la perception d'étroitesse	Individualisée en fonction de la POA (entre 30 et 300 mmHg)  Connecté sur téléphone mobile ou tablette via Bluetooth
Moins confortable/moins pratique	Confortable/pratique	Confortable/pratique	Confortable/pratique
POA précise	POA moins précise	POA non précise	POA précise
			

**FIG 3** Sites d'application des brassards lors du BFR



## PROTOCOLES UTILISÉS

### BFR à visée de renforcement musculaire

Les recommandations sont résumées dans le **tableau 2**. Le brassard reste gonflé pendant le repos, induisant un temps d'occlusion vasculaire de 5-10 minutes par exercice. Indépendamment du type et de la largeur du brassard utilisé, la pression à appliquer est de l'ordre de 40 à 80% de la POA<sup>10</sup> (**tableau 2**).

La méta-analyse de Gronfeldt a comparé l'effet du BFR combiné aux exercices à faible charge (20-30% de 1RM) par rapport au renforcement conventionnel à charge modérée ou élevée (60-90% de 1RM). Le BFR induit des gains de force musculaire allant de 4,7 à 47,6% de 1RM, jugés similaires au renforcement classique, malgré la grande différence de charge entre les 2 modalités d'exercice. De même, l'analyse montre un gain de masse musculaire avec le BFR (entre 2,5 et 12,9% de section transversale du muscle) similaire à celui obtenu avec le renforcement classique.<sup>11</sup>

### BFR combiné à entraînement cardio/aérobie

Les études rapportent une augmentation de la force et de la masse musculaires chez des sujets jeunes et des populations plus âgées, ainsi que des améliorations significatives de l'endurance cardiorespiratoire. Ces adaptations ont été observées avec des entraînements à la marche ou à vélo à des intensités faibles, dont les caractéristiques sont résumées dans le **tableau 3**.

Dans la revue systématique de Silva et coll., 4 études montraient un gain de 7,7 à 15% de la force musculaire avec 3 à 10 semaines de BFR combiné à un entraînement aérobie. Dans une seule étude, la force musculaire n'a pas augmenté; cela a été attribué à l'influence du volume, de l'intensité et de la durée de l'entraînement, qui étaient inférieurs aux autres études.<sup>12</sup>

Abe et coll. rapportent que l'augmentation de la masse musculaire (section transversale) de la cuisse était de 4 à 7% et celle des forces dynamique et isométrique de 8 à 10% après un entraînement BFR combiné aux exercices aérobie.<sup>13</sup>

Dans la méta-analyse de Formiga et coll., un gain de VO<sub>2</sub>max (consommation maximale d'oxygène) entre 3,6 et 11,6% est observé avec le BFR combiné à l'entraînement de faible à moyenne intensité. L'amélioration dépasse la différence minimale cliniquement significative.<sup>14</sup>

**TABLEAU 2** BFR pour développer la force musculaire

Modèle de prescription d'exercices avec BFR visant le développement de la force musculaire.  
BFR : Blood Flow Restriction; POA : pression d'occlusion artérielle.

Recommandations	
<b>Fréquence</b>	2-3 x par semaine (> 3 semaines) ou 1-2 x par jour (1-3 semaines)
<b>Charge</b>	20-40 % de 1RM
<b>Temps de restriction</b>	5 à 10 minutes par exercice (reperfusion entre les exercices)
<b>Type</b>	Petits et grands groupes musculaires (bras et jambes, uni ou bilatéral)
<b>Séries</b>	2-4
<b>Brassard</b>	5 cm (petit), 10 ou 12 cm (moyen), 17 ou 18 cm (grand)
<b>Répétitions et pression</b>	75 répétitions : 1 x 30 + 3 x 15 ou jusqu'à épuisement, 40-80 % de la POA, idéalement proche de 50 % de la POA
<b>Repos entre les séries</b>	30-60 secondes
<b>Temps et mode de contraction</b>	1-2 secondes (concentrique et excentrique)

(Adapté de réf. 10).

L'explication physiologique de l'amélioration des capacités aérobie sous BFR reste mal expliquée, potentiellement liée à des niveaux accrus de concentration du VEGF associée à la formation de nouveaux capillaires.

### BFR combiné aux exercices intermittents de haute intensité ou de répétitions de sprint (RS)

Les données sont plus rares dans ce domaine. Torpel et coll. ont comparé les effets du BFR combiné au HIIT (entraînement intermittent de haute intensité) au HIIT seul. La puissance maximale a augmenté significativement dans les 2 groupes, mais était 2 fois plus importante dans le groupe BFR + HIIT.

**TABLEAU 3** BFR pour développer l'endurance

Modèle de prescription d'exercice avec BFR combiné à un entraînement en endurance.  
BFR : Blood Flow Restriction ; POA : pression d'occlusion artérielle ; VO<sub>2</sub>max : consommation maximale d'oxygène.

Recommandations	
<b>Fréquence</b>	2-3 x par semaine (> 3 semaines) ou 1-2 x par jour (1-3 semaines)
<b>Intensité</b>	< 50 % de la VO <sub>2</sub> max ou de la fréquence cardiaque de réserve
<b>Temps de restriction</b>	5-20 minutes par exercice
<b>Type</b>	Petits et grands groupes musculaires (bras et jambes, uni ou bilatéral)
<b>Séries et pression</b>	Continu ou intervalles 40-80 % de la POA, idéalement proche de 50 % de la POA
<b>Brassard</b>	5 cm (petit), 10 ou 12 cm (moyen), 17 ou 18 cm (grand)
<b>Mode d'exercice</b>	Vélo ou marche

(Adapté de réf. 10).

Une amélioration significative de la force des jambes a été observée uniquement dans le groupe HIIT. La  $VO_2$  max relative n'a pas changé dans les 2 groupes.<sup>15</sup> Oliveira et coll. ont comparé 4 interventions différentes: exercice aérobie à faible intensité (30% de la puissance maximale aérobie (PMA) sur ergocycle) avec ou sans BFR et HIIT avec ou sans BFR (5-8 répétitions de 2 min à 102% de la PMA ou 66% de PMA pour le groupe BFR avec 1 min de récupération). Tous les groupes ont amélioré leur  $VO_2$  max et puissance maximale sauf le premier. Des gains de force musculaire ont été observés seulement après BFR combiné aux faibles charges (11%). Le BFR à faible charge apparaît donc être l'unique mode d'entraînement capable d'améliorer simultanément les capacités aérobie et la force musculaire.<sup>16</sup>

## SÉCURITÉ DU BFR

Dans une enquête japonaise auprès d'environ 13000 individus ayant utilisé différentes modalités du BFR (marche, vélo et musculation), l'incidence des événements indésirables grave était très faible (**tableau 4**). La population incluait des jeunes (< 20 ans) et des personnes âgées (> 80 ans), des athlètes ainsi que des sujets avec différentes pathologies et niveaux de condition physique: maladies cérébrovasculaires, affections orthopédiques, maladies cardiaques, neuromusculaires ou respiratoires, obésité, diabète et hypertension artérielle.

Les hémorragies restaient généralement transitoires et diminuaient avec le temps, même si l'entraînement se poursuivait. Les engourdissements étaient également temporaires et disparaissent immédiatement après la libération de la pression.<sup>17</sup>

Ces résultats suggèrent que le BFR est une méthode sûre pour entraîner des athlètes et des personnes en bonne santé, ainsi que pour la réadaptation des personnes atteintes de diverses pathologies. Cependant, au vu de la diminution excessive de la précharge cardiaque et, par conséquent, du débit cardiaque et du flux sanguin vers les coronaires, le BFR doit être prescrit avec précautions aux patients souffrant d'une cardiopathie,

**TABLEAU 4**

**Événements indésirables les plus fréquents au cours du BFR**

BFR : Blood Flow Restriction.

Effets indésirables possibles	Pourcentage
Hémorragie sous-cutanée	13,10 %
Engourdissement	1,297 %
Sensation de froid	0,127 %
Thrombus veineux	0,055 %
Douleurs	0,04 %
Démangeaisons	0,02 %
Décompensation d'une cardiopathie ischémique	0,016 %
Élévation de la pression artérielle	0,016 %
Embolie pulmonaire	0,008 %
Rhabdomyolyse	0,008 %

(Adapté de réf. 17).

d'une hypertension artérielle et après hémorragie cérébrale. Des potentiels effets indésirables peuvent être associés à des maladies hématologiques telles que la drépanocytose, le facteur V Leiden, l'utilisation d'œstrogènes, les maladies thromboemboliques ou du foie ou encore toute autre pathologie augmentant le risque de coagulation sanguine.

## PRINCIPAUX RÉSULTATS POUR LES PATHOLOGIES RENCONTRÉES EN MÉDECINE DU SPORT BFR et syndrome fémoropatellaire (SFP)

Giles et coll. ont inclus 79 patients pour comparer le BFR à un renforcement standard du quadriceps. Le BFR à 30% de 1RM combinant exercices en chaînes cinétiques ouverte et fermée (70% de 1RM) a significativement amélioré la force et réduit la douleur dans les activités de la vie quotidienne (position accroupie, descente d'escalier et après 30 minutes en position assise) et a amélioré de façon comparable la douleur sur l'échelle visuelle analogique et la fonction sur le score de Kujala. Le BFR paraît ainsi être une alternative chez les patients qui ont une moindre tolérance à l'utilisation de charge élevée en raison de la douleur.<sup>18</sup>

### BFR après ligamentoplastie du ligament croisé antérieur

Dans une méta-analyse récente, sur 6 études avec un total de 152 individus, 2 ont évalué la force du quadriceps et démontré une force significativement plus importante après ligamentoplastie du LCA (ligament croisé antérieur) avec BFR par rapport à un protocole standard de physiothérapie. La masse du quadriceps a été évaluée dans 4 études, dont 2 ont observé une masse significativement plus importante après BFR par rapport à un protocole standard.

La douleur du genou a été évaluée dans 3 études, avec significativement moins de douleurs après BFR par rapport au protocole standard dans toutes ces études.

Deux études ont évalué la laxité du greffon du LCA sans rapporter de différence. Cependant, les preuves existant ne sont pas suffisantes pour tirer des conclusions définitives en raison de l'hétérogénéité des protocoles et des paramètres rapportés. Finalement, il n'existe pas d'études relatives à la reprise du sport.<sup>19</sup>

### BFR et tendinopathie

La série de cas de Skovlund et coll. est la première à étudier l'effet du BFR dans les tendinopathies rotuliennes chroniques. Dès 3 semaines, il y avait une réduction des douleurs de 50% lors du single-leg decline squat test, et une diminution de la néovascularisation tendineuse de 31%. Le BFR pourrait ainsi être un compromis approprié pour obtenir une charge mécanique suffisante aux processus adaptatifs tendineux, en minimisant le risque de surcharge.<sup>20</sup>

Benedikt et coll. ont étudié les modifications morphologiques et mécaniques sur un tendon d'Achille (TA) sain. Cette étude a démontré que le BFR (20-35% de 1RM) peut induire des adaptations musculaires (force maximale volontaire des fléchisseurs plantaires, section transversale du triceps) et

tendineuses (section transversale du TA, rigidité tendineuse par élastographie) similaires à l'entraînement en résistance avec une charge élevée (70-85% de 1RM). Les mêmes résultats ont été rapportés sur un tendon rotulien sain. Ils paraissent pertinents pour les contextes sportifs et de rééducation lorsque l'utilisation de charges élevées est contre-indiquée.<sup>21</sup>

### BFR et performances sportives

La méta-analyse de Formiga et coll. a évalué l'effet du BFR associé à des exercices aérobies (marche, course à pied, vélo) sur la capacité aérobie (VO<sub>2</sub> max) chez les jeunes adultes en bonne santé, de niveau d'activité physique variable. Cinq parmi les 7 études utilisaient des exercices de faible à moyenne intensité (< 70% de la VO<sub>2</sub> max) et 2 utilisaient des exercices de haute intensité (> 70% de la VO<sub>2</sub> max) avec un total de 121 sujets. Le BFR, combiné à des exercices aérobies, augmente significativement plus la VO<sub>2</sub> max que les exercices aérobies seuls, quel que soit le niveau initial d'activité physique. À noter que dans les 2 études utilisant des exercices à haute intensité, l'adjonction du BFR n'a pas entraîné d'amélioration significativement supérieure de la VO<sub>2</sub> max par rapport aux exercices aérobies de haute intensité seuls. Ces observations pourraient en partie être dues à l'utilisation de pressions d'occlusion plus faibles.<sup>14</sup>

Par ailleurs, Scott et coll. rapportent un transfert fonctionnel des gains acquis vers les performances sportives, améliorées dans une gamme de tâches comme la force maximale, la puissance du saut vertical, la performance de sprint et l'agilité.<sup>22</sup>

### CONCLUSION

Bien que la méthode du BFR nécessite encore de nombreuses recherches, elle semble sûre, prometteuse et paraît intéressante pour la rééducation sportive. L'avantage des charges faibles, et donc des contraintes mécaniques réduites pour les articulations, les os et les structures tendinomusculaires, est particulièrement intéressant pour les populations chez qui l'utilisation de charges élevées est difficile ou contre-indiquée. Les preuves actuelles appuient du moins le BFR comme un moyen d'améliorer la force et l'hypertrophie musculaire. Cette méthode émergente serait complémentaire aux interventions actuelles et offrirait plus d'options de rééducation pour les sujets ne pouvant pas utiliser des charges lourdes.

**Conflit d'intérêts:** Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

### IMPLICATIONS PRATIQUES

- Le Blood Flow Restriction (BFR) s'est révélé sûr à utiliser en population clinique et chez les adultes en bonne santé
- Le BFR, combiné à un entraînement aérobie ou de renforcement musculaire, s'est révélé efficace pour améliorer la force, la masse musculaire et la capacité aérobie
- Les sportifs peuvent bénéficier d'un entraînement avec BFR, particulièrement en cas de blessure ne permettant pas l'utilisation des charges élevées

1 Burtscher J, Mallet RT, Pialoux V, Millet GP, Burtscher M. Adaptive Responses to Hypoxia and/or Hyperoxia in Humans. *Antioxid Redox Signal*. 2022 Apr 22. DOI: 10.1089/ars.2021.0280.

2 Saatmann N, Zaharia OP, Loenneke JP, et al. Effects of Blood Flow Restriction Exercise and Possible Applications in Type 2 Diabetes. *Trends Endocrinol Metab*. 2021 Feb;32(2):106-17. DOI: 10.1016/j.tem.2020.11.010.

3 Hwang PS, Willoughby DS. Mechanisms Behind Blood Flow-Restricted Training and its Effect Toward Muscle Growth. *J Strength Cond Res*. 2019 Jul;33 Suppl 1:S167-79. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002384.

4 McEwen JA, Jeyasurya J, Owens J. Why is it Crucial to Use Personalized Occlusion Pressures in Blood Flow Restriction (BFR) Rehabilitation? *J Med Biol Eng*. 2019;39(2): 173-7.

5 Mouser JG, Dankel SJ, Jessee MB, et al. A tale of three cuffs: the hemodynamics of blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol*. 2017 Jul;117(7):1493-9. DOI: 10.1007/s00421-017-3644-7.

6 Laurentino GC, Loenneke JP, Teixeira EL, et al. The Effect of Cuff Width on Muscle Adaptations after Blood Flow Restriction Training. *Med Sci Sports Exerc*. 2016 May;48(5):920-5. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000833.

7 Buckner SL, Dankel SJ, Counts BR, et al. Influence of cuff material on blood

flow restriction stimulus in the upper body. *J Physiol Sci*. 2017 Jan;67(1):207-15. DOI: 10.1007/s12576-016-0457-0.

8 Citherlet T, Willis SJ, Chaperon A, Millet GP. Differences in the limb blood flow between two types of blood flow restriction cuffs (in press).

9 Renzi CP, Tanaka H, Sugawara J. Effects of leg blood flow restriction during walking on cardiovascular function. *Med Sci Sports Exerc*. 2010 Apr;42(4):726-32.

10 Patterson SD, Hughes L, Warming-ton S, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol*. 2019 May 15;10:533. DOI: 10.3389/fphys.2019.00533. Erratum in: *Front Physiol*. 2019 Oct 22;10:1332. PMID: 31156448.

11 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 May;30(5):837-48. DOI: 10.1111/sms.13632.

12 Silva JCG, Pereira Neto EA, Pfeiffer PAS, et al. Acute and Chronic Responses of Aerobic Exercise With Blood Flow Restriction: A Systematic Review. *Front Physiol*. 2019 Oct 4;10:1239. DOI: 10.3389/fphys.2019.01239.

13 Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size

and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* (1985). 2006 May;100(5):1460-6. DOI: 10.1152/jappphysiol.01267.2005.

14 Formiga MF, Fay R, Hutchinson S, et al. Effect of aerobic exercise training with and without blood flow restriction on aerobic capacity in healthy young adults: a systematic review with meta-analysis. *Int J Sports Phys Ther*. 2020 Apr;15(2):175-87. Erratum in: *Int J Sports Phys Ther*. 2020 May;15(3):486. PMID: 32566385.

15 Törpel A, Brennicke M, Kuck M, et al. Effect of Blood Flow Restriction Training in Combination with a High-Intensity Interval Training on Physical Performance. *Int J Sport Exerc Med*. 2018;4:111. doi.org/10.23937/2469-5718/1510111.

16 de Oliveira MF, Caputo F, Corvino RB, Denadai BS. Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scand J Med Sci Sports*. 2016 Sep;26(9):1017-25. DOI: 10.1111/sms.12540.

17 Nakajima T, Kurano M, Iida H, et al. Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *Int J KAATSU Training Res*. 2006;2(1):5-13.

18 Giles L, Webster KE, McClelland J, et al. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the

treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial. *Br J Sports Med*. 2017 Dec;51(23):1688-94. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096329.

19 Koc BB, Truyens A, Heymans MJLF, et al. Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther*. 2022 Apr 1;17(3):334-46. DOI: 10.26603/001c.33151.

20 Skovlund S, Aagaard P, Larsen P, et al. The effect of low-load resistance training with blood flow restriction on chronic patellar tendinopathy – a case series. *Transl Sports Med*. 2020;3(4):342-52.

21 Centner C, Lauber B, Seynne OR, et al. Low-load blood flow restriction training induces similar morphological and mechanical Achilles tendon adaptations compared with high-load resistance training. *J Appl Physiol*. 2019;127(6):1660-7.

22 Scott BR, Loenneke JP, Slatery KM, et al. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med*. 2015 Mar;45(3):313-25. DOI: 10.1007/s40279-014-0288-1.

\* à lire