

# EFFETS COMBINÉS DE LA CRYOTHÉRAPIE LOCALISÉE ET DE LA COMPRESSION INTERMITTENTE SUR LA PERFORMANCE ET LA RÉCUPÉRATION MUSCULAIRE EN SPORT.

Hausswirth C.<sup>1,2,3,4</sup>, Lepers R.<sup>3</sup>, Coste A.<sup>1</sup>, Millour G.<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> beScored Institute, Sophia-Antipolis (France) ; <sup>2</sup> Université Côte d'Azur, Nice (France) ; <sup>3</sup> Université de Bourgogne, Dijon (France) ; <sup>4</sup> University of Technology, UTS, Sydney (Australie) ; <sup>5</sup> Nantes Université (France)



# 1. INTRODUCTION

L'exercice physique est largement reconnu pour ses bienfaits sur la santé, jouant un rôle clé dans la prévention de maladies chroniques telles que les troubles cardiovasculaires, le diabète de type 2 ou certains cancers. Selon Khan et al. (2012), la pratique régulière d'une activité sportive est associée à une réduction de 20 à 40 % de la mortalité toutes causes confondues. Cependant, des efforts intenses ou inhabituels peuvent aussi entraîner des effets indésirables tels des douleurs musculaires (Wolska et al., 2023), des troubles du sommeil (Silva et al., 2019) ou une fatigue globale, englobant les dimensions physique et mentale (Berger et al., 2024). Ces effets peuvent non seulement altérer la performance, mais également compromettre le bien-être général des athlètes. Pour atténuer ces conséquences néfastes, diverses stratégies de récupération ont été développées, parmi lesquelles on peut citer la complémentation nutritionnelle (Gauche et al., 2007), les massages post-exercice (Weerapong et al., 2005), le port de vêtements compressifs (Jakeman et al., 2010), la Cryothérapie Corps Entier (CCE) (Pournot et al., 2011) et l'exposition du corps aux infrarouges longs (Hauswirth et al., 2011).

Parmi les modalités de récupération les plus répandues, l'immersion dans l'eau froide et l'application du froid (comme les vestes de froid ou la CCE) se distinguent par leur efficacité à réduire les dommages musculaires (Murray et al., 2015). Des études montrent que l'immersion dans l'eau froide permet de diminuer la raideur musculaire et l'étendue des dommages post-exercice, en particulier après des activités excentriques intenses, où les muscles sont particulièrement sollicités (Eston et al., 1999). Lorsque le corps est exposé au froid, plusieurs mécanismes biologiques entrent en jeu. En effet, l'exposition au froid induit une vasoconstriction, qui limite la perméabilité des vaisseaux sanguins. Cette action réduit les processus inflammatoires et, par conséquent, atténue les douleurs musculaires (Bailey et al., 2007). De plus, la cryothérapie pourrait favoriser la clairance du lactate à la suite d'un exercice de haute intensité, contribuant ainsi à réduire la sensation de fatigue musculaire (Bastos et al., 2012). Les températures cryogéniques peuvent également avoir un effet analgésique, qui serait lié à l'activation du système endocrinien. Ce dernier stimule la sécrétion d'endorphines, des hormones naturelles qui atténuent la douleur, tout en diminuant les concentrations d'histamine et de lactate dans les tissus inflammatoires (Wolska et al., 2023). Ces effets bénéfiques du froid sont médiés par plusieurs mécanismes :

- Activation des voies cellulaires et moléculaires : La cryothérapie favorise la libération de cytokines anti-inflammatoires et de facteurs de croissance qui aident à la réparation tissulaire.

- Équilibre pro-oxydants/antioxydants : Les températures basses influencent la balance entre les espèces réactives de l'oxygène (pro-oxydants) et les antioxydants, limitant ainsi les dommages cellulaires.
- Stabilisation des membranes lysosomales : En stabilisant les membranes des lysosomes, le froid inhibe la libération d'enzymes actives qui pourraient contribuer à l'inflammation et aux dommages musculaires (Rose et al., 2017).

Pour optimiser la récupération, l'association de la cryothérapie et de la compression intermittente des membres sollicités lors de l'exercice représente une approche prometteuse (Martínez-Guardado et al., 2020). La compression intermittente améliore le flux lymphatique et sanguin, facilitant ainsi l'élimination des métabolites occasionnés par les lésions musculaires. Cette technique a démontré son efficacité pour réduire la perception de la fatigue musculaire, notamment après des efforts prolongés tels que les ultra-marathons (Hoffman et al., 2016). En exerçant une pression sur les veines dilatées, la compression réduit le reflux veineux, et améliore le retour sanguin vers le cœur, tout en diminuant les œdèmes post-exercice (Sarin et al., 1992). Elle stimule également la « pompe musculaire », accélérant le flux sanguin et favorisant l'apport de nutriments essentiels aux muscles en récupération (O'Riordan et al., 2023). Par ailleurs, l'utilisation de vêtements compressifs s'est révélée efficace pour améliorer la récupération de la force et de la puissance après l'exercice, tout en contribuant à limiter les dommages musculaires (Kraemer et al., 2001). En outre, la compression a un impact significatif sur les niveaux de créatine kinase, un marqueur de lésions musculaires, et soutient les processus de réparation tissulaire (Born et al., 2013).

À la lumière de ces éléments, il apparaît pertinent d'évaluer l'effet de la technologie CryoPush®, qui associe la cryothérapie et la compression intermittente appliquées aux membres inférieurs, pour optimiser la récupération après un exercice physique exigeant et traumatisant au niveau musculaire.

## **2. OBJECTIF ET HYPOTHÈSE**

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les effets des séances de récupération avec la technologie CryoPush® après un exercice physique induisant une fatigue musculaire locale chez des sportifs occasionnels. Nous émettons l'hypothèse que ces séances de récupération améliorent la cinétique de récupération et optimisent les performances musculaires. Cela se traduirait par une diminution des marqueurs inflammatoires, une meilleure récupération des paramètres de force et de puissance musculaire, une réduction de la fatigue physique et mentale, ainsi qu'une atténuation des douleurs musculaires après un exercice intense, en comparaison avec une récupération passive.

## 3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 3.1. Participants

Au total, 15 participants ont volontairement pris part à cette étude (cf. Section 4.1 pour les caractéristiques détaillées des participants). Les critères d'inclusion et de non-inclusion pour cette étude étaient les suivants :

#### Critères d'inclusion :

- Volontaire en bonne santé ;
- De sexe masculin ;
- Âgé de 20 à 55 ans ;
- Pratiquant une activité physique et sportive régulière (deux à quatre fois par semaine) ;
- Non-fumeur ;
- Ne souffrant d'aucune douleur musculaire de plus d'une semaine ;
- Ne prenant pas d'anti-inflammatoires non stéroïdiens ou d'aspirine régulièrement.

#### Critères de non-inclusion :

- Personnes vulnérables telles que définies dans les articles L. 1121-5 à L.1121-8 et L.1122-1-2 du Code de la Santé Publique (ex. : personnes privées de liberté, mineurs, majeurs protégés, etc.) ;
- Personnes ayant une contre-indication médicale à la réalisation de séances CryoPush®. Nous nous sommes basés sur les recommandations disponibles sur la notice du fabricant :
  - Femmes enceintes, patients souffrant d'hypertension, de diabète ou de troubles circulatoires, maladie vasculaire ischémique, insuffisance cardiaque congestive, maladie pulmonaire ; neuropathie ;
  - Personnes présentant une plaie ouverte ou un membre insensible à la douleur, présentant une greffe de peau récente, dermatite, gangrène, ligature de veine, œdème massif ou déformation extrême de la zone affectée ;
  - Personne intolérante au froid ;
  - Personne atteinte de maladie(s) vasculaire(s).

*Les participants ont signé un formulaire déclarant ne présenter aucune des contre-indications décrites ci-dessus.*

## 3.2. Design expérimental

Nous avons réalisé une étude randomisée, contrôlée, en cross over. Chaque participant a expérimenté deux modalités de récupération après un exercice fatigant : une récupération à l'aide de la technologie CryoPush® (Figure 1) et une récupération passive, en position allongée. L'ordre des conditions était choisi de manière aléatoire. Lors des séances CryoPush®, un tissu fourni par le fabricant était placé sur les membres inférieurs des participants, allant du haut de la cuisse jusqu'à mi-mollet. Des packs de froid amovibles et réutilisables, préalablement conservés au congélateur, étaient insérés dans chacun des deux manchons CryoPush®. Ces manchons enveloppaient ensuite les deux membres inférieurs et étaient reliés à une pompe qui produisait une compression alternée entre les deux jambes, atteignant progressivement une pression de 60 mmHg. Le design du protocole est représenté sur la Figure 2. Les sessions de fatigue et de récupération étaient précédées et suivies d'une batterie de tests au cours des différentes journées d'évaluation (Figure 3). L'ensemble de ces mesures constituent les variables dépendantes et seront présentées plus en détails dans la partie *Outils et mesures*. Ces journées d'évaluation étaient réparties sur deux semaines (Phase 1 et Phase 2, différenciées par la modalité de récupération). Ces deux phases étaient séparées d'une période de *wash-out* de deux semaines afin de permettre une récupération optimale. Pour limiter et contrôler le développement d'une fatigue supplémentaire, il était demandé aux participants de ne pas s'entraîner les deux jours précédant le début de la phase 1 et de la phase 2, ainsi que pendant les deux jours suivant l'exercice fatigant où des mesures étaient réalisées. De plus, une séance de familiarisation au protocole fatigant était réalisée deux semaines avant le début de l'étude.



Figure 1. Illustration du dispositif CryoPush®

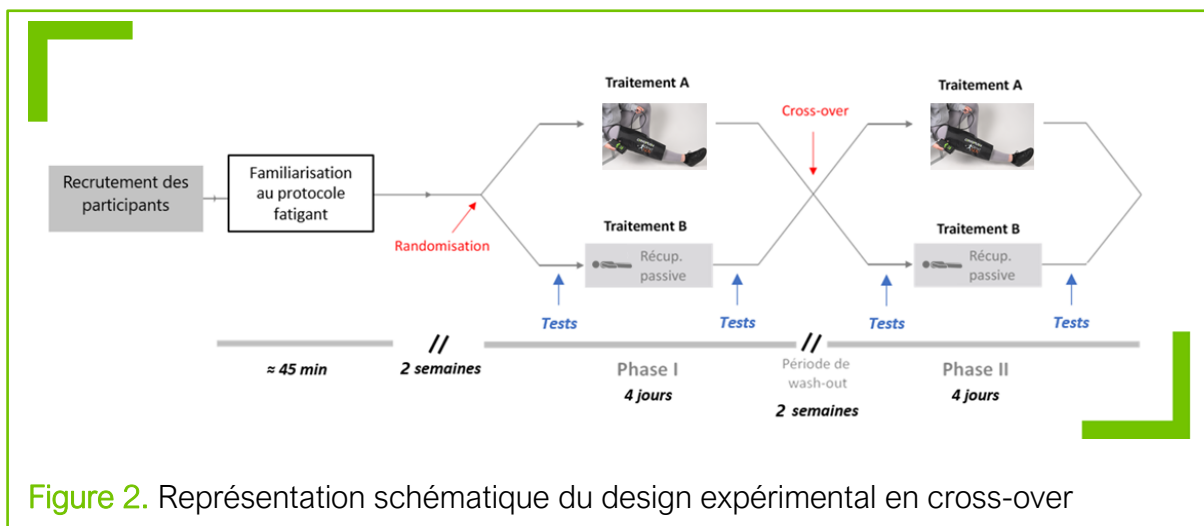
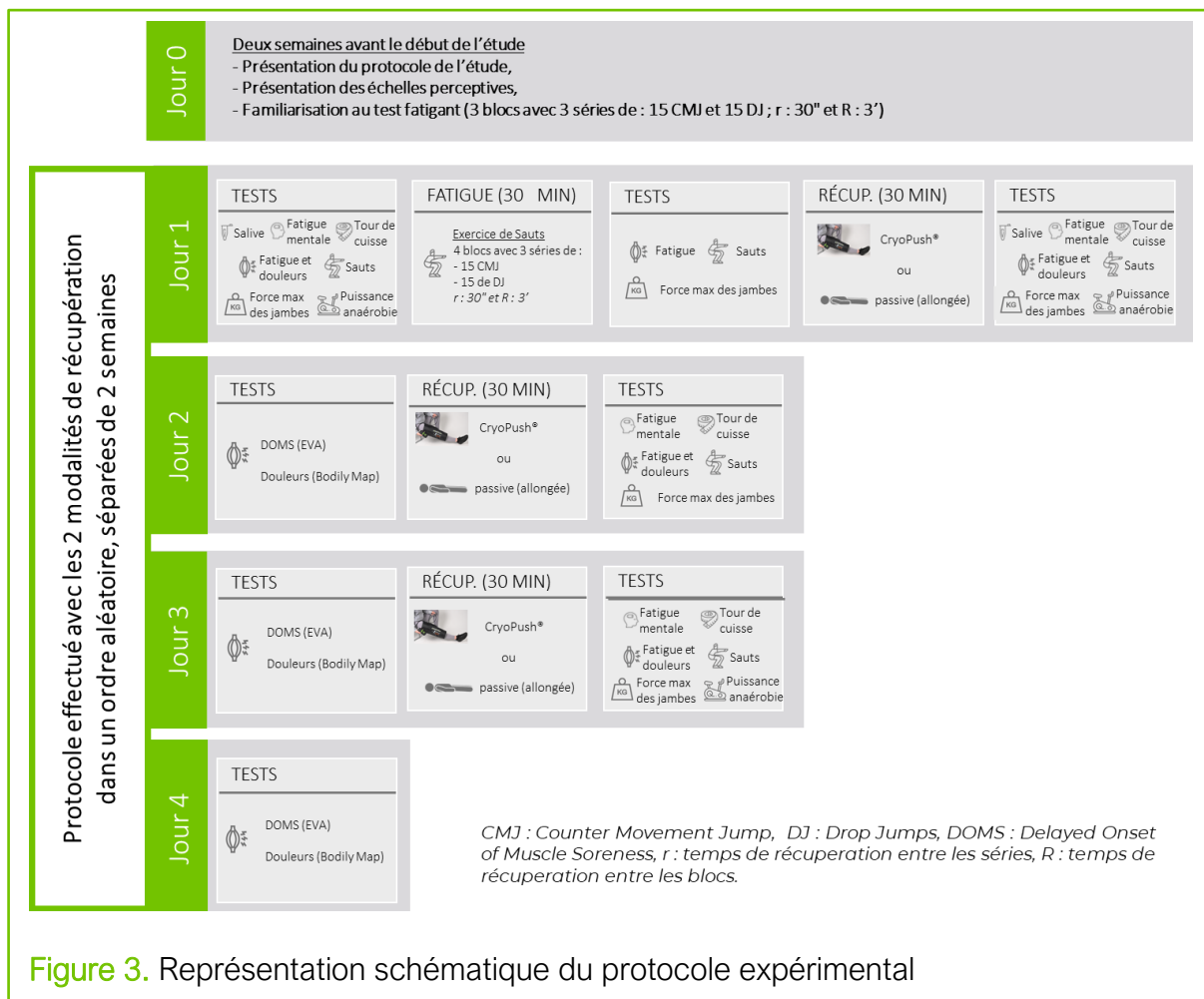


Figure 2. Représentation schématique du design expérimental en cross-over



**Figure 3.** Représentation schématique du protocole expérimental

Test de fatigue : Le test de fatigue, réalisé uniquement lors de la 1<sup>ère</sup> journée d'évaluation (J1) de la phase 1 et de la phase 2, était composé d'exercices de sauts répétés type *counter movement jump* (CMJ) et *drop jumps* (DJ). Lors des CMJ, le participant partait d'une position debout et amorçait un mouvement vers le bas jusqu'à avoir les jambes fléchies à 90°. Cette flexion était immédiatement suivie d'une extension des membres inférieurs menant à la phase de propulsion avec l'objectif de sauter le plus haut possible. Lors des DJ, le participant était d'abord positionné sur une marche d'une hauteur de 30 cm. Il avait pour consigne de descendre de la marche et d'atterrir avec chaque pied en contact complet avec le sol en fléchissant les genoux pour amortir l'atterrissage. Immédiatement après l'atterrissage, il devait sauter verticalement, dans le but d'atteindre la hauteur maximale le plus rapidement possible. Ces exercices pliométriques sont connus pour engendrer une fatigue musculaire dynamique et locale élevée (Skurvydas et al. 2002 ; Fowler et al. 1997). Les participants réalisaient 4 blocs composés de 3 séries de 15 CMJ et 15 DJ, soit 90 sauts par bloc et 360 sauts au total avec une alternance entre CMJ et DJ. La récupération entre les séries était de 30 s et la récupération entre les blocs était de 3 min. Lors de la séance de familiarisation, réalisée 2 semaines avant le début de l'étude, les participants effectuaient 3 blocs de 3 séries de 15 CMJ et 15 DJ, soit 270 sauts.

Séances de récupération : Les séances de récupération étaient réalisées après l'exercice fatigant et lors des deux journées suivantes (J2 et J3) en raison de l'effet retardé des courbatures. Comme évoqué précédemment, la récupération était composée, soit d'un traitement avec la technologie CryoPush®, soit d'une récupération passive. Quelle que soit la modalité, les séances de récupération duraient 30 min chacune.

### 3.3. Outils et mesures

#### 3.3.1. Marqueurs inflammatoires

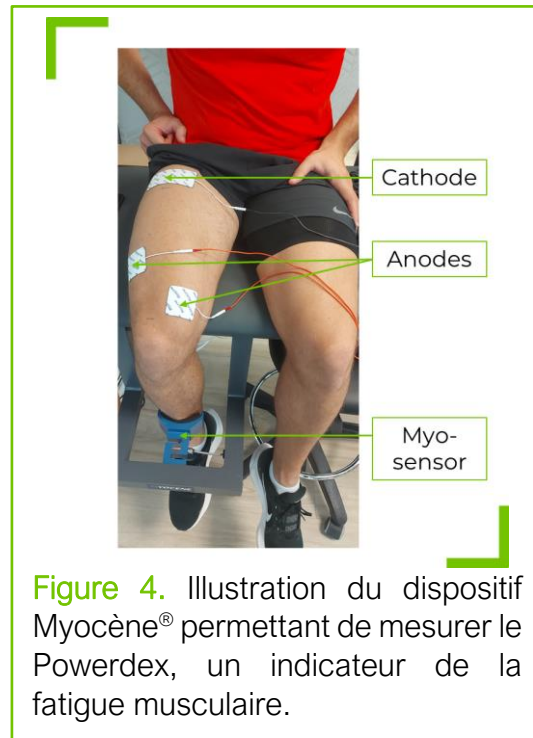
Des prélèvements salivaires ont été effectués au début de la 1<sup>ère</sup> journée de test et 1h après la fin de l'exercice fatigant lors de chaque phase pour mesurer le niveau de cytokines pro-inflammatoires Interleukine 1 bêta (IL-1 $\beta$ ). La littérature scientifique recommande de réaliser les prélèvements entre 45 et 100 min après le stressor pour observer les pics de réponses des cytokines salivaires (Szabo et al., 2021). Ces prélèvements ont été congelés puis analysés à posteriori par un laboratoire d'analyses biologiques (Cerballiance - Grand Saint-Jean).

Des mesures anthropométriques du tour de cuisse droite ont été réalisées à l'aide d'un mètre ruban, selon une procédure standardisée, au début de J1 et après les périodes de récupération en J1, J2, et J3. Toutes les mesures ont été effectuées par le même opérateur, qui a d'abord identifié, à l'aide d'un marqueur, la zone de la cuisse présentant la circonférence maximale. Afin de garantir la reproductibilité entre les mesures, la distance entre le sommet de la rotule et la zone de circonférence maximale a été mesurée et reproduite lors de chaque phase de tests pour chaque participant. Ces mesures centimétriques permettent d'évaluer les changements aigus du volume de la cuisse (e.g. l'œdème) susceptibles de survenir à la suite d'exercices excentriques (Fielding et al. 2000).

#### 3.3.2. Fatigue musculaire à basse-fréquence

À la suite des mesures anthropométriques, la fatigue musculaire des quadriceps a été objectivée au moyen d'un dispositif validé scientifiquement : le Myocene® (Ridard et al., 2022) (Figure 4). Des mesures ont été réalisées avant et après l'exercice fatigant et après les périodes de récupération en J1, J2 et J3. Les participants étaient assis sur le siège de l'appareil, la jambe en contact avec le « Myo-sensor », un capteur de force permettant d'enregistrer les forces à une fréquence de 4 kHz. Trois électrodes (MyoPro-1, Myocene, Liège, Belgique) étaient positionnées sur la cuisse droite : la cathode (5 × 10 cm) a été placée transversalement sur la partie proximale du droit fémoral, et les anodes (5 × 5 cm) ont été placées respectivement sur le muscle vaste latéral et le muscle vaste médial. Des trains de stimuli électriques préprogrammés ont été directement envoyés par

l'appareil piloté par le logiciel Myocene®. La série de stimulations comprenait 1) une impulsion unique, 2) un train de 5 stimuli à basse fréquence (20 Hz) et 3) un train de 18 stimuli à haute fréquence (120 Hz). Une seconde séparait chaque stimulation. Au total, 16 séries ont été réalisées, espacées de 5 s, et l'intensité de stimulation a été progressivement augmentée par paliers de 1 mA à chaque série (de 25 mA à 40 mA). La durée totale d'évaluation de la fatigue musculaire basse-fréquence à l'aide de l'appareil était de 2 min. Le logiciel Myocene® intègre un algorithme spécifique permettant la mesure instantanée et automatique de cette fatigue. Au sein de chaque série, le rapport entre les forces basses fréquences et hautes fréquences a été calculé et le Powerdex, exprimé en pourcentage et correspondant à la valeur médiane de tous ces rapports, a été fournie comme résultat.



**Figure 4.** Illustration du dispositif Myocene® permettant de mesurer le Powerdex, un indicateur de la fatigue musculaire.

### 3.3.3. Performance explosive mesurée lors des sauts

Après un échauffement de 5 minutes à puissance et cadence libre sur un cyclo-ergomètre (LC6 Novo, Monark Exercise AB, Vansbro, Suède) réglé en fonction de la morphologie de chaque participant, nous avons évalué la performance explosive des participants. Pour cela, les participants ont effectué trois répétitions de *SJ* et trois répétitions de *CMJ*, avec 30 secondes de repos entre chaque répétition (Figure 5A, 5B). Lors des *SJ*, les participants fléchissaient les genoux à 90° et maintenaient cette position pendant environ 3 secondes, les mains sur les hanches, avant de sauter le plus haut possible sans effectuer de contre-mouvement préalable (i.e., sans impulsion vers le bas). Le temps de vol a été mesuré à l'aide de plateformes de force K-Delta (Kinvent®, Montpellier, France) connectées à l'application Kinvent Physio®, permettant le calcul de la hauteur des sauts (Albano et al., 2019). Ces tests de sauts étaient de nouveau réalisés après l'exercice fatigant, ainsi qu'après chacune des périodes de récupération en J1, J2 et J3.

### 3.3.4. Force maximale des extenseurs du genou

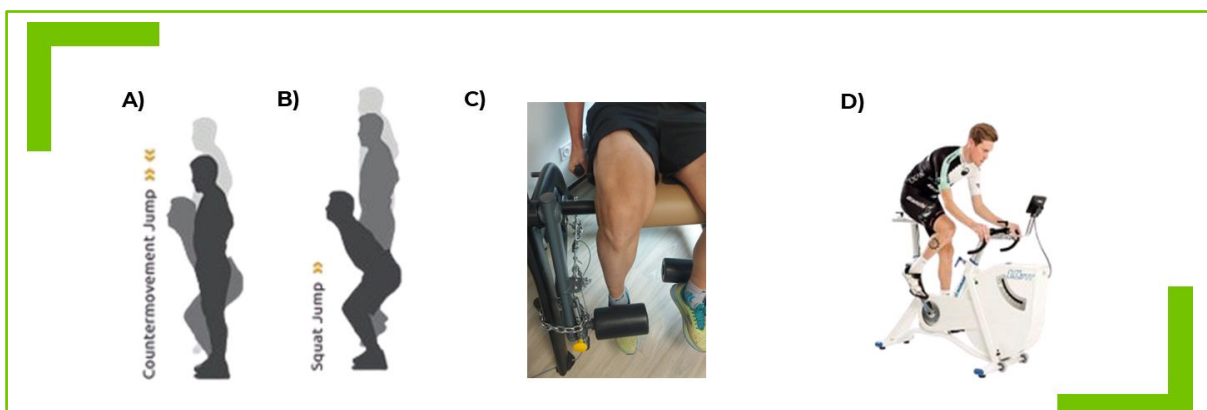
Cinq minutes après chaque exercice de sauts décrits précédemment, la force musculaire isométrique des extenseurs du genou du membre inférieur droit (en N) était



évaluée. Les tests étaient réalisés sur un banc d'extension de jambe équipé d'une chaîne à maillons en acier et d'un capteur S-force (ME-Meßsys-teme GmbH, Allemagne, modèle KD40s,  $\pm 5$  kN) (Figure 5C). La longueur de la chaîne à maillons était ajustée de sorte que l'angle du genou soit d'environ  $90^\circ$  pour chaque sujet. Le capteur S-force était connecté à un ordinateur à l'aide d'un amplificateur de mesure numérique (GSV-3USB) et du logiciel d'acquisition de données (GSVmulti, version 1.39.6.8). Ce logiciel permettait la visualisation en direct et l'enregistrement des données qui étaient échantillonnées à 100 Hz. Deux types de tests différents ont été effectués : premièrement, trois essais maximaux de 3 secondes (Force maximale,  $F_{Max}$ ) afin d'évaluer la force isométrique volontaire maximale ; deuxièmement, un essai de 30 secondes avec une implication maximale afin d'évaluer la performance musculaire moyenne (Force moyenne,  $F_{Moy}$ ). Chaque essai était séparé par une période de repos de 45 s.

### 3.3.5. Puissance anaérobie

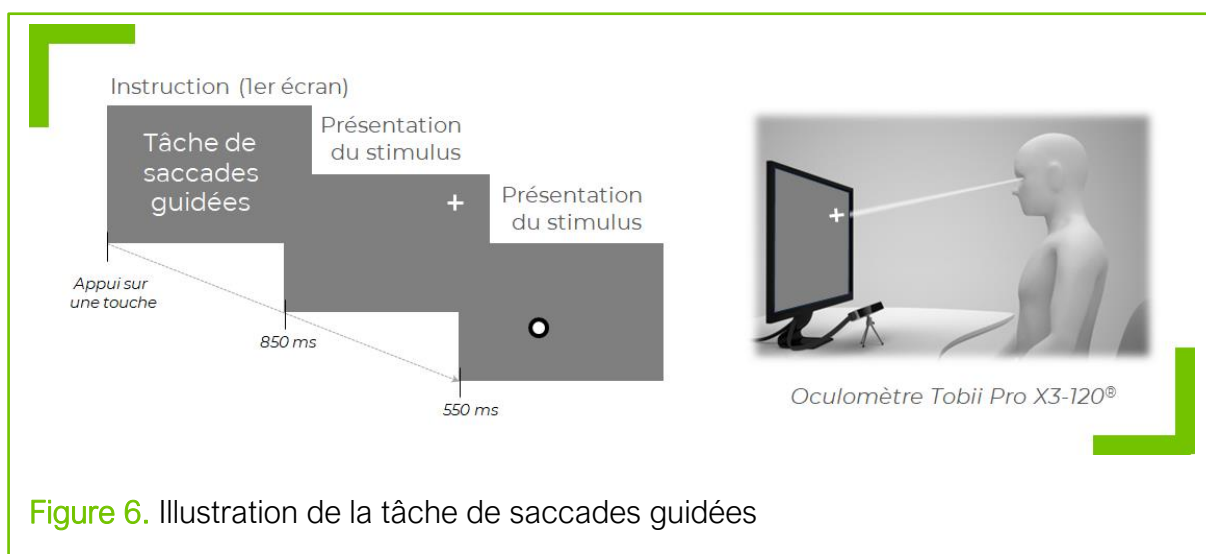
Enfin, un test de *Wingate* a été réalisé sur le cyclo-ergomètre (Figure 5D) pour mesurer la performance anaérobie au début et à la fin de J1 et à la fin de J3 (à chaque fois 5 min après les tests isométriques). Les réglages de la selle et du guidon étaient enregistrés après l'échauffement et reproduits pour chaque essai afin d'assurer une bonne reproductibilité du positionnement entre les tests. Le cyclo-ergomètre était connecté à un ordinateur et le logiciel *Monark* a été utilisé pour concevoir le protocole *Wingate*, contrôler le vélo et enregistrer les données qui étaient échantillonnées à 1 Hz. Après 3 min de pédalage à puissance et cadence libres, le test *Wingate* commençait par une période initiale de 15 s contre une résistance de 10 N, suivie directement d'un exercice maximal de 30 secondes contre une résistance dépendante du poids corporel des sujets (7,5% du poids corporel). Les participants étaient incités à maintenir la cadence de pédalage la plus élevée possible pendant les 30 s du test. À la fin de celui-ci, la puissance maximale et la puissance moyenne ont été calculées.



**Figure 5.** Illustration des différents exercices réalisés dans cette étude pour induire un état de fatigue musculaire (A : *Counter Movement Jump*) ou servir d'évaluation de la performance (B : *Squat Jump*, C : mesure de la force isométrique des extenseurs du genou et D : test *Wingate* sur le *Monark LC6 Novo*).

### 3.3.6. Fatigue mentale

La fatigue mentale a été évaluée subjectivement à l'aide d'une échelle visuelle analogique numérique au début de J1 et directement après les périodes de récupération en J1, J2 et J3. Les participants devaient indiquer leur niveau de fatigue mentale perçue en déplaçant un curseur entre 0 (« pas du tout fatigué(e) ») et 10 (« épuisé(e) mentalement »). S'ensuivait une tâche de saccades guidées (Di Stasi et al., 2014) pour évaluer objectivement leur niveau de fatigue mentale (Figure 6). Pour cela, il leur était demandé de suivre des cibles qui apparaissaient successivement sur un écran d'ordinateur. La séquence de présentation des stimuli visuels (cibles) était composée d'une croix de fixation, présentée pendant 850 ms, suivie d'un cercle pendant 550 ms. Au total, les participants effectuaient un bloc de 48 saccades guidées, lors de chaque session de tests. Ces 48 saccades correspondaient aux quatre positions de départ (chacun des quatre coins de l'écran) × quatre amplitudes de saccades (8, 12, 16, et 20 degrés d'angle visuel) × trois directions (verticale, horizontale, et diagonale). Les mouvements oculaires étaient enregistrés avec un oculomètre (Tobii Pro X3-120®, Tobii Technology, Danderyd, Suède) à une fréquence de 120 Hz. Ensuite, nous avons analysé la vitesse maximale des saccades, une mesure couramment utilisée dans la littérature scientifique (Di Stasi et al., 2014), ainsi que la vitesse moyenne des saccades pour des amplitudes comprises entre 15 et 20°, cette dernière étant peu influencée par d'éventuelles valeurs aberrantes, contrairement à la vitesse maximale qui repose sur une seule valeur. Enfin, nous avons établi la relation entre la vitesse et l'amplitude des pics de saccades, puis ajusté une fonction puissance pour calculer l'aire sous la courbe correspondant aux amplitudes des saccades comprises entre 5° et 20°.



### 3.3.7. Variables perceptuelles

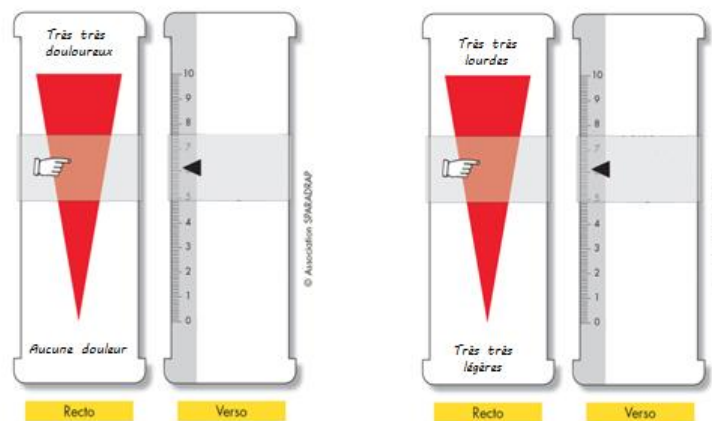
Pour compléter les mesures précédemment décrites, la sensation de jambes lourdes après les sauts a été évaluée à l'aide d'une échelle visuelle analogique (EVA) cartonnée munie d'un curseur coulissant (Figure 7). La face avant de l'échelle affichait la question, par exemple « comment jugez-vous l'état de vos jambes à cet instant ? » et une jauge linéaire avec deux marques aux extrémités (en bas : « très très légères » ; en haut : « très très lourdes ») permettaient aux participants d'évaluer ce paramètre en déplaçant l'indicateur le long de l'échelle. Sur la face arrière, une échelle numérique allant de 0 (correspondant au niveau « très très légères ») à 10 (« très très lourdes ») permettait à l'investigateur de lire la valeur correspondant au niveau de jambes lourdes perçu sans que le répondant en ait la connaissance. Par ailleurs, avant chaque séance consécutive à l'exercice fatigant (J2, J3 et J4), une EVA similaire a été utilisée pour mesurer le niveau de courbatures (*Delayed Onset of Muscle Soreness, DOMS* ; Mattacola et al., 1997). De plus, l'intensité globale de la douleur a été évaluée au début de chaque séance et après les périodes de récupération en J1, J2 et J3 à l'aide d'une carte corporelle numérique (*bodily map* ; Rigoard et al., 2021). Les participants utilisaient la souris d'un ordinateur pour glisser, sur des silhouettes en 3D, des cercles colorés sur les zones douloureuses. Trois tailles de cercles (petit, moyen et grand) étaient disponibles pour matérialiser l'étendue de la zone douloureuse (i.e., douleur très localisée, ou douleur diffuse). Ils pouvaient également choisir entre la face antérieure et postérieure du corps et recommencer en cas d'erreur. Un code couleur était employé pour indiquer l'intensité de la douleur : rouge pour une douleur sévère, rose foncé pour une douleur modérée, et rose clair pour une douleur légère. L'intensité de la douleur était associée à des coefficients : 1 pour une douleur légère, 2 pour une douleur modérée et 3 pour une douleur sévère. De même, la taille du cercle était associée à des coefficients : 1 pour une petite surface, 2 pour une surface moyenne et 3 pour une grande surface. Le score de douleur pour chaque zone était ensuite calculé en multipliant la surface par l'intensité :

$$\text{Score de douleur pour chaque zone} = \text{Surface} \times \text{Intensité}$$

Le score de douleur global était obtenu en additionnant les scores de toutes les zones douloureuses :

$$\text{Score de douleur global} = \sum_{i=1}^n (\text{Surface}_i \times \text{Intensité}_i)$$

Où n représente le nombre total de zones douloureuses indiquées par le participant.



**Figure 7.** Illustration des échelles analogiques et de *la bodily map* utilisées dans le cadre de cette étude pour évaluer subjectivement le niveau de *DOMS* et de jambes lourdes, ainsi que le niveau de douleurs sur l'ensemble du corps.

### 3.4. Analyse statistique

Pour analyser l'ensemble de ces données quantitatives, une ANOVA à deux voies à mesures répétées (modalité de récupération × période) a été réalisée pour comparer les effets de la modalité de récupération (CryoPush® vs. Passive) aux différents temps de mesure (Pre, Post, Post 24h et Post 48h). La normalité de la distribution, l'homogénéité des variances et l'hypothèse de sphéricité ont été testées à l'aide des tests de Shapiro-Wilk, de Levene et de Mauchly, respectivement. Si l'analyse de variance révélait une interaction modalité de récupération × période, des tests post-hocs HSD de Tukey étaient réalisés pour établir des différences significatives entre les paires. Les mesures réalisées entre le protocole de fatigue et de récupération ont permis de s'assurer que le niveau de

fatigue après l'exercice fatigant était identique lors des deux phases, signifiant que les participants avaient fourni un effort similaire. Pour ce faire, des tests *t* de Student appariés ont été effectués pour comparer la variation de force musculaire, d'explosivité (sauts) et de fatigue musculaire à basse-fréquence (Myocène®) pré-post exercice fatigant lors des deux phases expérimentales (CryoPush® vs. Passive). Le seuil de significativité a été fixé à  $p < 0,05$ .

## 4. RÉSULTATS

### 4.1. Caractéristiques générales des participants

Les caractéristiques initiales de notre échantillon sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous. Notre échantillon était exclusivement masculin et pratiquait une activité physique de façon récréative à raison de 2 à 4 séances par semaine.

**Tableau 1.** Caractéristiques des participants au moment de l'inclusion. Les valeurs sont présentées sous la forme moyenne  $\pm$  écart-type avec les minimums et maximums entre crochets.

Caractéristiques	Échantillon
Sexe, Nb (%) Hommes	N = 15 (100%)
Âge (ans)	39 $\pm$ 9 [25 – 50]
Masse corporelle (kg)	77,6 $\pm$ 7,6 [67,0 – 92,0]
Taille (m)	1,80 $\pm$ 0,05 [1,73 – 1,89]
Indice de masse corporelle (kg/m <sup>2</sup> )	24,0 $\pm$ 2,2 [21,2 – 29,1]

### 4.2. Exercice fatigant : performance et fatigue induite par l'exercice

Nous avons observé que la hauteur de saut moyenne pendant le test fatigant était statistiquement identique lors des deux phases expérimentales (Passive : 17,5  $\pm$  4,8 vs. CryoPush® : 18,1  $\pm$  3,9,  $p = 0,26$ ). Pour s'assurer que la fatigue induite par la répétition de sauts était similaire, nous avons calculé la variation de force isométrique lors des tests de 3 secondes ( $F_{max}$ ) et de 30 secondes ( $F_{moy}$ ), d'explosivité lors des *SJ* et *CMJ*, et de fatigue musculaire (mesurée avec le dispositif Myocène®) entre les mesures réalisées au début de la séance et à la suite des 4 blocs de 90 sauts :

- La  $F_{max}$  était réduite de 20  $\pm$  12 % et de 20  $\pm$  10 % après l'exercice fatigant lors des phases Passive et CryoPush®, respectivement ( $p = 0,91$ ) ; La  $F_{moy}$  a diminué de respectivement de 27  $\pm$  8 % et 21  $\pm$  10 % après l'exercice fatigant lors des phases Passive et CryoPush® ( $p = 0,08$ ).

- La hauteur moyenne des sauts a diminué de  $5 \pm 7 \%$  pour les SJ et  $4 \pm 7 \%$  pour les CMJ lors de la phase Passive et de  $8 \pm 5 \%$  pour les SJ et  $8 \pm 4 \%$  pour les CMJ lors de la phase CryoPush® ( $p = 0,32$  pour les SJ et  $p = 0,10$  pour les CMJ).
- L'index de fatigue musculaire, mis en évidence par la réduction du *Powerdex*, a montré une diminution de  $31 \pm 9 \%$  lors de la phase Passive et de  $29 \pm 15 \%$  lors de la phase CryoPush® ( $p = 0,65$ ).

### 4.3. Marqueurs inflammatoires

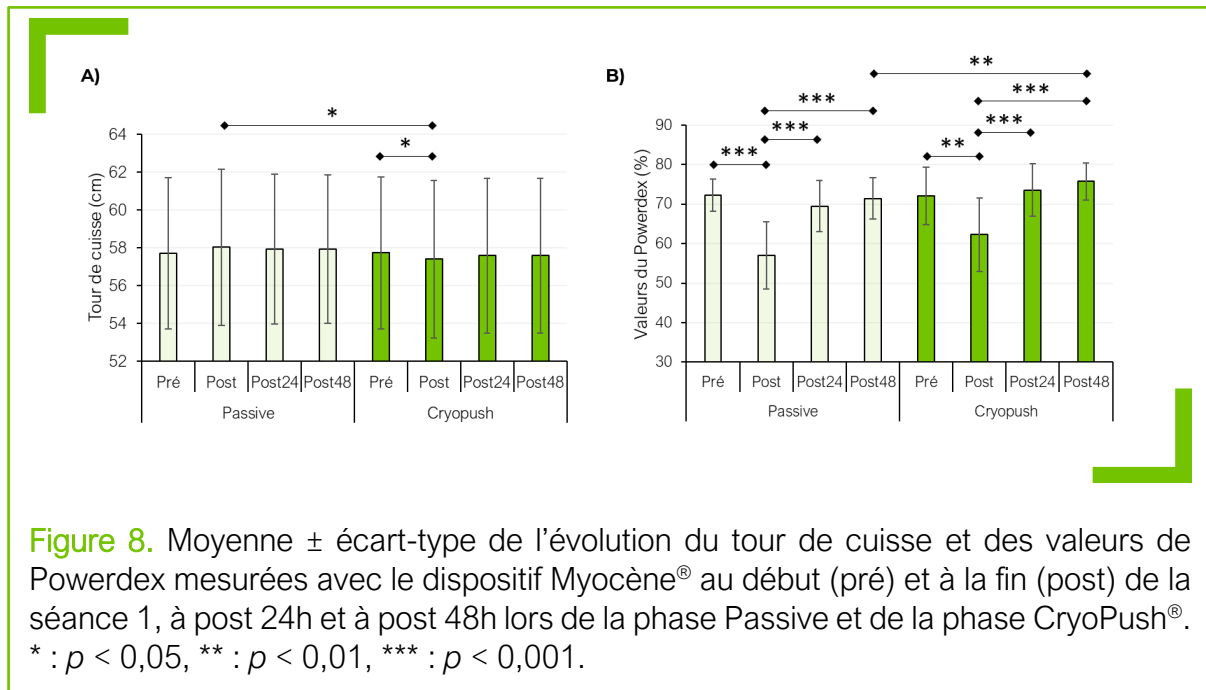
Le niveau d'IL-1 $\beta$ , un marqueur de l'inflammation musculaire, a été mesuré par des prélèvements salivaires au début et à la fin de la 1<sup>ère</sup> visite des phases Passive et CryoPush®. Pendant la phase passive, le niveau d'IL-1 $\beta$  est passé de  $0,51 \pm 0,10$  pg/mL à  $4,02 \pm 1,55$  pg/mL, tandis que lors de la phase CryoPush®, il est passé de  $0,50 \pm 0,10$  pg/mL à  $3,25 \pm 1,45$  pg/mL. L'analyse statistique a révélé un effet significatif de la modalité de récupération ( $p = 0,008$ ), un effet de la période ( $p < 0,001$ ), ainsi qu'un effet d'interaction ( $p = 0,007$ ). Les tests post-hoc ont confirmé une augmentation significative d'IL-1 $\beta$  après la séance comparée à la valeur pré-séance, à la fois pendant la phase passive ( $+6,9\%$ ,  $p < 0,001$ ) et la phase CryoPush® ( $+5,5\%$ ,  $p < 0,001$ ). De plus, une différence significative a été observée entre les deux valeurs post-séance ( $p = 0,033$ ).

Les mesures anthropométriques du tour de cuisse (Figure 8A) utilisées pour caractériser l'œdème musculaire avant et après la récupération, ainsi qu'à post 24h et post 48h ont mis en évidence un effet Modalité de récupération ( $p = 0,016$ ) et un effet d'interaction ( $p < 0,001$ ). Les tests post-hocs ont révélé une diminution du tour de cuisse à la suite de la récupération lors de la phase CryoPush® ( $57,7 \pm 4,0$  en pré vs.  $57,4 \pm 4,2$  en post,  $p = 0,044$ ), alors que cette mesure a légèrement augmenté lors de la phase Passive, mais de façon non-significative. En revanche, cela a provoqué une différence significative entre les valeurs post des deux phases (Passive :  $58,0 \pm 4,1$  vs. CryoPush® :  $57,4 \pm 4,2$ ,  $p = 0,048$ ).

### 4.4. Fatigue musculaire à basse-fréquence

En ce qui concerne les mesures de la fatigue musculaire (Figure 8B) déterminées par les valeurs du *Powerdex* provenant du Myocene®, nous avons observé un effet Modalité de récupération ( $p = 0,014$ ), un effet Période ( $p < 0,001$ ) et un effet d'interaction ( $p = 0,02$ ). Lors de la phase Passive, une diminution du *Powerdex* a été observée en post-séance 1 par rapport aux valeurs pré ( $-21\%$ ,  $p < 0,001$ ), avant de ré-augmenter à post 24h ( $+22\%$ ,  $p < 0,001$ ) et post 48h ( $+25\%$ ,  $p < 0,001$ ). Des différences similaires ont été identifiées lors de la phase CryoPush® avec une diminution du *Powerdex* en post-séance 1 par rapport aux valeurs pré ( $-14\%$ ,  $p = 0,009$ ), et une augmentation à post 24h ( $+18\%$ ,

$p < 0,001$ ) et post 48h (+22%,  $p < 0,001$ ). Enfin, les tests post-hocs ont mis en évidence une valeur de Powerdex supérieure à post 48h lors de la phase CryoPush® par rapport à la phase Passive (+6,1%,  $p = 0,002$ ).



#### 4.5. Performance explosive lors des sauts

La performance lors des sauts a été évaluée à partir de la hauteur moyenne et maximale mesurée lors des *SJ* et des *CMJ* (Tableau 2). Malgré un effet Période ( $p < 0,001$ ), nous n'avons pas trouvé d'interactions significatives pour ces différentes variables. Seule une tendance a été détectée pour la hauteur maximale des sauts lors des *SJ* ( $p = 0,074$ ). Les tests post-hocs ont montré une détérioration de la performance en post-séance par rapport aux autres conditions lors des deux phases expérimentales (tous  $p < 0,05$ ). En outre, nous avons observé que la performance maximale lors des *SJ* avait tendance à être supérieure à post 48h par rapport à post 24h lors de la phase CryoPush® uniquement (+6%,  $p = 0,06$ ).

**Tableau 2.** Moyenne  $\pm$  écart-type de la performance moyenne et maximale lors des trois sauts réalisés au début (pré) et à la fin (post) de la séance 1, à post 24h et à post 48h lors de la phase Passive et de la phase CryoPush®. La significativité statistique du facteur Modalité de récupération, du facteur Période et de l'effet d'interaction sont indiquées.

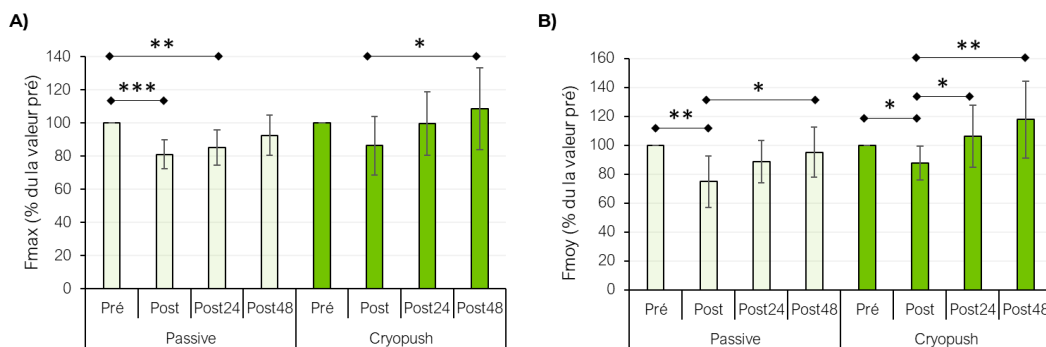
Variables	Condition	Pré	Post	Post 24h	Post 48h	Modalité	Période	Interaction
Hauteur moyenne SJ	Passive	26,5 $\pm$ 3,7	24,0 $\pm$ 2,9	26,0 $\pm$ 3,7	26,6 $\pm$ 4,5	0,270	< 0,001	0,238
	CryoPush®	27,5 $\pm$ 4,1	23,8 $\pm$ 4,1	26,3 $\pm$ 3,4	27,6 $\pm$ 3,1			
Hauteur Maximale SJ	Passive	27,8 $\pm$ 4,0*	25,4 $\pm$ 3,5	27,2 $\pm$ 3,7**	27,8 $\pm$ 4,6*	0,434	< 0,001	0,074
	CryoPush®	28,9 $\pm$ 4,4***	24,9 $\pm$ 4,1	27,1 $\pm$ 3,2 <sup>§</sup>	28,8 $\pm$ 3,3***			
Hauteur moyenne CMJ	Passive	30,1 $\pm$ 4,5	27,8 $\pm$ 4,0	29,9 $\pm$ 4,1	30,3 $\pm$ 4,5	0,775	< 0,001	0,343
	CryoPush®	30,8 $\pm$ 4,4	27,1 $\pm$ 4,0	29,9 $\pm$ 3,9	30,9 $\pm$ 3,9			
Hauteur Maximale CMJ	Passive	31,1 $\pm$ 4,3	28,6 $\pm$ 4,3	30,8 $\pm$ 3,9	31,5 $\pm$ 4,7	0,827	< 0,001	0,504
	CryoPush®	31,6 $\pm$ 4,3	28,0 $\pm$ 4,4	30,7 $\pm$ 4,1	32,1 $\pm$ 4,3			

**Notes :**  
 SJ : Squat Jump ; CMJ : Counter Movement Jump ; \* différent de post-séance ( $p < 0,05$ ) ; \*\* différent de post-séance ( $p < 0,01$ ) ; \*\*\* différent de post-séance ( $p < 0,001$ ) ; <sup>§</sup> : tendance à être différent de post 48h ( $p = 0,06$ )

#### 4.6. Force maximale des extenseurs du genou

La performance lors des tests isométriques a été évaluée sur 3 s (Figure 9A) et 30 s (Figure 9B). Les données ont été transformées en valeurs absolues, en considérant la valeur pré des deux phases comme référence, fixée à 100%. Concernant les tests de 3 s, nous avons observé un effet Modalité de récupération ( $p = 0,030$ ), un effet Période ( $p < 0,001$ ) et une interaction significative entre les facteurs ( $p = 0,014$ ). Les tests post-hocs ont révélé une différence significative entre les conditions pré et post (-19%,  $p < 0,001$ ), ainsi que pré et post 24h (-15%,  $p = 0,003$ ) lors de la phase Passive témoignant d'une baisse de Fmax, non visible lors de la phase CryoPush®. En revanche, une différence significative post vs. post 48h a été identifiée lors de la phase CryoPush® (+26%,  $p = 0,014$ ) démontrant la présence d'une récupération. Lors des tests de 30 s, les tests statistiques ont également mis en évidence un effet Modalité de récupération ( $p = 0,003$ ), un effet Période ( $p < 0,001$ ) et une interaction significative ( $p = 0,005$ ). Les tests à posteriori ont détecté une baisse de Fmoy en post vs. pré (-25%,  $p = 0,003$ ) et une amélioration à post 48h vs. post (+27%,  $p = 0,012$ ) lors de la phase Passive. Lors de la phase CryoPush®, nous avons également observé une baisse de Fmoy en post vs. pré (-12%,  $p = 0,028$ ), mais cette fois une amélioration a été identifiée à post 24h (+21%,  $p = 0,023$ ) et à post 48h (+34%,  $p = 0,001$ ) par rapport à la condition post. Ces résultats confirment que la cinétique de récupération a été accélérée avec le dispositif CryoPush®.





**Figure 9.** Moyenne  $\pm$  écart-type de la performance lors des tests isométriques de 3 s (Fmax, A) et 30 s (Fmoy, B) réalisés au début (pré) et à la fin (post) de la séance 1, à post 24h et à post 48h lors de la phase passive et de la phase CryoPush®. \* :  $p < 0,05$ , \*\* :  $p < 0,01$ , \*\*\* :  $p < 0,001$ .

#### 4.7. Puissance anaérobie

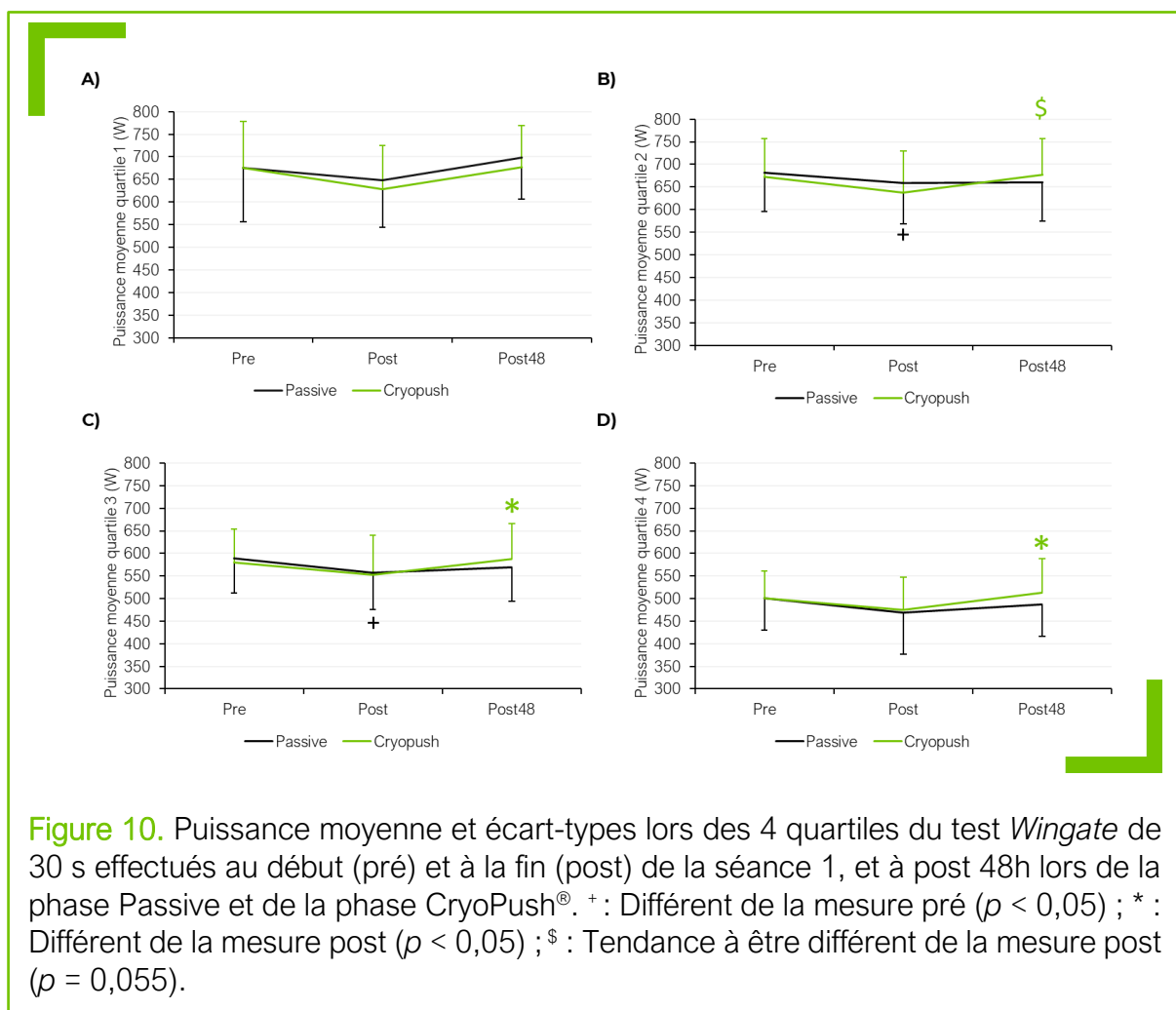
L'analyse de la puissance moyenne et maximale lors du test de *Wingate* a mis en évidence un effet Période lors des deux phases expérimentales, mais l'effet Modalité de récupération et l'effet d'interaction n'étaient pas significatifs (Tableau 3).

**Tableau 3.** Moyenne  $\pm$  écart-type de la performance moyenne et maximale lors des trois tests *Wingate* sur cyclo-ergomètre réalisés au début (pré) et à la fin (post) de la séance 1, et à post 48h lors de la phase Passive et de la phase CryoPush®. La significativité statistique du facteur Modalité de récupération, du facteur Période et de l'effet d'interaction sont indiquées.

Variables	Condition	Pré	Post	Post 48h	Modalité	Période	Interaction
Puissance moyenne (W)	Passive	615 $\pm$ 78	583 $\pm$ 79	604 $\pm$ 75	0,941	< 0,001	0,069
	CryoPush®	607 $\pm$ 70	574 $\pm$ 76	614 $\pm$ 67			
Puissance maximale (W)	Passive	783 $\pm$ 118	769 $\pm$ 126	812 $\pm$ 138	0,958	< 0,001	0,156
	CryoPush®	805 $\pm$ 138	754 $\pm$ 132	797 $\pm$ 111			

Pour compléter notre analyse, nous avons étudié l'évolution de la puissance tout au long du test en divisant les 30 secondes en quartiles (Figure 10). Un effet Période a été observé pour les quatre quartiles (tous  $p < 0,01$ ), tandis qu'aucun effet lié à la modalité de récupération n'a été identifié. Un effet d'interaction entre les facteurs a été mis en évidence pour le quartile 2 ( $p = 0,029$ ). Les tests Post-hocs ont montré que la puissance

moyenne diminuait en post par rapport à la valeur pré séance pour le quartile 2 ( $p = 0,012$ ) durant la phase Passive uniquement. En revanche, durant la phase CryoPush® la puissance moyenne avait tendance à augmenter à post 48h par rapport à la valeur post séance ( $p = 0,055$ ). Nous avons également observé des tendances concernant l'effet d'interaction pour les quartiles 3 ( $p = 0,08$ ) et 4 ( $p = 0,10$ ). Les tests Post-hocs ont montré que la puissance moyenne diminuait en post par rapport à la valeur pré séance pour le quartile 3 ( $p = 0,03$ ) durant la phase Passive. Pendant la phase CryoPush®, la puissance moyenne augmentait à post 48h par rapport à la valeur post séance lors du quartile 3 ( $p = 0,047$ ) et du quartile 4 ( $p = 0,002$ ). Ces résultats laissent suggérer que les participants étaient moins affectés à la fin de la séance 1 et que la récupération était facilitée à la suite de l'utilisation du système CryoPush® à post 48h.



#### 4.8. Fatigue mentale

Les résultats liés à la fatigue mentale ont mis en évidence un effet Période pour l'EVA, un effet Modalité de récupération pour la vitesse maximale des saccades et un effet d'interaction pour la vitesse moyenne des saccades oculaires (Tableau 4). Cependant,

les tests post-hocs, n'ont pas permis de mettre en évidence de différences entre les paires permettant d'identifier un effet du système CryoPush® sur la récupération au niveau mental.

**Tableau 4.** Moyenne  $\pm$  écart-type des variables subjectives (EVA) et objectives (saccades guidées) liées à la fatigue mentale mesurées au début (pré) et à la fin (post) de la séance 1, à post 24h et à post 48h lors de la phase passive et de la phase CryoPush®. La significativité statistique du facteur Modalité de récupération, du facteur Période et de l'effet d'interaction sont indiquées.

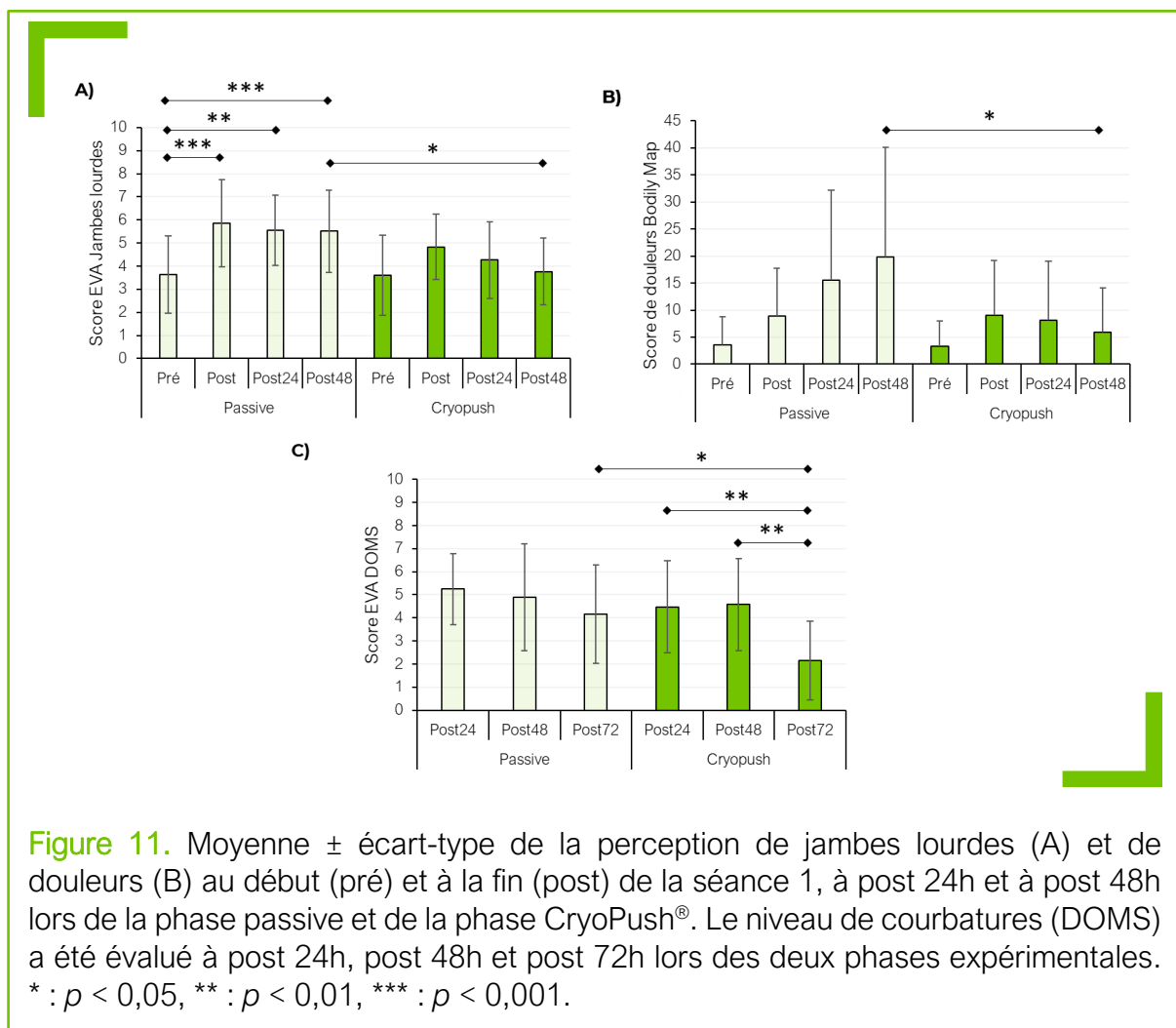
Variables	Condition	Pré	Post	Post 24h	Post 48h	Modalité	Période	Interaction
EVA	<i>Passive</i>	33,7 $\pm$ 23,8	41,3 $\pm$ 23,7	31,8 $\pm$ 23,1	27,9 $\pm$ 16,4	0,329	<b>0,008</b>	0,282
	<i>CryoPush®</i>	37,2 $\pm$ 22,8	35,0 $\pm$ 18,4	26,7 $\pm$ 17,1	23,8 $\pm$ 15,2			
Vsacc. moy	<i>Passive</i>	470 $\pm$ 29	461 $\pm$ 38	451 $\pm$ 38	455 $\pm$ 40	0,057	0,053	<b>0,048</b>
	<i>CryoPush®</i>	453 $\pm$ 41	451 $\pm$ 38	456 $\pm$ 37	452 $\pm$ 31			
Vsacc. max	<i>Passive</i>	698 $\pm$ 53	708 $\pm$ 68	675 $\pm$ 50	685 $\pm$ 65	<b>0,015</b>	0,906	0,188
	<i>CryoPush®</i>	668 $\pm$ 78	637 $\pm$ 58	681 $\pm$ 71	670 $\pm$ 61			
AUC 5-20°	<i>Passive</i>	5378 $\pm$ 345	5359 $\pm$ 372	5298 $\pm$ 329	5355 $\pm$ 364	0,272	0,340	0,124
	<i>CryoPush®</i>	5332 $\pm$ 397	5264 $\pm$ 390	5358 $\pm$ 363	5329 $\pm$ 334			

**Notes :**  
 EVA : Echelle Visuelle Analogique ; Vsacc. moy : Vitesse de saccades moyenne entre 15 et 20° ; Vsacc. max : Vitesse de saccades maximales ; AUC 5-20° : Aire sous la courbe pour les amplitudes entre 5 et 20°

#### 4.9. Variables perceptuelles

Des mesures perceptuelles ont permis d'évaluer le niveau de jambes lourdes (Figure 11A), de douleurs corporelles (Figure 11B) et de DOMS (Figure 11C) durant chacune des deux phases expérimentales. En ce qui concerne la perception de jambes lourdes, un effet Modalité de récupération ( $p = 0,006$ ), un effet Période ( $p < 0,001$ ), et un effet d'interactions ( $p = 0,024$ ) ont été détectées. Les comparaisons par paires ont permis de révéler une différence entre la condition pré et les conditions post (+61%,  $p < 0,001$ ), post 24h (+53%,  $p = 0,001$ ) et post 48h (+52%,  $p < 0,001$ ) de la phase Passive. Lors de la phase CryoPush®, aucune différence significative n'a été détectée, mais la perception de jambes lourdes avait tendance à diminuer entre la condition post et la condition post 48h (-22%,  $p = 0,051$ ). Nous avons également identifié une différence entre les conditions post 48h des deux phases ( $p = 0,012$ ) avec des jambes perçues comme plus légères après l'utilisation du système CryoPush®, alors qu'une tendance a été observée à post 24h ( $p = 0,051$ ). L'analyse du niveau de douleurs corporelles, évalué avec la *bodily map*, a montré un effet Modalité de récupération ( $p = 0,009$ ), un effet Période ( $p = 0,005$ ) et un effet d'interactions ( $p < 0,001$ ). Les tests post-hocs ont mis en évidence un niveau de douleur plus faible à post 48h après l'utilisation du système CryoPush® ( $p = 0,046$ ). De plus, le niveau de DOMS (courbatures) a également montré un effet Modalité de

récupération ( $p < 0,001$ ), un effet Période ( $p < 0,001$ ) et un effet d'interactions ( $p = 0,049$ ). À partir des tests post-hocs, nous avons identifié une diminution des courbatures à post 72h par rapport aux conditions post 24h (-52%,  $p = 0,008$ ) et post 48h (-53%,  $p = 0,002$ ) uniquement lors de la phase CryoPush®. Une différence entre les deux conditions post 72h a également été observée ( $p = 0,018$ ) avec des courbatures plus faibles à la suite de l'utilisation du dispositif CryoPush®. Enfin, des corrélations ont été observées entre les DOMS et les niveaux de douleurs corporelles, mesurés au début des sessions à post 24h et post 48h. Des tests de corrélation de Pearson ont mis en évidence des corrélations significatives lors de la phase Passive à post 48 ( $r = 0,68$ ,  $p = 0,016$ ), ainsi que lors de la phase CryoPush® à post 24h ( $r = 0,78$ ,  $p = 0,003$ ) et post 48h ( $r = 0,70$ ,  $p = 0,012$ ).



## 5. CE QU'IL FAUT RETENIR

La présente étude visait à évaluer les effets de séances de récupération avec la technologie CryoPush®, en comparaison à une récupération passive, après un exercice physique composé de sauts répétés ayant pour but d'induire une fatigue musculaire locale. Après avoir confirmé que la fatigue induite par l'exercice de sauts était comparable entre les deux phases expérimentales (en termes de fatigue musculaire à basse-fréquence, de perte de force et d'explosivité), nous avons observé les résultats suivants :

### EFFETS DE LA CRYOTHÉRAPIE COMPRESSIVE SUR LES MARQUEURS INFLAMMATOIRES

- La récupération avec le système CryoPush® après l'exercice de sauts a significativement réduit l'inflammation musculaire, évaluée par le dosage des cytokines IL-1 $\beta$ .
- La récupération avec le système CryoPush® a provoqué une diminution significative du tour de cuisse, l'effet étant inversé après la récupération passive.

### EFFET DE LA CRYOTHÉRAPIE COMPRESSIVE SUR LA FATIGUE MUSCULAIRE BASSE FRÉQUENCE :

- Après 48h, la fatigue musculaire mesurée avec le système Myocene® était inférieure lors de la phase CryoPush® en comparaison avec la phase Passive.

### EFFET DE LA CRYOTHÉRAPIE COMPRESSIVE SUR LA CINÉTIQUE DE RÉCUPÉRATION DE LA FORCE ET DE LA PUISSANCE :

- Une accélération de la récupération musculaire a été observée à post 24h et post 48h lors des tests isométriques de 3 s et 30 s lorsque les participants utilisaient le système CryoPush®.
- La performance lors des sauts n'a pas été influencée par la modalité de récupération, bien que les participants aient eu tendance à sauter plus haut à post 48h par rapport à post 24h lors de la phase CryoPush® uniquement.
- Des performances similaires ont été observées lors des deux phases expérimentales pour le test *Wingate* de 30 s. Néanmoins, l'analyse statistique par quartiles semble suggérer que les participants étaient plus affectés en post-séance après la récupération passive, et qu'ils récupéraient plus facilement à post 48h avec l'utilisation du système CryoPush® (visible uniquement à partir du 2<sup>nd</sup> quartile).

## EFFET DE LA CRYOTHÉRAPIE COMPRESSIVE SUR LES PARAMÈTRES LIÉS À LA FATIGUE MENTALE :

- Aucune différence n'a été détectée pour la fatigue mentale mesurée objectivement à partir des saccades oculaires et subjectivement avec une échelle visuelle analogique lors des deux phases expérimentales.

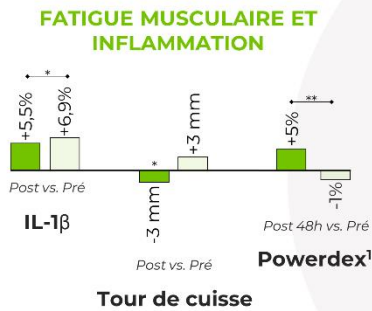
## EFFET DE LA CRYOTHÉRAPIE COMPRESSIVE SUR LA PERCEPTION DE JAMBES LOURDES ET DE DOULEURS :

- Nous avons observé des différences significatives entre les conditions post 48h des deux phases avec les jambes perçues comme plus légères après l'utilisation du système CryoPush®. De plus, en comparaison à la mesure réalisée au début de séance, les participants avaient une sensation de jambes lourde supérieure après la séance, ainsi qu'après 24h et 48h lors de la phase Passive uniquement.
- Une diminution notable des courbatures a également été mise en évidence 72h après l'effort par rapport aux conditions post 24h (-52%) et post 48h (-53%), mais uniquement lors de la phase CryoPush®, tandis que le niveau de douleurs corporelles était plus faible à post 48h après l'utilisation du système CryoPush®.

## 6. CONCLUSION

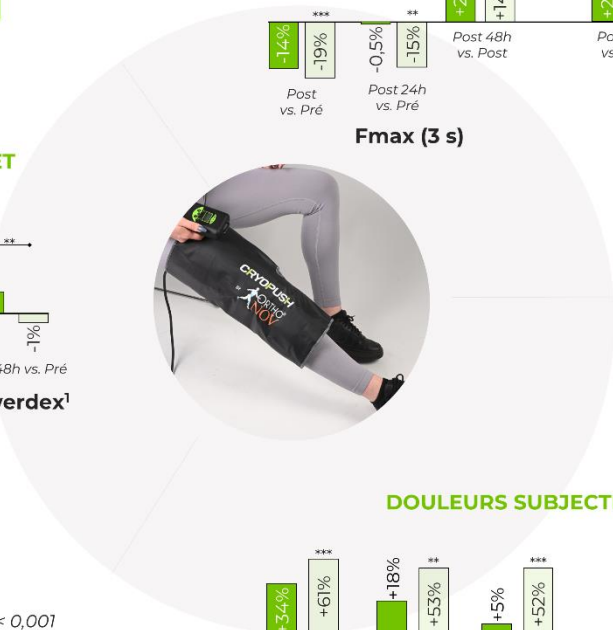
Les résultats de cette étude démontrent l'efficacité du dispositif CryoPush® dans l'amélioration de la cinétique de récupération musculaire après un exercice intense et traumatisant. Une réduction significative de l'inflammation, de la fatigue et des douleurs musculaires a été observée, accompagnée d'une amélioration des performances lors des différents tests sportifs, notamment en termes de force musculaire isométrique des extenseurs du genou. Ces observations mettent en lumière le potentiel du système CryoPush® en tant qu'outil de récupération pour les athlètes, offrant des perspectives prometteuses pour optimiser les stratégies de récupération dans un cadre sportif.

# Retrouvez en image les résultats clés de cette étude

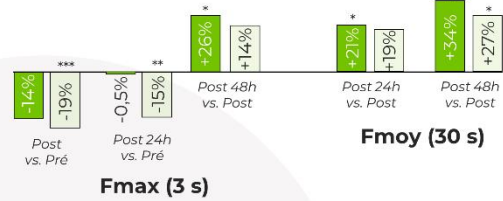


\* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001

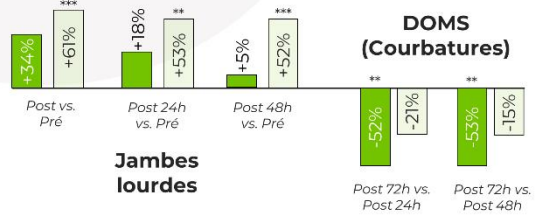
<sup>1</sup> La diminution du Powerdex indique une augmentation de la fatigue musculaire



### FORCE MUSCULAIRE



### DOULEURS SUBJECTIVES



## 7. RÉFÉRENCES

- Albano, D., Coppola, S., & Vastola, R. (2019). Vertical jump performance in Italian elite Trials athletes. *Journal of physical Education and Sport*, 19, 2110-2114.
- Bailey, D. M., Erith, S. J., Griffin, P. J., Dowson, A., Brewer, D. S., Gant, N., & Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of sports sciences*, 25(11), 1163-1170.
- Bastos, F. N., Vanderlei, L. C. M., Nakamura, F. Y., Bertollo, M., Godoy, M. F., Hoshi, R. A., ... & Pastre, C. M. (2012). Effects of cold-water immersion and active recovery on post-exercise heart rate variability. *International journal of sports medicine*, 873-879.
- Berger, N. J., Best, R., Best, A. W., Lane, A. M., Millet, G. Y., Barwood, M., ... & Bearden, S. (2024). Limits of ultra: towards an interdisciplinary understanding of ultra-endurance running performance. *Sports Medicine*, 54(1), 73-93.
- Born, D. P., Sperlich, B., & Holmberg, H. C. (2013). Bringing light into the dark: effects of compression clothing on performance and recovery. *International journal of sports physiology and performance*, 8(1), 4-18.
- Di Stasi, L. L., McCamy, M. B., Macknik, S. L., Mankin, J. A., Hooft, N., Catena, A., & Martinez-Conde, S. (2014). Saccadic eye movement metrics reflect surgical residents' fatigue. *Annals of surgery*, 259(4), 824-829.
- Eston, R., & Peters, D. (1999). Effects of cold-water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of sports sciences*, 17(3), 231-238.
- Fielding, R. A., Violan, M. A., Svetkey, L., Abad, L. W., Manfredi, T. J., Cosmas, A., & Bean, J. (2000). Effects of prior exercise on eccentric exercise-induced neutrophilia and enzyme release. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(2), 359-364.
- Fowler, N. E., Lees, A., & Reilly, T. (1997). Changes in stature following plyometric drop-jump and pendulum exercises. *Ergonomics*, 40(12), 1279-1286.
- Gauche, E. J., Lepers, R., Rabita, G., Leveque, J., Bishop, D., Brisswalter, J., & Hausswirth, C. (2006). Vitamin and mineral supplementation and neuromuscular recovery after a running race. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(12), 2110-2117.
- Hausswirth, C., Louis, J., Bieuzen, F., Pournot, H., Fournier, J., Filliard, J. R., & Brisswalter, J. (2011). Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly trained runners. *PLoS one*, 6(12), e27749.
- Hoffman, M. D., Badowski, N., Chin, J., & Stuempfle, K. J. (2016). A randomized controlled trial of massage and pneumatic compression for ultramarathon recovery. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 46(5), 320-326.
- Jakeman, J. R., Byrne, C., & Eston, R. G. (2010). Lower limb compression garment improves recovery from exercise-induced muscle damage in young, active females. *European journal of applied physiology*, 109(6), 1137-1144.
- Khan, K. M., Thompson, A. M., Blair, S. N., Sallis, J. F., Powell, K. E., Bull, F. C., & Bauman, A. E. (2012). Sport and exercise as contributors to the health of nations. *The Lancet*, 380(9836), 59-64.
- Kraemer, W. J., Bush, J. A., Wickham, R. B., Denegar, C. R., Gomez, A. L., Gotshalk, L. A., ... & Sebastianelli, W. J. (2001). Continuous compression as an effective therapeutic intervention in treating eccentric-exercise-induced muscle soreness. *Journal of Sport Rehabilitation*, 10(1), 11-23.
- Martinez-Guardado, I., Rojas-Valverde, D., Gutiérrez-Vargas, R., Ugalde Ramírez, A., Gutiérrez-Vargas, J. C., & Sánchez-Ureña, B. (2020). Intermittent pneumatic compression and cold-water immersion effects on physiological and perceptual recovery during multi-sports international championship.



Journal of functional morphology and kinesiology, 5(3), 45.

Mattacola, C. G., Perrin, D. H., Gansneder, B. M., Allen, J. D., & Mickey, C. A. (1997). A comparison of visual analog and graphic rating scales for assessing pain following delayed onset muscle soreness. *Journal of Sport Rehabilitation*, 6(1), 38-46.

Murray, A., & Cardinale, M. (2015). Cold applications for recovery in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis. *Extreme physiology & medicine*, 4, 1-15.

O'Riordan, S. F., McGregor, R., Halson, S. L., Bishop, D. J., & Broatch, J. R. (2023). Sports compression garments improve resting markers of venous return and muscle blood flow in male basketball players. *Journal of sport and health science*, 12(4), 513-522.

Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Fillard, J. R., Barbiche, E., & Hausswirth, C. (2011). Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PloS one*, 6(7), e22748.

Ridard, J., Rozand, V., Millet, G. Y. - Lapole, T. (2022). On-field low-frequency fatigue

measurement after repeated drop jumps. *Frontiers in Physiology*, 13, 1039616.

Rigoard, P., Ounajim, A., Goudman, L., Louis, P. Y., Slaoui, Y., Roulaud, M., ... & Billot, M. (2021). A novel multi-dimensional clinical response index dedicated to improving global assessment of pain in patients with persistent spinal pain syndrome after spinal surgery, based on a real-life prospective multicentric study (PREDIBACK) and machine learning techniques. *Journal of clinical medicine*, 10(21), 4910.

Rose, Catriona, et al. "Whole-body cryotherapy as a recovery technique after exercise: a review of the literature." *International journal of sports medicine* 38.14 (2017): 1049-1060.

Sarin, S., Scurr, J. H., & Smith, P. C. (1992). Mechanism of action of external compression on venous function. *Journal of British Surgery*, 79(6), 499-502.

Schaefer, E., Peil, H., Ambrosetti, L., & Petrini, O. (2003). Oedema protective properties of the red vine leaf extract AS 195 (*Folia vitis viniferae*) in the treatment of chronic venous insufficiency. *Arzneimittelforschung*, 53(04), 243-246.

Silva, A., Narciso, F. V., Rosa, J. P., Rodrigues, D. F., da Silva

Cruz, A. Â., Tufik, S., ... & De Mello, M. T. (2019). Gender differences in sleep patterns and sleep complaints of elite athletes. *Sleep Science*, 12(04), 242-248.

Skurvydas, A., Dudoniene, V., Kalvėnas, A., & Zuoza, A. (2002). Skeletal muscle fatigue in long-distance runners, sprinters, and untrained men after repeated drop jumps performed at maximal intensity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(1), 34-39.

Szabo, Y. Z., & Slavish, D. C. (2021). Measuring salivary markers of inflammation in health research: A review of methodological considerations and best practices. *Psychoneuroendocrinology*, 124, 105069.

Weerapong, P., Hume, P. A., & Kolt, G. S. (2005). The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports medicine*, 35(3), 235-256.

Wolska, B., Domagała, Ł., Kisilewicz, A., Hassanlouei, H., Makar, P., Kawczyński, A., & Klich, S. (2023). Multiple cryosauna sessions for post-exercise recovery of delayed onset muscle soreness (DOMS): a randomized control trial. *Frontiers in Physiology*, 14, 1253140.



Pr. Christophe HAUSSWIRTH

Founder beScored Institute

[christophe@bescored.fr](mailto:christophe@bescored.fr)

+33.6.86.58.46.93

<https://bescored.fr/>

## PUBLICATIONS INTERNATIONALES

Lien: [Pubmed website](#)

## LIVRES

- > Recovery for performance in sport ([link](#))
- > Nutrition And Performance In Sport. Science At The Tip Of The Fork ([link](#))
- > Science of Recovery - Update on Sports Performance Improvement ([link](#))

