



HAL
open science

Effets de différentes modalités de récupération (immersion vs. Veinoplus Sport®) sur la restauration des performances anaérobies et des dommages musculaires après un exercice intermittent fatigant

François Bieuzen, Christophe Hausswirth

► To cite this version:

François Bieuzen, Christophe Hausswirth. Effets de différentes modalités de récupération (immersion vs. Veinoplus Sport®) sur la restauration des performances anaérobies et des dommages musculaires après un exercice intermittent fatigant. [Rapport de recherche] Rapport de recherche n° 08-015, Institut National du Sport et de l'Éducation Physique (INSEP). 2009. hal-01988888

HAL Id: hal-01988888

<https://insep.hal.science/hal-01988888>

Submitted on 22 Jan 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INSEP

RAPPORT DE RECHERCHE

N° 08-015 / Oct.2009

MISSION RECHERCHE

EFFETS DE DIFFÉRENTES MODALITÉS DE RÉCUPÉRATION (IMMERSIONS VS. VEINOPLUS SPORT®) SUR LA RESTAURATION DES PERFORMANCES ANAÉROBIES ET DES DOMMAGES MUSCULAIRES APRÈS UN EXERCICE INTERMITTENT FATIGANT

François BIEUZEN¹ ET Christophe HAUSSWIRTH¹

COLLABORATEURS

C. COZZOLINO²,
P. LE VAN²,
P.M. LEPRETRE³,
F. MANKOWSKI⁴,
H. POURNOT⁴,
S. PUECH⁵,
R. ROULLAND⁶,
J. SENGES⁷

TRAVAIL EFFECTUÉ PAR

1. Mission Recherche - INSEP

EN COLLABORATION AVEC

2. Départements du Sport de Haut-Niveau et Médical - INSEP
3. Laboratoire de Recherche: Adaptations Physiologiques à l'Exercice et Réadaptation à l'Effort, Faculté des sciences du sport, Amiens, France.
4. Centre Européen de Rééducation du Sportif de Capbreton, Capbreton, France.
5. CREPS PACA St-Raphaël Boulouris, Saint-Raphaël, France
6. RC LENS, CTS La Gaillette, Avion, France.
7. ESTAC Troyes, Pont Ste Marie, France



SOMMAIRE

REVUE DE LA LITTERATURE	1
A. La récupération par immersion	2
A.1 Les mécanismes en réponse à l'immersion :	2
A.2 Les différentes modalités d'immersion	4
B. La récupération par Electromyostimulation basse frequence	10
BUT DU PROJET ET HYPOTHESES.....	12
MATERIELS ET METHODES	13
A. Sujets	13
B. Protocole expérimental.....	13
B.1 Tests d'évaluation	13
B.2 Exercice intermittent fatigant	14
B.3 Récupération par l'immersion et EMS par technologie Veinoplus Sport®.....	14
C. Matériels et mesures.....	14
C.1 Tests de performance.....	14
C.2 Tests biochimiques	15
C.3 Protocoles de récupération par immersion	16
C.4 Protocoles de récupération par EMS par technologie Veinoplus Sport®.....	17
D. Analyse statistique	17
RESULTATS.....	18
A. Tests de Performance.....	18
A.1 Force maximale volontaire : FMV	18
A.2 Capacité anaérobie : P_{ANA}	19
A.3 Force explosive : Sauts CMJ.....	20
B. Analyses Biochimiques	21
B.1 Analyse Enzymatique :	21
B.2 Leucocytes :	23
DISCUSSION	25
CONCLUSION, APPLICATIONS PRATIQUES & PERSPECTIVES.....	28
BIBLIOGRAPHIE.....	29

REVUE DE LA LITTÉRATURE

La récupération musculaire est un facteur clé de la performance. Actuellement, le monde sportif a considérablement progressé dans le domaine de la programmation des charges d'entraînement. Cependant, les modalités de récupération sont souvent laissées à la charge de l'athlète et leur absence régulière dans l'enchaînement des entraînements amène progressivement l'athlète dans le secteur de la surcharge voire du surentraînement (Mackinnon et Hooper, 1991). Sans programmation minutieuse de ces différentes modalités de récupération, il est bien établi que le maintien de la haute-performance pour un athlète est d'ores et déjà compromis. C'est souvent le repos qui est alors préconisé afin reprendre des charges d'entraînement acceptables, reliées aux différentes intensités et aux différents volumes souhaités.

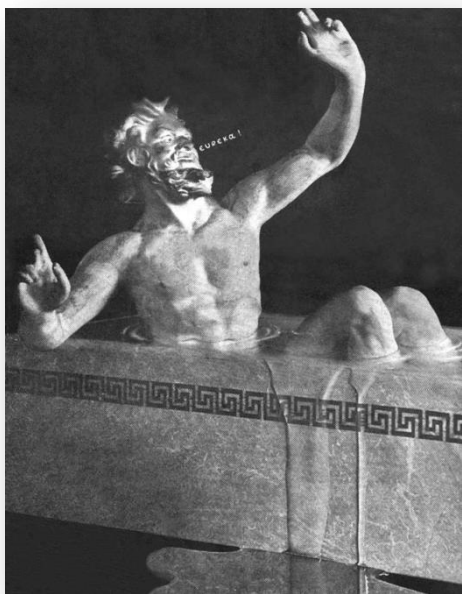
Depuis quelques années, différents accents ont été mis sur la possibilité pour un athlète de mieux récupérer. Cette accélération de la récupération permet à certains athlètes de pouvoir continuer à s'entraîner ou à maintenir un état compétitif stable. Relié à cela, il y a une apparition, depuis quelques années, de modalités de récupération comme les massages chaud-froid, l'oxygénation par hyperbarie, l'accélération du retour veineux, l'électromyostimulation, et ce dans le but d'accélérer véritablement la régénération globale des athlètes (Calder, 1996).

Parmi les différentes méthodes citées, les techniques d'immersion et d'électromyostimulation sont régulièrement utilisées mais suscitent de nombreuses questions sur le plan scientifique. Au travers de ces techniques, l'objectif est notamment de diminuer et d'éliminer plus rapidement les dommages musculaires créés par l'exercice. En effet, l'exercice physique génère des contraintes musculaires induisant une perturbation de l'homéostasie des cellules musculaires ou une inflammation locale (Ispiridis et coll., 2008). Les réponses inflammatoires sont donc un reflet indirect particulièrement intéressant de ces contraintes. Plus particulièrement, les réponses des différentes enzymes telles que la créatine kinase (CK) ou la lactate déshydrogénase (LDH) permettent de renseigner sur l'état de fatigue musculaire du sportif (Brancaccio et coll., 2008). Ainsi, l'élévation de leurs concentrations dans le sang après l'exercice témoigne d'un efflux de protéines à partir du muscle qui peut être attribué à l'augmentation de la perméabilité de la membrane plasmique et/ou de la vascularisation intramusculaire (Cannon et coll., 1990). Plusieurs solutions ont alors été proposées afin d'accélérer la restauration de l'homéostasie grâce à une amélioration de la circulation périphérique, du retour veineux et de la clairance des marqueurs des dommages musculaires. Parmi celles-ci, la répétition de contraintes mécaniques de compression de faibles intensités sur les membres inférieurs semble présenter un intérêt pour la récupération du sportif. En effet, les mouvements de contraction-relâchement des muscles des membres inférieurs et plus particulièrement des muscles de la jambe permet de simuler un pompage et d'augmenter le débit sanguin, la translocation, l'élimination des

métabolites et de réduire le volume intracellulaire. D'un point de vue pratique, les techniques permettant ceci sont : l'immersion grâce à la pression hydrostatique, l'immersion alternée chaud / froid grâce aux vasoconstrictions / vasodilatations générées par le contraste de température et l'électromyostimulation basse fréquence par technologie Veinoplus Sport®.

A. LA RECUPERATION PAR IMMERSION

Cette technique de récupération consiste à immerger le corps ou partie dans l'eau. Dans la littérature scientifique, on relate principalement 4 modalités d'immersion différentes selon la température de l'eau



: eau tempérée de 15° à 36°C (TEMP), eau chaude > 42°C (HWI), eau froide < 15°C (FROID) et contraste de température (CWT). Cette dernière consistant à alterner l'immersion en eau froide et en eau chaude. Plusieurs aspects (*i.e.* métabolique, neurologique, cardiovasculaire et musculaire) des conséquences de ces procédés de récupération ont été étudiés en relation avec les différents paramètres induits par la fatigue. Différentes modalités d'immersion ont alors été testées (Barnett, 2006). L'immersion des athlètes s'est généralement réalisée soit dans une eau chaude, soit dans une eau froide (Howatson et Van Someren, 2008). Plus récemment, certains ont tenté de les coupler en alternant ces deux pratiques et d'autres, en

s'appuyant sur les effets de la pression hydrostatique comme mécanisme principale d'une récupération précoce, pensent qu'il serait intéressant de se tourner vers l'immersion en eau tempérée à profondeurs variables (Wilcock et coll., 2006).

A.1 LES MECANISMES EN REPONSE A L'IMMERSION :

Pour justifier la qualité ou la diminution du temps de récupération avec l'immersion, les hypothèses avancées sont liées principalement à trois facteurs : la pression hydrostatique (Vaile et coll., 2008), les phénomènes antalgiques associées à la vasoconstriction locale dans le cadre d'une immersion en eau froide et la vasomotricité lorsque la technique d'immersion par contraste de température est utilisée (Cochrane et coll., 2004).

Dans le premier cas, la pression hydrostatique exerce une pression supérieure à celle de l'air (au niveau de la mer) sur toute la surface du corps provoquant un mouvement des gaz, substances et fluides en direction du thorax. Ceci permettrait d'améliorer la récupération et de réduire la taille de l'œdème

produit par l'exercice (Wilcock et coll., 2006). De plus, l'influx nerveux serait limité par la compression des muscles et des nerfs du fait de la pression hydrostatique.

Dans le second cas, à travers l'immersion en eau froide, la diminution de la température corporelle présenterait également un intérêt sur, la transmission nerveuse ou encore les phénomènes d'inflammation. La transmission nerveuse serait altérée via la diminution de la température lors d'exposition en eau froide. La diminution des messages nerveux pourrait donc expliquer encore une fois la modification de la perception de la fatigue. Néanmoins d'autres phénomènes peuvent être impliqués comme une vasoconstriction au niveau local qui limiterait les produits du métabolisme et le degré d'inflammation ce qui diminuerait les douleurs et les gênes perçus lors de mouvement.

Dans le troisième cas, les vaisseaux cutanés réagissent au froid par vasoconstriction et à l'inverse par vasodilatation lors d'exposition à des températures chaudes (Wilcock et coll., 2006). L'association de vasodilatation et vasoconstriction stimulerait le flux sanguin en réduisant ainsi l'inflammation et la durée de celle-ci. Ce pompage du sang ou « vaso-pumping » peut être l'un des mécanismes qui permet le mouvement des substances métaboliques, la réparation du muscle soumis à l'exercice et la diminution des processus métaboliques dans celui-ci (Cochrane et coll., 2004). L'augmentation du flux sanguin permettrait alors de répondre correctement à la différence de gradient en favorisant les mouvements vers le milieu extracellulaire. Cette augmentation du flux sanguin va également produire une augmentation du volume d'éjection systolique (VES) en augmentant la pré-charge du cœur. Couplée à l'augmentation des VES, on observe alors une diminution des résistances périphériques lors de l'immersion CWT jusqu'au niveau du cou. Ce phénomène produit donc une augmentation du débit sanguin via une augmentation de la pré-charge sans augmenter la FC. A l'inverse, une vaso-compression locale pouvant être associée à la production d'œdème altérerait ce temps de transport. La pratique d'immersion par contraste de température et l'œdème auraient donc des effets opposés sur l'écoulement du sang et les mouvements biochimiques.

D'autre part, il existe d'autres mécanismes bien connus provoquant la diminution de la perception de la fatigue comme la poussée d'Archimède. En effet, au cours de l'examen électromyographique on note une diminution de l'activation neuromusculaire nécessaire pour le maintien de la posture et une diminution globale des transmissions nerveuses. Le corps serait quasi totalement à l'état de repos (Wilcock et coll., 2006).

Si les techniques d'immersion semblent pouvoir théoriquement favoriser les processus de récupération, les études de terrain montrent cependant une forte variabilité des résultats en fonction des modalités utilisées (Wilcock et coll., 2006).

A.2 LES DIFFERENTES MODALITES D'IMMERSION

L'IMMERSION EN EAU TEMPEREE (TEMP)



Afin de définir l'influence de la pression hydrostatique seule, sur la récupération par immersion, le principe d'immersion dans une eau tempérée a été mis en place. Dans la littérature, ce type d'immersion consiste à immerger le corps ou partie dans l'eau dont la température se situe



généralement entre 16° et 35°C.

Toutefois on considère qu'une eau est tempérée à partir du moment où la température corporelle peut être maintenue pendant une heure (35°C). Néanmoins, selon la quantité de graisse sous cutané, la température de l'eau comprise entre 30° et 34°C permet de maintenir cette température corporelle durant une heure. En effet, au cours d'immersion à des températures de 33° et 35°C la

température corporelle des sujets n'a pas été altérée. Par contre, pour des températures supérieures (*i.e.* 37 à 39°C), la température corporelle augmente de 36,7°C à 38,3°C (Weston et coll., 1987). D'autre part, des études démontrent en plus un effet intéressant sur la pré-charge du cœur. En effet, selon Weston et coll. (1987) l'immersion dans l'eau à 33°C augmente significativement le débit cardiaque comparativement aux valeurs mesurées avant immersion. En effet, celui-ci augmente d'environ 30% (*i.e.* de 5,4 L min⁻¹ à 6,9 L. min⁻¹). Ceci étant, ces chercheurs ont parallèlement observés une diminution significative de la fréquence cardiaque à 33° et 35°C diminuant de 82 batt.min⁻¹ (pré-immersion) à 70 (33°C) et 73 batt.min⁻¹ (35°C) après immersion. A l'inverse, pour les températures d'immersion supérieure (37° et 39°C), la fréquence cardiaque est alors augmentée et dépasse les 87 batt.min⁻¹. Au cours des immersions à 33° et 35°C, le volume d'éjection systolique des sujets est augmenté d'environ 50% et continue d'accroître pour des températures d'immersion supérieure. De plus, le calcul des résistances périphériques est également progressivement réduit avec l'augmentation de la température de l'eau. (Weston et coll., 1987).

MODIFICATIONS BIOCHIMIQUES – D'un point de vue biochimique, très peu d'études se sont intéressées aux adaptations subséquentes d'une immersion en eau tempérée et d'un exercice physique. Parmi les quelques études traitant ce point, Simeckova et coll., (2000) ont démontré que lors d'une heure

d'immersion (niveau du cou) dans un bain à 20°C les activités, de la rénine, de l'aldostérone et du cortisol ont été significativement abaissées comparées au groupe contrôle resté à température ambiante. En revanche, Rowsell et coll. (2009) affirment que l'immersion tempérée ne permet pas de réduire les concentrations plasmatiques en CK, LDH, myoglobine produit au cours de l'exercice.

EFFETS SUR LA PERFORMANCE – Les études relatant les effets de l'immersion tempérée sur la performance sont très peu nombreuses. Toutefois, Rowsell et coll. (2009) ont démontré que l'immersion à 34°C n'a pas apporté d'amélioration sur la performance au cours des sauts verticaux ni lors des sprints.

IMMERSION EN EAU CHAUDE (HWI)



L'immersion en eau chaude consiste à immerger le sujet pendant 10 à 20 min, dans une eau dont la température est supérieure à 38°C. Une application superficielle augmente la température cutanée et sous-cutanée. Cette augmentation de la température des tissus superficiels provoque par vasodilatation une augmentation du débit sanguin cutané. Cependant, l'élévation de la fréquence cardiaque associée à une diminution de volume d'éjection prolongerait le temps nécessaire à une récupération complète (Rutkove et coll., 2001). D'autre part, l'immersion en eau chaude sur une large partie du corps peu produire un stress potentiellement dangereux pour le système cardiovasculaire. Il a été rapporté sur de très rare cas : des battements ectopique du cœur, une hypotension, des syncopes de chaleur et des évanouissements.

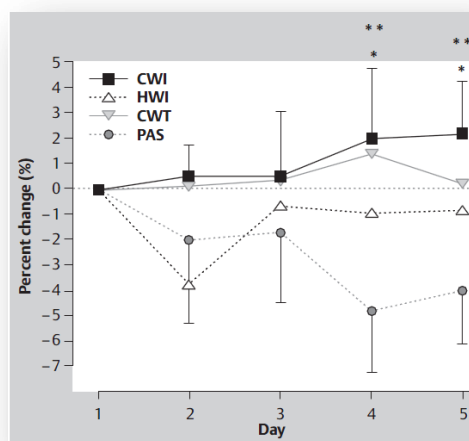


Figure 1 - Résultats de l'étude de Vaile et coll. (2008) sur les performances en sprint en fonction de la température d'immersion utilisée en récupération. CWI, Froid; HWI, Chaud; CWT, Alternée; PAS, passif. *, Différence significative

MODIFICATIONS BIOCHIMIQUES – Lors d'immersion à 45°-50°C, on observe une dénaturation des protéines, l'augmentation de la réponse inflammatoire et de l'œdème (Wilcock et coll., 2006). L'hyperthermie cause également l'apoptose des cellules en inhibant l'activité des cellules NFkappa-β. Toutefois, l'augmentation du flux sanguin accentue la perméabilité des cellules, des capillaires et des vaisseaux lymphatiques. Ce phénomène augmente alors le métabolisme, l'apport d'éléments nutritifs et l'élimination des déchets provenant des cellules qui peuvent améliorer la guérison (Cote et coll., 1988). Néanmoins, comparativement à l'immersion en eau tempérée, le flux sanguin dirigé vers les muscles est moins important. Le transport des substrats métaboliques au sein même du muscle serait alors moins bénéfique en condition chaude (Bonde-Petersen et coll., 1992). Pourtant, l'étude menée par Skurvydas et

coll. (2008) montrent qu'une immersion des jambes pendant 45 min à 44°C aurait permis de réduire la plupart des marqueurs indirects des dommages musculaires telle que la créatine kinase.

EFFETS SUR LA PERFORMANCE – Si l'immersion des jambes permet de réduire la plupart des marqueurs des dommages musculaires, son application clinique semble limitée. En effet, cette diminution n'est pas corrélée à un regain de la force de contraction (Skurvydas et coll., 2008) malgré l'augmentation de la transmission nerveuse, de la proprioception et d'une diminution du temps de réaction induites par la chaleur (Wilcock et coll., 2006). De la même façon, on note qu'une augmentation de la température œsophagienne de 2°C induite par l'immersion engendre une augmentation de la perception de fatigue et réduit la performance au cours d'un exercice de 30 min réalisé sur ergocycle à 60% de la VO_2 max (température extérieur 40°C) (Peiffer et coll., 2008). Cependant, une autre étude démontre une meilleure récupération des capacités de production de force en squat isométrique mais non en squat-jump lors d'une comparaison avec un groupe pratiquant une récupération passive (Vaile et coll., 2008).

IMMERSION EN EAU FROIDE (FROID)



L'immersion en eau froide a d'abord été utilisée à des fins thérapeutiques pour son pouvoir analgésique car elle aurait un rôle important dans le traitement de blessures aiguës du muscle. Elle consiste à



immerger la partie du corps à traiter dans une eau dont la température est comprise entre 4° et 16°C pendant une durée de 15 à 20 min selon les études. Au niveau mécanique, elle induit principalement une vasoconstriction locale et une diminution de la conduction nerveuse. L'exposition au froid diminue la fréquence cardiaque et augmente les résistances périphériques car

l'organisme cherche à lutter contre cette baisse de température corporelle. Pour sa survie, l'organisme privilégie l'irrigation du territoire central de l'organisme plutôt que ses extrémités que sont les membres (Bonde-Petersen et coll., 1992).

MODIFICATIONS BIOCHIMIQUES – L'immersion en eau froide induit de nombreux mouvements métaboliques et permettrait de faire diminuer l'augmentation de la concentration plasmatique en créatine kinase

(Vaile et coll., 2008). De plus, deux études récentes ont démontré suite à une immersion en eau froide (13-14°C pendant 15 minutes), une diminution significative des concentrations en lactate (Crowe et coll., 2007) et en myoglobine (Bailey, 2007) au niveau plasmatique. Cette technique permet de réduire, via une vasoconstriction, la perméabilité des vaisseaux aux cellules immunitaires diminuant ainsi l'œdème et le processus d'inflammation, ce qui réduirait la perception de douleur (Bailey, 2007). D'autre part, une diminution de l'activité nerveuse aurait un impact positif car elle permettrait la diminution significative de la perception de fatigue après immersion (Howatson et Van Someren, 2008) et de ce fait, augmenterait la capacité des sujets à maintenir un effort plus longtemps ou à parcourir une distance plus rapidement. Cependant, l'eau froide induit une dépense énergétique anormale pour le maintien de la température corporelle. En effet, le maintien de la température corporelle a un coût car il augmente la ventilation, la consommation d'oxygène et le métabolisme. De plus, les vasoconstrictions associées à une diminution de la fréquence cardiaque peuvent s'avérer délétères voire dangereuses pour la santé. On note également que la médiation de la fréquence cardiaque par les Beta 2 adrénergiques a été diminuée après traitement par le froid (Janský et coll., 2008). D'autres résultats ne présentent cependant pas d'aspect délétère à la pratique d'immersion en eau froide mais suggèrent que cette stratégie ne semble pas apporter d'amélioration de l'état de fatigue (Goodall et Howatson, 2008).

EFFETS SUR LA PERFORMANCE – Selon Vaile et coll. (2008), l'immersion en eau froide provoque une réduction de la chute de performance en sprint lorsque cette modalité est comparée à un groupe récupérant passivement. Cet auteur note également qu'au cours d'une séance d'exercice fatigant de moyenne durée (9 min), la diminution de performance pour le groupe passif était de l'ordre de 2,6% à 24h contre 0.1% pour le groupe immergé en eau froide. De plus, le groupe immergé en eau froide a maintenu sa performance au cours des 5 jours d'exercice alors que le groupe passif a augmenté ses temps jusqu'à 3.8%. De plus, une diminution de la force maximale de contraction de la flexion du genou a été significativement atténuée à 24h (12%) et 48h (3%) par rapport au groupe passif (respectivement 21 et 14%) (Bailey et coll., 2007 ; Kinugasa et coll., 2008). D'autres s'opposent (Goodall et Howatson, 2008 ; Howatson et Van Someren, 2008) et démontrent que suite à une immersion en eau froide (15°C) d'une durée de 12 minutes, la perte de force en contraction maximale volontaire n'a pas été atténuée, comparée à un groupe contrôle ayant subi auparavant le même exercice (5 séries de 20 répétitions de sauts en contrebas d'une hauteur de 60 cm). Suite à l'immersion en eau froide à 13-14°C pendant 15 minutes, la performance en sprint sur vélo fut encore une fois significativement diminuée (Crowe et coll., 2007). Néanmoins, des tests réalisés lorsque la température extérieure était de 35°C ont permis aux sujets d'augmenter sur ergocycle le nombre de révolutions par minute lors du second essai et le groupe immergé dans l'eau froide a parcouru plus de distance que le groupe contrôle au cours des 25 min d'exercice (Peiffer et coll., 2008). Néanmoins, l'impact du froid diminuerait la conduction nerveuse ce qui empêcherait, pendant un temps, l'athlète de produire une puissance maximale (Rutkove, 2001) et une

force maximale qu'elle soit volontaire ou stimulée (Peiffer et coll., 2008). Ainsi, il existe une corrélation entre la diminution de la température du muscle et le signal EMG (Kinugasa et coll., 2008). De plus, la comparaison après immersion des deux modes de contraction volontaire maximale ou stimulée permet de penser que la perte de fonction neuromusculaire serait périphérique plutôt que centrale (Peiffer, 2007). Une étude poussée sur les réflexes conclue également que le froid induit une diminution de la performance musculaire via une augmentation de l'excitabilité du pool de motoneurones (Oksa et coll., 2000).

IMMERSION PAR CONTRASTE DE TEMPERATURE (CWT)



Pour accélérer le processus de récupération certains sportifs utilisent l'immersion par contraste de température. Cette méthode consiste à alterner l'immersion en eau froide et l'immersion en eau chaude. Les temps d'immersion selon les études peuvent varier de 30 à 120 secs sur 2 à 5 répétitions pendant une durée totale de 2 à 10 min. La caractéristique principale de cette technique serait de provoquer des mouvements sanguins en créant des variations de température pour stimuler les mouvements des vaisseaux (*i.e.* vaso-pumping). Ce vaso-pumping mimerait le mécanisme engendré par une récupération active de faible intensité sans recourir à la même quantité d'énergie. En effet, la répétition de mouvements alternant une contraction et une relaxation des muscles à faible intensité, crée des mouvements sanguins. Ces mouvements augmentent la translocation des métabolites vers le sang et réduiraient le volume du liquide intracellulaire. Comparativement à une récupération passive, l'immersion CWT pendant 15 min permet de réduire significativement le volume de l'œdème pendant 72 heures après l'exercice (Vaile et coll., 2008). Néanmoins, comparée à une récupération par immersion en eau froide, on observe que la taille de l'œdème est augmentée de 26,5% lors d'une immersion de type CWT (Cote et coll., 1988).

MODIFICATIONS BIOCHIMIQUES – La littérature sur l'immersion CWT est bien fournie, néanmoins les effets au niveau physiologique sont moins bien connus (Wilcock et coll., 2006). Le lactate sanguin serait significativement diminué après 15 minutes de traitement en alternant un cycle d'immersion en eau froide (10°C) pendant 60 secondes et en eau chaude (42°C) pendant 120 secondes (Coffey et coll., 2004). En revanche, suite à une immersion contrastée (15°C / 35°C), Vaile et coll. (2008) n'ont pas démontré de diminution significative des concentrations plasmatiques en myoglobine, IL-6 ou LDH. Par contre cette même étude a démontré, suite à cette pratique, une réduction de la perception de la douleur et de la circonférence des cuisses 24, 48 et 72 heures après l'exercice. Toutefois, au cours d'une autre étude, la créatine kinase plasmatique a été atténuée de manière significative suite à 9 minutes d'exposition alternant 1 minute en eau froide (8-10°C) et 2 minutes en eau chaude (40-42°C) (Gill et coll., 2006). De plus, Morton (2007) qui a demandé à ses sujets de réaliser un test de Wingate (30/30sec) puis de

s'immerger dans des bains à 36° C et 12°C, a quant à lui pu démontrer une diminution significative de la concentration plasmatique de lactate produit au cours de l'effort. Selon Vaile et coll., (2007) l'œdème produit par l'exercice a été significativement réduit après 15 min de traitement comparé à un groupe contrôle durant 72h. La moyenne des mesures de circonférence de la cuisse ayant augmentée de $2,3 \pm 0,8\%$ pour le groupe Passif et $0,6 \pm 0,6\%$ pour le groupe CWT. Ainsi, selon plusieurs études la récupération suivant ce type d'immersion présente un intérêt sur la réponse inflammatoire (Coffey et coll., 2004 ; Gill et coll., 2006 ; Vaile et coll., 2007).

EFFETS SUR LA PERFORMANCE – Ingram et coll., (2009) ont observé la capacité des sujets à reproduire une même performance en sprint suite à 5 immersions (10° C) de 2 minutes séparées de 2 minutes et trente secondes de repos en position assise. Par contre, sur les distances de 400m, 1000m et 5000m, les athlètes des différents groupes CWT (10°/ 42°) et PASSIF n'ont pas montré d'effets significatifs sur l'augmentation du temps de course. En revanche, le groupe CWT ainsi que le groupe récupération active ont pu faire diminuer de manière significative la concentration plasmatique en lactate. D'autre part, Wilcock et coll. (2006) concluent que le plus grand bénéfice de l'immersion pourrait être obtenu en alternant l'immersion en eau froide et tempérée. En effet au cours de ce type de pratique, les variations du volume d'éjection cardiaque, ne seraient alors pas accompagnées d'augmentation de la dépense énergétique.

Les résultats observés dans la littérature sur les effets de cette technique sur la restauration de la performance ne présentent actuellement pas de consensus. Ainsi, certaines études montrent des résultats similaires entre les techniques d'immersion en eau froide et CWT sur la restauration de la performance (Bailey et coll., 2007 ; Ingram et coll., 2009) alors que d'autres n'ont pas démontré d'atténuation des signes et symptômes de la fatigue (Howatson et Van Someren 2003). Des immersions de 12 minutes à 15° C ont même été répétées sur 3 jours consécutifs sans fournir de résultats intéressants (Goodall et Howatson, 2008). Ces derniers précisent que moduler la durée d'exposition ou la température aurait certainement apporté de meilleurs résultats. Toutefois chaque étude a utilisé différents protocoles pour induire la fatigue ou récupérer comme par exemple des positions, des temps ou des températures d'immersion variés (Morton, 2007). Or, Farhi et Linnarsson (1977) ont démontré des variations très importantes des réponses physiologiques lorsque que sont modulés les niveaux d'immersion (à température constante de 35°C) (hanche au menton en passant par le sternum). Ils démontrent alors qu'une élévation de la fréquence cardiaque est majorée avec l'augmentation de la surface du corps immergé. Ainsi, en accord avec une récente revue de la question, ces écarts de température, niveaux d'immersion ou durées d'exposition pourraient avoir pu contribuer à ces contradictions (Goodall et Howatson. 2008; Wilcock et coll., 2006).

B. LA RECUPERATION PAR ELECTROMYOSTIMULATION BASSE FREQUENCE

L'amélioration du retour veineux après un exercice vise d'une part à rétablir l'homéostasie du système et d'autre part à lutter contre la réduction du flux sanguin, la formation d'œdèmes, d'hématomes ou



encore de micro-thromboses favorisant notamment les dilatations veineuses. Ceci s'effectue au travers de plusieurs actions mécaniques localisées en trois lieux : la semelle veineuse de Lejars au niveau du pied propulse une faible quantité de sang veineux à chaque pas ($\approx 10\%$ du retour veineux) ; La pompe thoraco-diaphragmatique chargée d'aspirer le sang au niveau de la cuisse ($\approx 10\%$) ; les muscles postérieurs de la jambe définis comme le « cœur périphérique de Starling » ($\approx 80\%$). Le rôle du mollet est primordial dans la facilitation du retour veineux. Celui-ci aspire une grande quantité de sang veineux

dans ses veines musculaires superficielles et profondes qui va ensuite être chassé avec un très fort débit vers le réseau profond poplité et fémoral lorsque les valvules sont bien continentes.

MODIFICATIONS HEMODYNAMIQUES APRES UN EXERCICE PHYSIQUE



Les sports explosifs qui nécessitent la production d'une force très élevée dans un minimum de temps induisent une occlusion vasculaire souvent associée à une ischémie suivie d'une brève hyperpression veineuse (haltérophilie, escrime, sprint, gymnastique sportive, démarrages et sauts en sport-co, etc.). Les sports d'endurance induisent, quant à eux, un déséquilibre entre la pompe foulante et la pompe aspirante lorsque l'exercice se prolonge. Ainsi, bien que ces différents sports provoquent des réactions différentes, la grande majorité favorise la stase veineuse dans le membre inférieur et nécessite « une prise en charge » immédiate du retour veineux en vue d'améliorer la récupération. L'objectif d'une prise en charge du retour veineux en sport sera alors double : rétablir un flux sanguin et diminuer la réponse inflammatoire.

La technique d'électromyostimulation basse fréquence, au même titre que la compression progressive, intéresse particulièrement les praticiens du sport par sa simplicité d'utilisation. Cependant, peu d'études existent sur cette technologie et ne montrent que très peu d'intérêt quant à l'optimisation de la récupération. Parmi les hypothèses évoquées pour expliquer cette absence de résultats, l'inefficacité des appareils sur le retour veineux est particulièrement mise en avant (Millet, 2005). Or aujourd'hui, un

nouveau type d'appareil présente, dans d'autres champs d'investigation médicaux, des résultats très encourageants. En effet, ceux-ci montrent que chez des patients présentant une stase veineuse, l'EMS par technologie Veinoplus® assure dans un premier temps une « vidange » du mollet du sang qui s'y était accumulé (Zuccarelli et coll., 2005) puis assure un retour veineux optimum dans le réseau profond et superficiel, éliminant la stase veineuse pendant la session. De la même façon, Faghri et coll. (1998) observent une amélioration du retour veineux que ce soit chez des patients présentant des problèmes circulatoires ou des sujets sains. Cette technique, en procurant une chasse veineuse efficace, pourrait permettre notamment de réduire les œdèmes, phénomènes particulièrement problématiques lors de la récupération du sportif mais également d'augmenter la translocation des métabolites vers le sang et réduire le volume du liquide intracellulaire.

BUT DU PROJET ET HYPOTHESES

Ainsi, l'ensemble des résultats présentés ci-dessus ne proposent pas de véritable consensus quant à l'utilisation de ces méthodes de récupération dû, pour une part, à la variabilité méthodologique des protocoles utilisés mais également à l'inefficacité des outils pré-existants. D'autres part, aucune de ces études ne s'est attachée à observer la récupération grâce à ces techniques sur des populations de haut-niveau qui sont pourtant les plus susceptibles de les utiliser. Aussi, l'objectif de notre étude est de comparer cinq modalités de récupérations différentes au cours du temps chez une population de sportifs de haut-niveau suite à un exercice fatigant. Nous émettons l'hypothèse suivante : les techniques d'immersion en eau froide (FROID), de contraste (CWT) et d'EMS par technologie Veinoplus Sport® permettraient de revenir plus rapidement à l'état original comparativement aux récupérations passive (PASSIF) et en eau tempérée (TEMP).

MATERIELS ET METHODES

A. SUJETS

56 sujets sportifs de haut niveau (Football, Rugby, Volley), hommes et femmes (âgés en moyenne de : 21.5 ± 4.6 ans, de poids moyen : $73.1 \text{ kg} \pm 9.7$ et de taille moyenne : 176.7 ± 9.7 cm) ont volontairement participé à cette étude. Tous les sujets ont rempli un consentement écrit après avoir été informés en détail des procédures de l'expérimentation. La veille et durant toute la durée de l'étude les sujets n'ont consommé ni alcool, ni aucun traitement anti-inflammatoire et n'ont eu recours à aucun autre procédé de récupération (étirements, massages ou décrassage par la course...) susceptible d'influencer les résultats. L'étude a été agréée par le comité d'éthique pour la protection des individus (Île-de-France XI, France, Ref. CPP : 09015)

B. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Tous les sujets ont été familiarisés à chaque appareil lors d'une séance d'habituatation préalable. L'étude s'est déroulée sur deux jours consécutifs. Au cours de la première journée, les sujets ont réalisé plusieurs tests d'évaluation avant et après un exercice intermittent fatigant et suite à la récupération. Puis 24h après l'exercice intermittent fatigant, les sujets ont de nouveau été soumis aux mêmes tests d'évaluation que la veille (Figure 2 - Protocole).

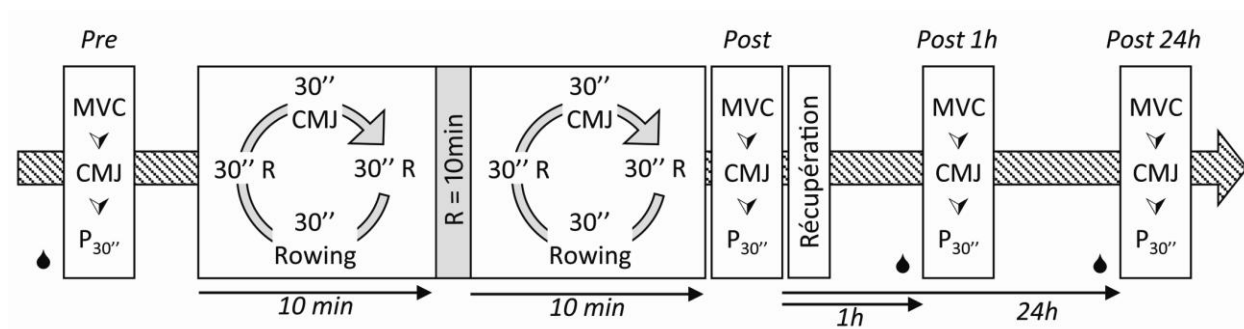


Figure 2 - Protocole expérimental. MVC (i.e. FMV), force maximale volontaire ; CMJ, saut en contre mouvement ; P_{30''}, 30-sec rameur ; ●, Prélèvement sanguin ; Rowing, rameur ; R, Repos.

B.1 TESTS D'ÉVALUATION

La force maximale volontaire (FMV) des muscles extenseurs des jambes, la puissance moyenne mesurée lors d'un test maximal de 30 secondes sur rameur et les paramètres suivants : hauteur, force, vitesse et puissance lors de sauts en contre mouvement (CMJ) ont été enregistrés. Ces évaluations ont été répétées avant (Pré), immédiatement après (Post), 1 heure après (Post 1h) et 24 heures après (Post 24h) l'exercice intermittent fatigant. A chaque instant, les sujets ont réalisé les différents tests dans le

même ordre. Trois prélèvements sanguins ont également été réalisés immédiatement avant (Pré), une heure (Post 1h) et 24 heures (Post 24h) après l'exercice. Un dosage des marqueurs de souffrance musculaire (CK et LDH) à partir du plasma et une numération formule sanguine sur du sang entier ont été effectués pour chaque temps.

B.2 EXERCICE INTERMITTENT FATIGANT

Les sujets ont effectué deux cycles de 10 minutes d'exercice intermittent alternant successivement 30 secs de sauts verticaux, 30 secs de repos, 30 secs de rameur, 30 secs de repos. 10 min de repos leur était imparti entre les 2 cycles. Les sauts étaient effectués les mains sur les hanches à une fréquence imposée de 2 Hz. Il était demandé aux sujets une hauteur de saut maximale sur chaque saut. L'intensité imposée lors des exercices de 30 secs de rameur correspondait à 80% de leur puissance moyenne sur 30 secs enregistrée lors de l'exercice maximal sur rameur de la première phase de test. Les sujets ont été encouragés pendant toute la durée de l'exercice et étaient équipés d'une sangle de sécurité lors des passages sur rameur.

B.3 RECUPERATION PAR L'IMMERSION ET EMS PAR TECHNOLOGIE VEINOPLUS SPORT®

Préalablement à toutes les sessions de test, les sujets étaient distribués de façon aléatoire par tirage au sort dans l'un des groupes de récupération suivants : TEMP, FROID, CWT, Veinoplus Sport® et un groupe témoin noté PASSIF. Les groupes TEMP, FROID, CWT, Veinoplus Sport® et PASSIF était alors respectivement constitués de 9 ; 13 ; 10 ; 15 ; 9 sujets.

C. MATERIELS ET MESURES

C.1 TESTS DE PERFORMANCE

EVALUATION DE LA FMV

▼
Un ergomètre isocinétique (Biodex Corporation, Shirley NY, USA) utilisé en configuration isométrique a été utilisé pour évaluer la FMV des muscles extenseurs du genou de la jambe dominante. Les sujets étaient assis sur la chaise et immobilisés à l'aide d'une double sangle croisée au niveau du tronc, d'une sangle sur la cuisse dominante et d'une autre sur la cheville dominante. Les angles entre le tronc et la cuisse et la cuisse et la jambe étaient respectivement de 110° et 100°. La jambe



non testée était alors libre de tout mouvement. A partir de cette position initiale, les sujets devaient effectuer un mouvement d'extension de 3 à 4 secondes pendant lequel, un investissement maximal était exigé. Pour chaque session de test, il a été demandé aux sujets de réaliser trois essais entrecoupés d'une minute de repos. La meilleure des trois contractions était alors définie comme étant la FMV.

SAUT EN CONTRE MOUVEMENT (CMJ)



La puissance explosive développée par les membres inférieurs ainsi que la hauteur, la vitesse et la force développée ont été mesurées lors de sauts en contre mouvements à l'aide d'un dynamomètre inertiel (Myotest Pro, Sion, Suisse) validé par Jidovtseff et coll. (2008). Les sujets ont réalisé trois sauts verticaux d'amplitude maximale à chaque essai, en conservant les mains sur les hanches. Chaque test comportant 3 sauts successifs suivant un signal sonore fourni toutes les 30 secs par l'appareil de mesure. Les sujets étaient informés à l'aide d'un goniomètre du degré de flexion de leurs genoux au moment de la prise d'appel de leur saut. La meilleure performance de chaque test a été enregistrée.

EVALUATION DE LA PUISSANCE MAXIMALE ANAEROBIE (P_{ANA})



La P_{ANA} a été déterminée en demandant au sujet de maintenir un effort maximal sur un ergomètre de type rameur (Concept 2, Morrisville, VT, USA) pendant une durée de 30 secs. Ceux-ci étaient systématiquement harnachés au siège du rameur à l'aide d'une sangle au niveau du bassin. Afin de déterminer cette puissance, la consigne fut d'atteindre le plus rapidement possible une puissance maximale. La puissance moyenne sur les 30 secondes (P_{ANA}) a été relevée et enregistrée. Cette valeur a été retenue pour déterminer la puissance cible à maintenir lors de l'exercice fatigant et correspondant à 80% de la P_{ANA} .



C.2 TESTS BIOCHIMIQUES

Des prélèvements sanguins ont été réalisés pour les différentes sessions de tests, au niveau d'une veine dans le pli du coude de l'avant-bras, à l'aide d'aiguilles épicroâniennes, par des personnes habilitées. Le volume de sang prélevé fut de 12 ml (2 tubes gélyifiés de 4 ml et un tube EDTA de 4 ml) à chaque session de tests. Ce volume de sang prélevé est négligeable en regard du volume sanguin total et n'altérera pas la santé du sujet. Une fois le sang prélevé, les tubes furent homogénéisés par retournement. Le tube EDTA était ensuite conservé à température ambiante avant analyse alors que les tubes gélyifiés étaient

placés dans la glace au maximum 30 secondes avant d'être centrifugés (dix minutes, 3000 T.min⁻¹, 4 °C). Le plasma issu des tubes gélifié était ensuite pipeté et aliquoté dans des tubes de stockage type Eppendorf par fraction de 500 µl. Puis, il était congelé à -20° puis -80 °C. À partir du plasma de ces échantillons, des dosages des marqueurs de souffrances musculaires (CK et LDH) ont été effectués.

METHODES D'ANALYSE DES MARQUEURS INDIRECTS DES DOMMAGES MUSCULAIRES (LDH ET CK)



Le lactate déshydrogénase et la créatine kinase ont été mesurés à l'aide de kits commercialisés (Roche/Hitachi, Meylan, France) contenant deux réactifs liquides (R1 et R2) prêts à l'emploi. Le dosage de la LDH s'effectue en utilisant la réaction simple suivante : sous l'action de la LDH, la transformation du lactate et du nicotinamide–adénine–dinucléotide oxydé (NAD⁺) en pyruvate et nicotinamide–adénine–dinucléotide réduit (NADH). L'augmentation de l'absorbance à 490 nm est directement proportionnelle à l'activité de la LDH dans l'échantillon.

La créatine kinase présente dans les échantillons des sujets catalyse le transfert d'un groupe phosphate fortement énergétique provenant de la créatine phosphate sur l'ADP. L'ATP produite dans cette réaction est utilisée ultérieurement pour phosphoryler le glucose afin d'obtenir du glucose-6-phosphate (G-6-P) en présence d'hexokinase. Le G-6-P est ensuite oxydé par la glucose-6-phosphate déshydrogénase (G-6-PDH) avec réduction concomitante de nicotinamide–adénine–dinucléotide–phosphate (NADP) en nicotinamide–adénine–dinucléotide–phosphate réduit (NADPH). Le taux de NADPH formé est mesuré à 340 nm, et est proportionnel à l'activité de la créatine kinase dans l'échantillon. Ces réactions se produisent en présence de N-acétyl-L-cystéine (NAC) présente en tant que réactivateur enzymatique.

C.3 PROTOCOLES DE RECUPERATION PAR IMMERSION

Immédiatement après l'évaluation qui suivait l'exercice intermittent fatigant, chacun des groupes a été immergé en position assise dans des bains d'eau (Cryocontrol Dropmed©, Baziege, France) jusqu'au niveau de la crête iliaque pendant 20 minutes. Excepté le groupe PASSIF qui a été installé sur une chaise pendant 20 minutes avec pour consigne d'effectuer le minimum de mouvements. Les groupes FROID et TEMP ont été respectivement immergés à des températures de 12° et 30°C. Le groupe CWT alternait une immersion à 10°C et à 38°C selon 7 cycles de 1 min 30 secs dans chacun des bains.



Suite à l'exercice fatigant et à l'évaluation (Post), l'un des groupes a utilisé le stimulateur Veinoplus Sport®. L'appareil d'EMS Veinoplus Sport® est de la taille d'un baladeur de poche et est alimenté par une pile de 9 V. Sa fonction est de solliciter les muscles du mollet par EMS afin d'entraîner la compression des veines profondes de la jambe pour améliorer le retour sanguin veineux. Le courant est appliqué par l'intermédiaire de deux électrodes ovalaires de 8 x 13 cm placées sur la peau de la partie centrale du mollet de façon symétrique sur chacune des deux jambes. Ce stimulateur est certifié certificat européen (CE) médical. Il produit une série d'impulsions de faible énergie et de bas voltage de forme rectangulaire. La forme de l'onde de courant est symétrique et biphasée pour chaque impulsion, entraînant des contractions des muscles du mollet presque symétriques dans chaque jambe. L'intensité



du courant est réglable par le patient en fonction de la tolérance et de la sensibilité de chaque patient. Le rythme des impulsions est préprogrammé dans la puce de l'appareil. Ce rythme est défini pour que les impulsions soient délivrées par salves. Ces salves d'impulsions produisent des contractions musculaires sans douleur et proches du rythme cardiaque. Le temps écoulé entre chaque salve change automatiquement toutes les cinq minutes.

Il correspond à une seconde pour les cinq premières minutes, puis 0,8 secondes pour les cinq minutes suivantes, puis 0,7 secondes pour les cinq minutes suivantes et 0,6 secondes pour les cinq dernières minutes. Chaque séance de traitement dure 20 minutes et produit 1600 salves de stimulation se traduisant par au moins 1500 contractions effectives des muscles de chaque mollet

D. ANALYSE STATISTIQUE

Toutes les données ont été moyennées et présentées avec un écart-type (figures et tableaux). Une analyse de variance (ANOVA) avec des mesures répétées a été employée pour comparer les résultats en fonction des deux facteurs, groupe et temps. Lorsque les valeurs de F étaient significatives, une analyse post-hoc de Tukey était réalisée. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$. L'ensemble des analyses statistiques était réalisé avec le logiciel Statistica 7.0 (StatSoft, Inc. TULSA, Oklahoma ; USA) sous Windows.

RESULTATS

Pour tous les tests réalisés, aucune différence significative entre les groupes n'a été observée pour les situations Pré, Post, Post 1h et Post 24h.

A. TESTS DE PERFORMANCE

A.1 FORCE MAXIMALE VOLONTAIRE : FMV

Toutes les groupes présentent une diminution significative ($P < 0.05$) de la FMV immédiatement après l'exercice en comparaison avec la situation Pré. Tous les groupes maintiennent cette différence en Post 1h par rapport à la situation Pré. A Post 24h, les FMV de tous les groupes ne sont plus significativement différentes de leurs valeurs Pré (Figure 3).

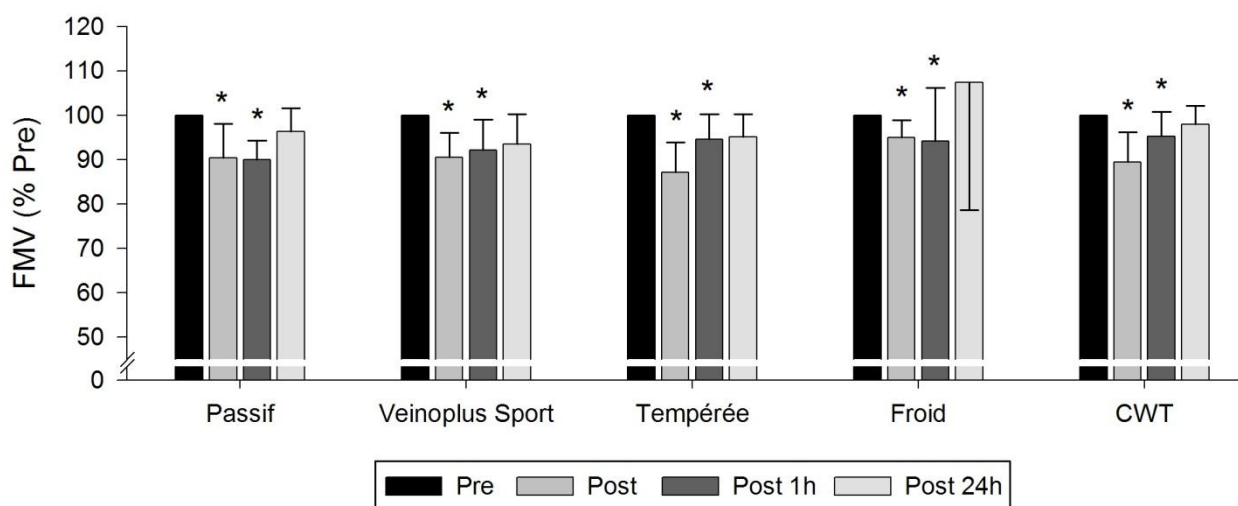


Figure 3 - Evolution de la force maximale volontaire isométrique (FMV) des extenseurs du genou. CWT, Contraste chaud/froid. *, Significativement différent de la situation "Pré" ($p < 0.05$)

A.2 CAPACITE ANAEROBIE : P_{ANA}

Tous les groupes présentent une chute significative ($p < 0.05$) de la P_{ANA} immédiatement après l'exercice intermittent fatigant d'environ 10%. Cette chute se maintient à Post 1h excepté pour les groupes CWT et Veinoplus Sport® dont les valeurs ne sont plus significativement différentes des valeurs Pré. A Post 24h, on observe un retour aux valeurs basales pour tous les groupes. (Figure 4)

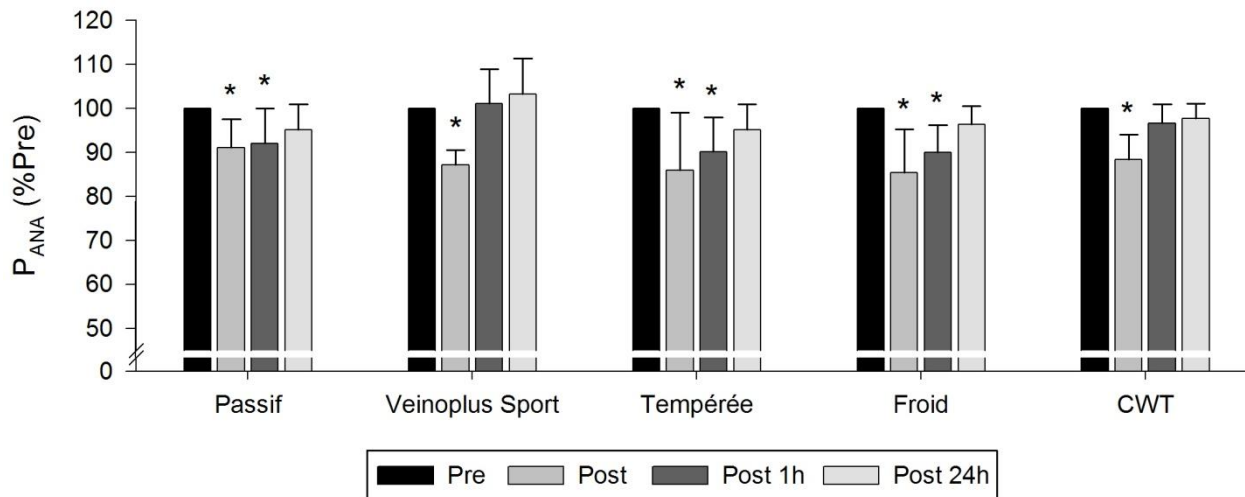


Figure 4 - Evolution de la puissance anaérobie moyenne lors du test maximal de 30 secs sur rameur. CWT, Contraste chaud/froid. *, Significativement différent de la situation "Pré" ($p < 0.05$)

A.3 FORCE EXPLOSIVE : SAUTS CMJ

HAUTEUR



Aucun groupe, excepté le groupe Passif, ne montre de différence significative ($p < 0.05$) de leur hauteur de saut immédiatement après l'exercice intermittent comparativement à la situation Pré. A Post 1h, tous les groupes présentent une diminution significativement par rapport aux valeurs Pré. A Post 24h, on observe retour aux valeurs initiales, excepté pour les groupes TEMP et CWT. (Figure 5)

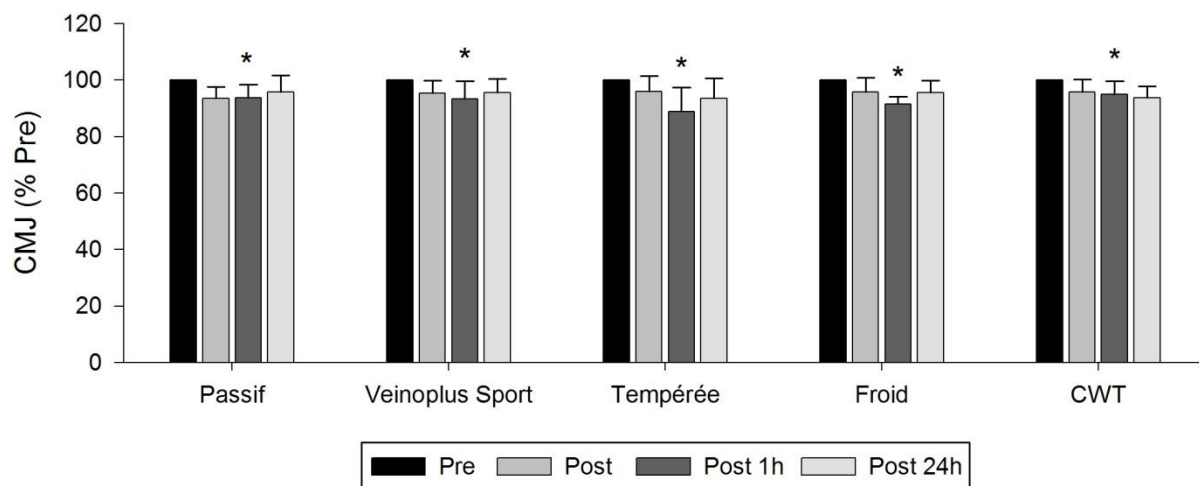


Figure 5 - Evolution de la hauteur de saut lors d'un saut en contre mouvement (CMJ). CWT, Contraste chaud/froid. *, Significativement différent de la situation "Pré" ($p < 0.05$)

FORCE, VITESSE ET PUISSANCE



Aucune différence significative n'est mesurée entre les groupes ou les temps lors des sauts maximaux (CMJ).

B. ANALYSES BIOCHIMIQUES

B.1 ANALYSE ENZYMATIQUE :

CK



Après récupération, (Post 1h) la concentration en CK plasmatique montre une élévation non significative ($p < 0,05$) pour chacun des groupes par rapport aux mesures en condition pré-exercice. A Post 24h, les concentrations en CK plasmatique des groupes TEMP, CWT, Veinoplus Sport® et PASSIF sont significativement supérieures ($p < 0,05$) aux valeurs Pré. En revanche, le groupe FROID ne présente aucune augmentation significative 24h après l'exercice par rapport à la situation Pré. (Figure 6).

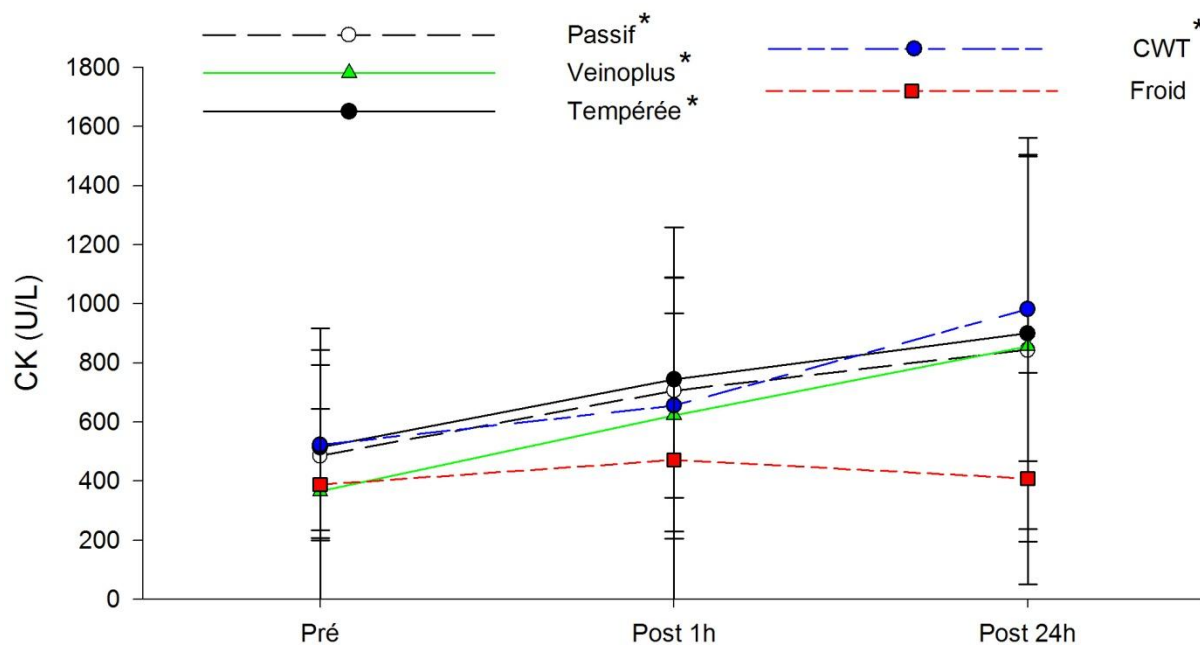


Figure 6 - Concentration en créatine kinase plasmatique, avant, 1h et 24h après l'exercice fatigant. CWT, Immersion alternée eau froide/eau chaude. *, Différence significative entre la valeur Pré- et la valeur Post 24h ($p < 0,05$).

LDH



Aucune différence entre les groupes, ni aucune augmentation significative n'est mesurée à Post 1h et Post 24h par rapport à la situation Pré ($p < 0.05$). (Figure 7).

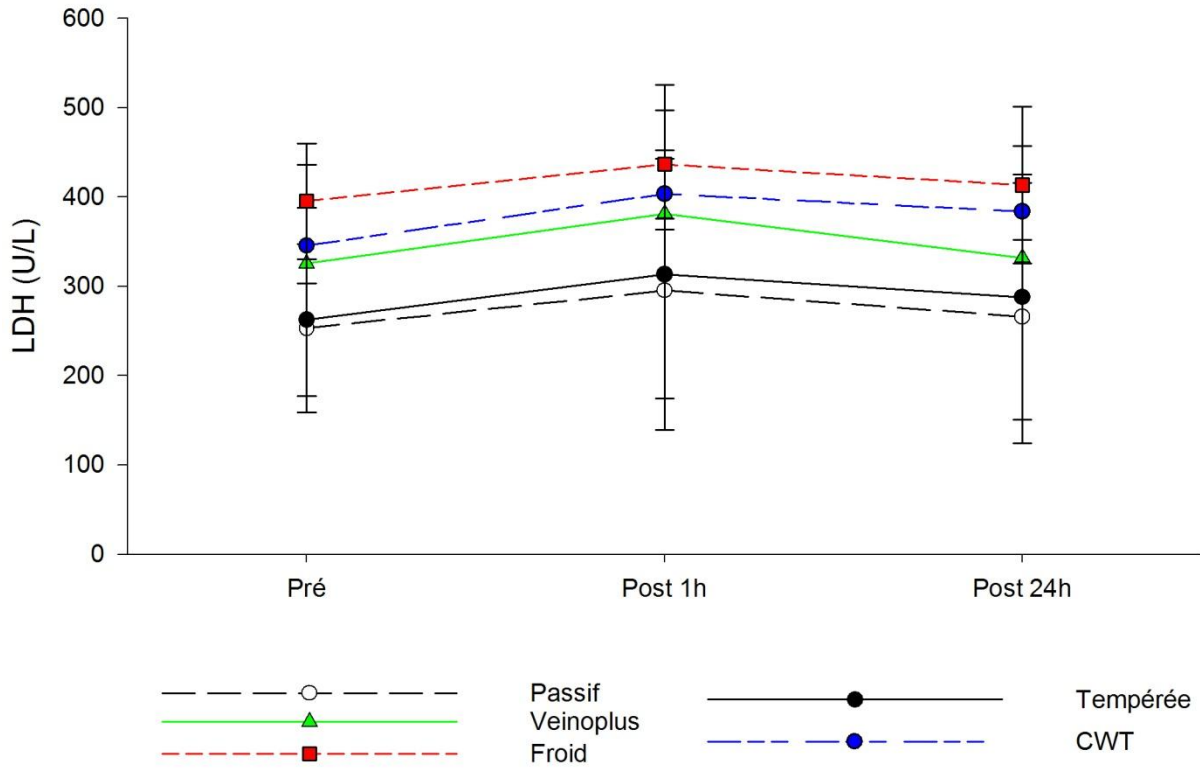


Figure 7 - Concentration en lactate déshydrogénase (LDH) plasmatique, avant, 1h et 24h après l'exercice fatigant. CWT, Immersion alternée eau froide/eau chaude. *, Différence significative entre la valeur Pré- et la valeur Post 24h ($p < 0.05$).

B.2 LEUCOCYTES :

Analyse		Valeurs moyennes (range)		
		Pre	Post 1h	Post 24h
Leucocytes ($10^9.L^{-1}$)	PAS	5.5 (4.5-7.5)	7.6 (5.2-10.4)*	5.2 (3.2-8.2)
	FROID	7.2 (4.4-10.7)	9.4 (4.9-14.8)	7.4 (5.2-11.5)
	TEMP	5.1 (2.8-7.9)	10.0 (4.3-14.6)*	5.7 (4-8.1)
	CWT	5.7 (4.1-8.2)	9.6 (4.5-17)*	6.2 (4.2-8)
	EMS	5.1 (2.8-7.9)	10.0 (4.3-16.5)*	5.7 (4.0-8.1)
Neutrophils ($10^9.L^{-1}$)	PAS	2.67 (1.61-4.17)	4.91 (2.10-7.98)*	2.67 (1.48-4.98)
	FROID	2.23 (0.99-3.80)	3.77 (1.32-7.95)	2.56 (1.39-4.74)
	TEMP	1.06 (0.0-4.17)	2.24 (0.0-10.21)*	2.77 (0.0-5.08)
	CWT	3.31 (1.95-5.12)	7.73 (3.03-14.16)*	4.40 (3.29-5.98)
	EMS	2.93 (1.45-4.17)	6.16 (3.64-10.20)*	3.05 (1.27-5.08)
Lymphocytes ($10^9.L^{-1}$)	PAS	2.58 (1.57-7.46)	2.75 (0.90-10.41)	2.78 (1.34-8.17)
	FROID	4.36 (2.59-6.15)	5.06 (2.75-10.08)	4.27 (2.90-6.41)
	TEMP	2.74 (1.63-7.10)	5.04 (0.0-11.70)	2.31 (1.65-5.50)
	CWT	1.78 (1.36-2.15)	1.20 (0.86-1.46)	1.81 (1.51-2.05)
	EMS	2.16 (1.63-2.81)	2.57 (2.08-2.98)	1.99 (1.65-2.66)
Monocytes ($10^9.L^{-1}$)	PAS	0.40 (0.33-0.51)	0.52 (0.34-0.87)*	0.42 (0.25-0.63)
	FROID	0.35 (0.14-0.61)	0.30 (0.16-0.62)	0.36 (0.14-0.82)
	TEMP	0.23 (0.00-0.99)	0.30 (0.00 -1.21)*	0.44 (0.33-0.95)
	CWT	0.35 (0.16-0.56)	0.49 (0.24-1.04)*	0.39 (0.35-0.50)
	EMS	0.62 (0.32-0.99)	0.81 (0.40-12.10)*	0.48 (0.27-0.95)
Eosinophiles ($10^9.L^{-1}$)	PAS	0.23 (0.06-0.60)	0.16 (0.03-0.29)	0.16 (0.04-0.34)
	FROID	0.20 (0.07-0.45)	0.23 (0.10-0.43)	0.22 (0.10-0.38)
	TEMP	0.07 (0.08-0.32)	0.05 (0.0-0.32)	0.16 (0.0-0.30)
	CWT	0.19 (0.06-0.30)	0.13 (0.03-0.2)	0.16 (0.05-0.30)
	EMS	0.19 (0.08-0.32)	0.14 (0.06-0.22)	0.18 (0.10-0.30)
Erythrocytes ($10^{12}.L^{-1}$)	PAS	4.9 (4.3-5.6)	4.8 (4.4-5.1)	4.8 (4.5-5.3)
	FROID	4.8 (4.5-5.4)	4.9 (4.7-5.5)	4.7 (4.3-5.2)
	TEMP	5.0 (4.35-5.81)	5.0 (3.24-5.47)	5.0 (3.85-5.35)
	CWT	4.7 (3.9-5.1)	4.6 (3.8-4.9)	4.7 (4.0-4.9)
	EMS	5.0 (3.9-5.8)	4.8 (3.3-5.5)	4.9 (3.9-5.5)
Hémoglobine ($g.L^{-1}$)	PAS	147 (129-165)	144 (135-153)	145 (135-161)
	FROID	139 (117-157)	142 (127-158)	136 (119-153)
	TEMP	138 (49-157)	138 (107-152)	141 (126-159)
	CWT	152 (125-211)	139 (117-155)	142 (121-149)
	EMS	145 (134-157)	141 (107-152)	143 (126-159)
Hématocrite (vol. fraction)	PAS	43 (38-47)	44 (41-47)	42 (40-47)
	FROID	41(38.2-46.2)	42 (37.3-47.6)	40 (36.1-43.7)
	TEMP	40 (39.6 – 44.8)	42 (29.4-44.3)	42 (37.6-46.7)
	CWT	42 (36.6-44.8)	40 (34.8-42.7)	41 (36.4-44.2)
	EMS	43 (40-45)	42 (29-45)	42 (38-47)

Tableau 1 - Profil hématologique. TEMP, tempérée ; FROID, froid ; CWT, contraste froid/chaud ; PAS, Passif ; EMS, Veinoplus Sport® *Significativement différent de la situation Pré ($p < 0,05$).

A Post 1h, tous les groupes présente une augmentation significative ($p < 0.05$) du taux de leucocytes, neutrophiles et monocytes par rapport à la situation Pré excepté pour le groupe FROID. A Post 24h, aucune différence significative n'apparaît par rapport à la situation Pré quelque soit le groupe. (Tableau 1)

DISCUSSION

L'objectif de notre étude était de comparer plusieurs modalités de récupération au cours du temps sur la restauration des performances anaérobies et des dommages musculaires (immersions tempérée, alternée (eau chaude et eau froide), froide, électromyostimulation par technologie Veinoplus Sport® et récupération passive) après un exercice intermittent fatigant chez le sportif de haut niveau. Nous avons émis l'hypothèse qu'à court terme, les immersions en eau froide, alternée et récupération par Veinoplus Sport® pouvaient permettre un regain de performance plus rapide que l'immersion en eau tempérée ou la récupération passive.

L'analyse des résultats des tests de performance et biologiques nous permet de faire les constatations suivantes : 1) A Post 1h, seuls les groupe CWT et Veinoplus Sport® retrouvent leurs valeurs basales de P_{ANA} 2) Seule l'immersion en eau froide permet de revenir à des valeurs basales en creatine kinase 24h après l'exercice. 3) Aucune des techniques testées n'accélère la restauration des capacités de production de force ou d'explosivité à Post 1h.

TESTS DE PERFORMANCE



La littérature scientifique montre que la récupération par immersion ne permet pas de retrouver à court terme les capacités d'explosivité et de production de force (Goodall et Howatson, 2008). Nos résultats confirment ces observations. Sur la FMV et les CMJ, il est suggéré que l'accélération des flux sanguin et lymphatique par la pression hydrostatique dans un muscle fatigué pourrait améliorer la récupération par une meilleure microcirculation, une réduction de l'œdème et une clairance des métabolites accélérée. Nos résultats infirment donc cette hypothèse. Nous pouvons cependant suggérer qu'une profondeur d'immersion plus importante engendrant une augmentation de la pression hydrostatique pourrait augmenter de façon plus importante les flux. D'autre part, dans le cas de l'utilisation de la condition CWT, certains travaux suggèrent qu'un temps inférieur à 2 min ne permettrait pas de refroidir ou réchauffer suffisamment en profondeur les tissus pour créer une action de pompage stimulant le retour veineux (Wilcock et coll., 2006).

Contrairement aux mesures précédentes, les mesures réalisées sur rameur présentent un résultat original. En effet, alors que nous observons une diminution systématique de 10-15% de la P_{ANA} immédiatement après l'exercice (Post), seuls les sujets ayant pratiqués les récupérations par immersion alternée ou par Veinoplus Sport® retrouvent un niveau proche ou identique à leur niveau initial 1h après. Ce résultat présente l'intérêt de mettre en avant les techniques favorisant le retour veineux comme efficace dans la restauration de la performance anaérobie. En effet, parmi toutes les techniques que nous avons testées, seul l'immersion alternée et le Veinoplus Sport® permettent en théorie

d'améliorer le retour veineux (Mesuré dans le cas du Veinoplus Sport® par l'étude de Zuccarelli et coll., 2005). Ainsi nos résultats montrent que ces techniques permettraient d'accélérer la restauration des capacités anaérobies. Ce résultat peut s'expliquer par le vaso-pumping. En effet, la répétition de contractions/relaxations des muscles à faible intensité, crée des mouvements sanguins. Ces mouvements augmentent la translocation des métabolites vers le sang, réduisent le volume du liquide intracellulaire et accélèrent l'élimination du lactate. En effet, pour de nombreux auteurs, l'une des principales limites de la capacité à reproduire ce type d'exercice lors d'une récupération courte est l'excès de métabolites dans les muscles sollicités associés à une occlusion de la circulation sanguine. Ceci empêche alors la resynthèse de la phosphocréatine et l'élimination des métabolites tels que l'ADP, les radicaux libres, le dioxyde de carbone ou encore les ions hydrogène (Bogdanis et coll., 1996 ; Mika et coll., 2007). Actuellement aucune donnée n'est disponible dans la littérature concernant les effets des techniques améliorant le retour veineux sur ce type d'exercice. Cependant nos résultats permettent de penser que ces types de récupération amélioreraient la restauration de la capacité anaérobie grâce à une meilleure élimination des métabolites.

REPONSES INFLAMMATOIRES



L'un des principaux résultats de notre étude montre que la concentration en CK plasmatique revient à des valeurs basales 24h après l'exercice fatigant uniquement pour le groupe ayant été immergé en eau froide. Au contraire, pour les autres conditions de récupération, celles-ci continuent d'augmenter. Nos résultats sont comparables à ceux d'études précédentes montrant qu'à partir de 24h un retour aux concentrations de repos est observé uniquement après une immersion en eau froide (Vaile et coll., 2008 ; Goodall et Howatson, 2008). La constriction des capillaires, la réduction de leur perméabilité et du flux sanguin sont parmi les hypothèses les plus souvent évoquées dans la littérature pour expliquer cette observation (Goodall et Howatson, 2008). Ces mécanismes permettent ainsi de diminuer la réponse inflammatoire et la douleur. Cependant, certains auteurs suggèrent également que la cryothérapie permettrait de réduire la perméabilité membranaire réduisant ainsi la fuite de la CK. D'autre part, bien que toutes les études citées précédemment présentent des diminutions de la CK plus importante au cours du temps après une immersion en eau froide, seule la notre et celle de Vaile et coll. (2008) observent cette diminution dès le premier jour qui suit l'exercice. Ceci peut s'expliquer, d'une part, par la nature des exercices fatigants générant différents types de dommages musculaires mais également et surtout par la spécificité de notre population qui, comme celle de Vaile et coll. (2008), est régulièrement entraînée.

Contrairement à la créatine kinase, les concentrations en lactate déshydrogénase ne s'élèvent pas significativement après l'exercice quelque soit le groupe observé. Ce résultat est similaire à ceux

généralement observés dans la littérature (Vaile et coll., 2008 ; Morton, 2007). Ce résultat est plus particulièrement comparable à ceux de Friden et coll. (1983), qui observent une élévation de CK sans modification de la concentration de la LDH malgré que l'exercice fatigant soit purement excentrique. Dans ce cas, la réponse de la LDH pourrait être liée à la taille du muscle affecté par le protocole fatigant. Ainsi, la différence dans les réponses des enzymes CK et LDH est probablement due aux zones structurellement différentes dans les sarcomères dans lesquels elles sont contenues et dépendantes du site primaire des dommages musculaires.

Enfin, les résultats hématologiques confirment la présence d'une augmentation de la réponse inflammatoire. En effet, excepté pour le groupe immergé dans l'eau froide, le nombre de leucocytes, neutrophiles et monocytes augmente 1h après l'exercice fatigant avant de retrouver une valeur basale 24h après. Ce résultat est classiquement développé dans la littérature où il est montré que l'utilisation du froid permet de diminuer la réponse inflammatoire.

CONCLUSION, APPLICATIONS PRATIQUES & PERSPECTIVES

Cette étude apporte des précisions sur l'impact de l'immersion et de l'électromyostimulation par technologie Veinoplus Sport® chez les sportifs de haut niveau. Les différentes immersions CWT et FROID nous ont démontré un effet intéressant sur l'amélioration de la performance et sur la réduction du processus inflammatoire dans le temps. De la même façon, l'utilisation du Veinoplus Sport® apporte un intérêt lors de la répétition d'un exercice maximale anaérobie d'une durée de 30 secs environ.

Ainsi, à partir de ces résultats et dans un souci pratique, il semble que lors de répétitions d'exercices sollicitant principalement le métabolisme anaérobie lactique, le Veinoplus Sport® ou l'immersion alternée en eaux chaude et froide, accélèrent la restauration de la performance. D'autre part, l'immersion eau froide présente un intérêt lorsque l'on souhaite limiter la réponse inflammatoire liée aux dommages musculaires. Cependant ceci n'est pas synonyme d'accélération du retour à la performance lors des tests que nous avons mis en place.

En perspective nous suggérons que les techniques améliorant le retour veineux pourraient être envisagées pour accélérer la récupération lors de courtes périodes tels qu'une mi-temps ou un changement en cours de jeu. Il serait donc intéressant de tester ceci dans une nouvelle étude.

BIBLIOGRAPHIE

- B -

Bailey DM, Erith SJ, Griffin PJ, Dowson A, Brewer DS, Gant N, Williams C. Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *J Sports Sci* 25 (11): 1163-70, 2007.

Barnett A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Med* 36 (9): 781-96, 2006

Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HK, Graham CM, Louis G. Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 74 (5): 461-9, 1996.

Bonde-Petersen F, Schultz-Pedersen L, Dragsted N. Peripheral and central blood flow in man during cold, thermoneutral, and hot water immersion. *Aviat Space Environ Med* 63 (5): 346-50, 1992.

Brancaccio P, Maffulli N, Buonauro R, Limongelli FM. Serum enzyme monitoring in sports medicine. *Clin Sports Med* 27 (1): 1-18, vii, 2008.

- C -

Calder R. Recovery training: In: Reaburn P, Jenkins D (Eds.). *Training for speed and endurance*. Allen and Unwin, Sydney.

Cannon JG, Orencole SF, Fielding RA, Meydani M, Meydani SN, Fiatarone MA, Blumberg JB, Evans WJ. Acute phase response in exercise: interaction of age and vitamin E on neutrophils and muscle enzyme release. *Am J Physiol* 259 (6 Pt 2): R1214-9, 1990.

Cochrane DJ. Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport* 5 (1): 26-32, 2004.

Coffey V, Leveritt M, Gill N. Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running

performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport* 7 (1): 1-10, 2004.

Coté DJ, Prentice WE Jr, Hooker DN, Shields EW. Comparison of three treatment procedures for minimizing ankle sprain swelling. *Phys Ther.* 1988 Jul;68(7):1072-6.

Crowe MJ, O'Connor D, Rudd D. Cold Water Recovery Reduces Anaerobic Performance. *Int J Sports Med* 28 (12): 994-998, 2007.

- F -

Faghri PD, Votto JJ, Hovorka CF. Venous hemodynamics of the lower extremities in response to electrical stimulation. *Arch Phys Med Rehabil* 79 (7): 842-8, 1998.

Farhi LE, Linnarsson D. Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35 degrees C. *Respir Physiol* 30 (1-2): 35-50, 1977.

Friden J, Sjostrom M, Ekblom B. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *Int J Sports Med* 4 (3): 170-6, 1983.

- G -

Gill ND, Beaven CM, Cook C. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med* 40 (3): 260-3, 2006.

Goodall S, Howatson G. The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *Journal of Sports Science & Medicine* 7 (2): 235-241, 2008.

- H -

Howatson G, Van Someren KA. Ice massage. Effects on exercise-induced muscle damage. *J Sports Med Phys Fitness* 43 (4): 500-5, 2003.

Howatson G, van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Med* 38 (6): 483-503, 2008.

- I -

Ingram J, Dawson B, Goodman C, Wallman K, Beilby J. Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci Med Sport*, 2008.

Ispirlidis I, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Michailidis I, Douroudos I, Margonis K, Chatzinikolaou A, Kalistratos E, Katrabasas I, Alexiou V, Taxildaris K. Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med* 18 (5): 423-31, 2008.

- J -

Jansky L, Vybiral S, Trubacova M, Okrouhlik J. Modulation of adrenergic receptors and adrenergic functions in cold adapted humans. *Eur J Appl Physiol* 104 (2): 131-5, 2008.

Jidovtseff B, Crielaard JM, Cauchy S, Croisier JL. Validité et reproductibilité d'un dynamomètre inertiel basé sur l'accélérométrie. *Science & Sports* 23 (2): 94-97, 2008.

K -

Kinugasa R, Kuchiki K, Tono T, Horii A. Superficial cooling inhibits force loss in damaged muscle. *Int J Sports Med* 29 (9): 726-31, 2008.

M -

Mackinnon J. Overtraining: National Sports Research program. State of the art review. N°26. Canberra-Australian Institute of Sport.

Mika A, Mika P, Fernhall B, Unnithan VB. Comparison of recovery strategies on muscle performance after fatiguing exercise. *Am J Phys Med Rehabil* 86 (6): 474-81, 2007.

Millet G. Electromyostimulation et récupération. Lutter contre le dopage en gérant la récupération physique. 3rd ed: Publications de l'Université de Saint Etienne, pp. 183-193, 2005.

Morton RH. Contrast water immersion hastens plasma lactate decrease after intense anaerobic exercise. *J Sci Med Sport* 10 (6): 467-70, 2007.

- O -

Oksa J, Rintamaki H, Rissanen S, Rytty S, Tolonen U, Komi PV. Stretch- and H-reflexes of the lower leg during whole body cooling and local warming. *Aviat Space Environ Med* 71 (2): 156-61, 2000.

- P -

Peiffer JJ, Abbiss CR, Nosaka K, Peake JM, Laursen PB. Effect of cold water immersion after exercise in the heat on muscle function, body temperatures, and vessel diameter. *J Sci Med Sport*, 2008.

Peiffer JJ, Abbiss CR, Watson G, Nosaka K, Laursen PB. Effect of cold water immersion on repeated 1-km cycling performance in the heat. *J Sci Med Sport*, 2008.

- R -

Rodenburg JB, Bar PR, De Boer RW. Relations between muscle soreness and biochemical and functional outcomes of eccentric exercise. *J Appl Physiol* 74 (6): 2976-83, 1993.

Rowell GJ, Coutts AJ, Reaburn P, Hill-Haas S. Effects of cold-water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players. *J Sports Sci*: 1-9, 2009.

Rowsey PJ, Metzger BL, Carlson J, Gordon CJ. Long-term exercise training selectively alters serum cytokines involved in fever. *Biol Res Nurs* 10 (4): 374-80, 2009.

Rutkove SB. Effects of temperature on neuromuscular electrophysiology. *Muscle Nerve* 24 (7): 867-82, 2001.

- S -

Simeckova M, Jansky L, Lesna II, Vybiral S, Sramek P. Role of beta adrenoceptors in metabolic and cardiovascular responses of cold exposed humans. *J Therm Biol* 25 (6): 437-442, 2000.

Skurvydas A, Kamandulis S, Stanislovaitis A, Streckis V, Mamkus G, Drazdauskas A. Leg immersion in warm water, stretch-shortening exercise, and exercise-induced muscle damage. *J Athl Train* 43 (6): 592-9, 2008.

- V -

Vaile JM, Gill ND, Blazevich AJ. The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res* 21 (3): 697-702, 2007.

Vaile J, Halson S, Gill N, Dawson B. Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *Int J Sports Med* 29 (7): 539-44, 2008.

- W -

Weston CF, O'Hare JP, Evans JM, Corrall RJ. Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures. *Clin Sci (Lond)* 73 (6): 613-6, 1987.

Wilcock IM, Cronin JB, Hing WA. Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Med* 36 (9): 747-65, 2006.

- Z -

Zuccarelli F, Launay J, Le Magrex J, R. M, Fargier P, Pujo M. Activation de la pompe musculaire du mollet par électrostimulation Veinoplus. *Angéiologie* 57 (2): 48-54, 2005.

La récupération musculaire est un facteur clé de la performance. Actuellement, le monde sportif a considérablement progressé dans le domaine de la programmation des charges d'entraînement. Cependant, les modalités de récupération sont souvent laissées à la charge de l'athlète et leur absence régulière dans l'enchaînement des entraînements amène progressivement l'athlète dans le secteur de la surcharge voire du surentraînement (Mackinnon et Hooper, 1991). Sans programmation minutieuse de ces différentes modalités de récupération, il est bien établi que le maintien de la haute-performance pour un athlète est d'ores et déjà compromis. C'est souvent le repos qui est alors préconisé afin reprendre des charges d'entraînement acceptables, reliées aux différentes intensités et aux différents volumes souhaités.

Depuis quelques années, différents accents ont été mis sur la possibilité pour un athlète de mieux récupérer. Cette accélération de la récupération permet à certains athlètes de pouvoir continuer à s'entraîner ou à maintenir un état compétitif stable. Relié à cela, il y a une apparition, depuis quelques années, de modalités de récupération comme les massages chaud-froid, l'oxygénation par hyperbarie, l'accélération du retour veineux, l'électromyostimulation, et ce dans le but d'accélérer véritablement la régénération globale des athlètes (Calder, 1996).

Parmi les différentes méthodes citées, les techniques d'immersion et d'électromyostimulation sont régulièrement utilisées mais suscitent de nombreuses questions sur le plan scientifique. [...]



MISSION RECHERCHE

11 avenue du Tremblay
75 012 PARIS

tél. 01 41 74 41 00
www.insep.fr