



HAL
open science

Effets de différentes modalités de récupération sur les paramètres sanguins, énergétiques et de performance musculaire, à l'issue de ballets réalisés par les nageuses synchronisées en équipe de France

Christophe Hauswirth

► To cite this version:

Christophe Hauswirth. Effets de différentes modalités de récupération sur les paramètres sanguins, énergétiques et de performance musculaire, à l'issue de ballets réalisés par les nageuses synchronisées en équipe de France. [Rapport de recherche] N° 10-I-010, Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP). 2012. hal-01971828

HAL Id: hal-01971828

<https://insep.hal.science//hal-01971828>

Submitted on 7 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.

EFFETS DE DIFFÉRENTES MODALITÉS DE RÉCUPÉRATION SUR LES PARAMÈTRES SANGUINS, ÉNERGÉTIQUES ET DE PERFORMANCE MUSCULAIRE, À L'ISSUE DE BALLETS RÉALISÉS PAR LES NAGEUSES SYNCHRONISÉES EN ÉQUIPE DE FRANCE

Christophe HAUSSWIRTH¹

COLLABORATEURS

K. SCHAAL^{1,4}
Y. LE MEUR¹
F. BIEUZEN¹
P. LE VAN²
JR. FILLIARD²
M. VOLONDAT²
C. COZZOLINO⁵
O. PETIT³
P. HELLARD³
JF. TOUSSAINT⁴

TRAVAIL EFFECTUÉ PAR

1. Service Recherche - INSEP

EN COLLABORATION AVEC

2. Service Médical - INSEP
3. Fédération Française de Natation
4. IRMES
5. Service du suivi des pôles et des conditions d'entraînement





SERVICE RECHERCHE

**EFFETS DE DIFFERENTES MODALITES DE RECUPERATION SUR
LES PARAMETRES SANGUINS, ENERGETIQUES ET DE
PERFORMANCE MUSCULAIRE, A L'ISSUE DE BALLETS
REALISES PAR LES NAGEUSES SYNCHRONISEES EN EQUIPE DE
FRANCE.**

Christophe HAUSSWIRTH¹

Collaborateurs :

K. SCHAAL^{1,4}, Y. LE MEUR¹, F. BIEUZEN¹, P. LE VAN², JR. FILLIARD²,
M. VOLONDAT², C. COZZOLINO⁵, O. PETIT³, P. HELLARD³, JF. TOUSSAINT⁴

Travail effectué par

¹ Service Recherche - INSEP

En collaboration avec

² Service Médical, INSEP

³ Fédération Française de Natation

⁴ IRMES, INSEP

⁵ Service du suivi des pôles et des conditions d'entraînement

SOMMAIRE

REVUE DE LA LITTERATURE	2
A. Les contraintes physiques de la natation synchronisée	2
B. La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) dans la période post-exercice	2
C. Effets de différentes modalités de récupération sur la VFC	3
BUT DU PROJET ET HYPOTHÈSES.....	4
MATERIELS ET METHODES	4
A. Sujets	4
B. Protocole expérimental.....	4
B.1 Tests de performance.....	5
B.2 Modalités de récupération.....	6
B.3 Analyse de la VFC.....	7
B.4 Analyses métaboliques.....	8
C. Analyse statistique	8
RESULTATS.....	9
A. Description de l'exercice.....	9
B. Effets de l'exercice et de la modalité de récupération sur la VFC.....	9
C. Effets de la modalité de récupération sur les paramètres métaboliques.....	11
D. Paramètres subjectifs et scores.....	13
CONCLUSIONS ET APPLICATIONS PRATIQUES.....	13
BIBLIOGRAPHIE.....	16

REVUE DE LA LITTERATURE

A. LES CONTRAINTES PHYSIQUES DE LA NATATION SYNCHRONISEE

La natation synchronisée est un sport esthétique jugé, dans lequel la qualité de chaque performance est évaluée selon plusieurs critères de mérite technique et d'impression artistique. Afin d'acquérir les capacités physiques et techniques nécessaires à l'exécution de chorégraphies devenant de plus en plus complexes, difficiles et contraignantes physiquement, les nageuses synchronisées au plus haut niveau se soumettent à des charges d'entraînement élevées (1,2). Selon Liang et al. (2) les nageuses élite s'entraînent en moyenne 6 heures par jour, 6 jours par semaine, et 50 semaines par an. Au vu des nombreuses heures d'entraînement programmées dans leur quotidien, il est parfois difficile d'intégrer des périodes de récupération adéquates entre les séances, et le contenu de ces périodes devient donc particulièrement important. De même, lors des compétitions, les ballets peuvent se succéder rapidement au sein d'une même journée, surtout pour les nageuses concourant dans plusieurs disciplines (par équipe, en duo ou solo, ou combiné). Dans la perspective de ces contraintes temporelles imposées aux nageuses, il est particulièrement important d'optimiser la récupération post-exercice afin d'assurer leur capacité à réduire l'accumulation de la fatigue et donc à maintenir leur niveau de performance optimal.



B. LA VARIABILITE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE (VFC) DANS LA PERIODE POST-EXERCICE

Dans le contexte de récupération et de la gestion de la charge d'entraînement, l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) est utilisée afin d'évaluer la récupération du système nerveux

autonome suivant une charge d'entraînement élevée (3,4). L'évolution des indices de la VFC reflète un changement des influences relatives du système nerveux sympathique (SNS) et parasympathique (SNP) sur la fréquence cardiaque. Pendant l'exercice, alors que l'intensité de l'exercice augmente le tonus vagal est réduit, laissant place à une augmentation de l'activité sympathique qui permet une réponse cardiaque et métabolique appropriée à la charge imposée ; une augmentation de la fréquence cardiaque et une réduction des indices vagues de la VFC (5). Après l'exercice, une baisse de l'activité sympathique et une réactivation vagale promptes, démontrée par un retour de la VFC aux valeurs pré-exercice, suggèrent une bonne récupération systémique du stress imposé par l'exercice (6). La vitesse de réactivation parasympathique post-exercice dépend du niveau de forme cardiovasculaire, elle est fortement affectée par l'intensité de l'exercice effectué. En effet, Seiler et al. (7) ont démontré que chez des sportifs d'endurance très bien entraînés, une réactivation parasympathique complète était observée au bout de 5 minutes après un exercice d'intensité inférieure au premier seuil ventilatoire, tandis qu'une intensité supérieure à ce seuil augmentait ce délai à 30 minutes. Ces mêmes auteurs ont aussi démontré une réactivation parasympathique totale une heure après un exercice de haute intensité (au dessus du second seuil ventilatoire) alors que le tonus vagal était encore significativement réduit chez des sportifs moins bien entraînés.

Il a été démontré qu'une réduction de l'activité vagale au repos, suivant une charge d'entraînement élevée, était associée à une accumulation de fatigue et une baisse des capacités physiques (4,8–10).

C. EFFETS DE DIFFERENTES MODALITES DE RECUPERATION SUR LA VFC

Des études récentes se sont penchées sur les techniques de récupération pouvant stimuler la réactivation vagale post-exercice, identifiant la cryostimulation et l'immersion comme méthodes efficaces permettant un retour de la VFC à des valeurs de repos chez des sujets bien entraînés (11–13). En effet, l'exposition au froid ainsi que l'immersion, indépendamment ou ensemble, réduisent l'activité du SNS et augmentent celle du SNP au niveau cardiaque, en activant le baroréflexe (14). Alors que plusieurs protocoles d'immersion en eau froide (11–13,15) ou d'immersion contrastée (13,15) ont démontré une accélération du retour du tonus vagal post-exercice comparé à un mode de récupération passif, l'effet de la cryothérapie corps entier (CCE, 3 minutes à -110°C) sur ce paramètre de récupération n'a pas encore été étudié, bien que cette technique soit de plus en plus souvent adoptée dans le sport de haut niveau (16,17). Alors que Westerlund et al. (18) ont démontré que 2 minutes de CCE à -110° augmentait le tonus vagal au repos chez des femmes en bonne santé, son efficacité sur la réactivation vagale suivant un effort physique maximal n'a pas été testée.

BUT DU PROJET ET HYPOTHÈSES

Au vu de la nécessité de mieux comprendre de quelle manière la récupération à court terme peut être améliorée dans un sport aussi peu étudié que la natation synchronisée, les objectifs de cette étude sont les suivants :

1. évaluer la contrainte physiologique imposée par un programme technique de natation synchronisée de haut niveau, exécuté deux fois en l'espace de 70 minutes,
2. comparer l'efficacité de quatre différentes modalités de récupération (Active, Cryothérapie Corps Entier, Immersion Contrastée, et Passive) sur des paramètres physiologiques pertinents à la gestion de la fatigue et au maintien du niveau de performance dans le cadre de performances répétées à court terme,
3. d'en déduire une hiérarchisation des effets individuellement pour une meilleure programmation de la récupération, et collectivement par un traitement statistique approprié et en déduire des comportements physiologiques.

L'hypothèse principale du projet est que l'utilisation de la CCE entre deux exercices maximaux répétés permettra une meilleure réactivation parasympathique post-exercice, et que les 3 modalités, Active, CCE, et Immersion Contrastée permettront un maintien des capacités physiques maximales lors du second ballet, comparé à la modalité Passive.

MATERIELS ET METHODES

A. SUJETS

Les onze nageuses synchronisées composant l'Equipe de France ont participé à cette étude, six mois avant les Championnats du Monde 2011 à Shanghai. Tous les sujets ont été informés du protocole, des risques et de leur droits conformément à la déclaration d'Helsinki. Tous les sujets étaient volontaires pour participer à l'étude et ont signé un consentement éclairé ainsi qu'un questionnaire de santé. Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique d'Ile-de-France XI (Ref. 200978).

B. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le protocole expérimental a débuté après dix jours de repos suivant le retour d'un stage d'entraînement de deux semaines ; les nageuses étaient donc en bon niveau de forme physique et bien reposées. Après une première séance de tests de 400 mètres nage libre pour déterminer la consommation maximale aérobie ($\dot{V} O_{2 \max 400}$) et la vitesse de nage associée ($v \dot{V} O_{2 \max 400}$) (19,20),

chacune des nageuses a effectué quatre séances, durant lesquelles une modalité de récupération différente était programmée à chaque fois, entre deux exercices maximaux (le programme technique d'équipe) séparés de 70 minutes. Les séances étaient séparées d'une semaine, effectuées après deux jours consécutifs de récupération. Enfin, l'ordre de programmation des modalités était randomisé pour chaque nageuse. Un aperçu du protocole expérimental est présenté en Figure 1.

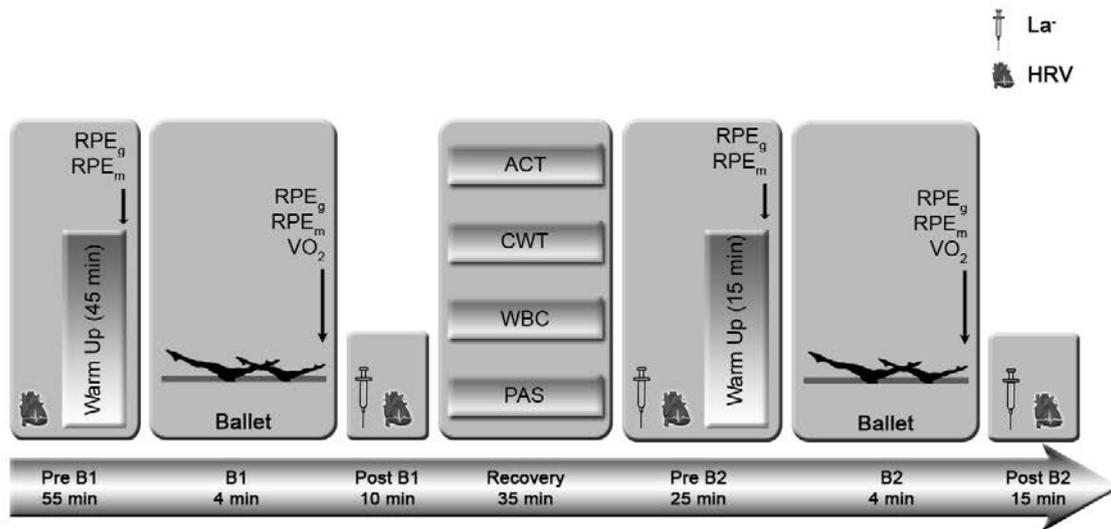


Figure 1. Schéma du protocole expérimental.

B1. Tests de performance

Suivant leur échauffement habituel (45 min) et préparation mentale (5min), chaque sujet effectuait le ballet technique individuellement (B1, 3 minutes). Le second ballet (B2, exercice identique au premier), était précédé d'un échauffement plus court (15 minutes). A la fin de chaque ballet, les sujets remontaient à la surface pour respirer directement dans le masque du système de télémétrie portable Cosmed® K4b² (Rome, Italy), validé par Hausswirth et al. (21). Les paramètres ventilatoires étaient obtenus lors des 4 premiers cycles suivant la dernière figure en apnée, puis calculés par rétro-extrapolation de la courbe de dette d'oxygène (19,22). Au début et à la fin de chaque ballet, les sujets cotaient leur perception globale de la difficulté de l'effort (RPE_g) et leurs douleurs musculaires (RPE_m) sur l'échelle de Borg de 6 à 20 points (23). Afin d'encourager un effort maximal lors de chaque ballet, les entraîneurs



jugeaient chaque performance selon leurs critères habituels : la précision, la hauteur, l'énergie/le déplacement, et l'homogénéité.

B2. Modalités de récupération

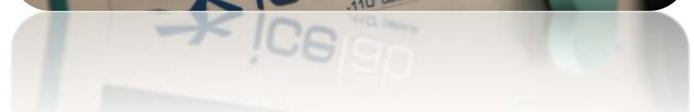
Les nageuses suivaient l'une des 4 modalités de récupération durant les 70 minutes séparant les deux ballets :

Passif (PAS) : Allongées au calme sur une chaise longue, pendant 30 minutes ;

Immersion Contrastée (CWT) : 7 cycles d'immersion jusqu'au niveau du sternum, alternant 1 minute en eau chaude (39°C)/ 1 minute en eau froide (9°C), commençant et finissant par l'immersion en eau froide ;

Active (ACT) : 15 minutes de nage libre, à la vitesse correspondant à 40% de la vitesse maximale aérobie, suivie de 15 minutes d'exercices techniques de natation synchronisée effectués en respectant une intensité légère- 13 sur l'échelle de Borg (23,24)

Cryothérapie Corps Entier (WBC) : Une fois toutes les mesures PostB1 effectuées, les nageuses étaient accompagnées en voiture au département médical de l'INSEP, où les sessions de CCE étaient administrées sous contrôle médical, dans une pièce dédiée dans laquelle la température était contrôlée continuellement (Zimmer Elektromedizin, Germany) et constitué de trois pièces contiguës de températures différentes (-10, -60 and -110°C). Lors de chaque session de CCE, les participantes traversaient les pièces les moins froides puis restaient 3 min dans la pièce à -110°C. Il était demandé aux nageuses d'être sèches, de porter un masque, des chaussettes, des gants et un maillot de bain.



Lors des 3 min, les participantes devaient limiter les tensions, bouger leurs bras et marcher lentement.

A la fin de chaque période de récupération, juste avant B2, les sujets indiquaient sur une échelle visuelle analogique de 10 cm leur perception de l'efficacité de la récupération.

B3. Analyse de la VFC

L'analyse de la VFC était effectuée à quatre reprises lors de chaque session : avant l'échauffement initial (PreB1), 6 minutes après la fin de B1, (PostB1), à la fin de la période de récupération, avant le second échauffement (PréB2), et 6 minutes après la fin de B2 (PostB2). Les nageuses enfilaient un cardio-fréquence-mètre (Suunto Oy®, Vantaa, Finland), s'asseyaient dans un fauteuil dans une pièce calme et la fréquence cardiaque était collectée en mode « intervalle R-R » pendant six minutes. Les intervalles R-R des dernières 4 minutes et 16 secondes ont été utilisés pour l'analyse de la VFC. Les données ont ensuite été transférées sur un ordinateur utilisant le logiciel Suunto Training Manager (Suunto Oy®, Vantaa, Finland) et inspectées visuellement pour identifier d'occasionnels erreurs ou extrasystoles. Le traitement du signal R-R a ensuite été effectué avec un logiciel spécialisé (Nevrokard® aHRV, Izola, Slovenia), et les indices temporels de la VFC conservés étaient le rMSSD, SD1, et la fréquence cardiaque moyenne (HRmean). L'analyse de la puissance spectrale était ensuite effectuée utilisant une transformation de Fourier et un algorithme non-paramétrique. Les indices HF (haute fréquence, >0.15-0.50Hz, reflétant l'activité parasympathique) et LF (basse fréquence, 0.04-0.15Hz, reflétant un mélange des activités sympathique et parasympathique) étaient calculés en intégrant la densité de la puissance au sein des zones de fréquence respectives. Le ratio LF/HF, indiquant l'équilibre sympathovagal, a aussi été retenu.

B4. Analyses métaboliques

A six reprises, des échantillons sanguins étaient prélevés au bout du doigt afin de mesurer la concentration de lactate ($[La^-]_b$) en utilisant un analyseur portable (Lactate Pro™ LT-1710) : avant B1 (PreB1), 4 minutes après B1, avant B2 (PreB2) et 4, 10, et 15 minutes après B2 (PostB2_{4'}, PostB2_{10'} and PostB2_{15'}).



C. ANALYSE STATISTIQUE

Les données n'étant pas toujours distribuées de façon normale selon le test de Shapiro-Wilk, des analyses non-paramétriques ont été utilisées pour le traitement statistique. Une analyse de variance (ANOVA) de Friedman a été employée pour évaluer l'effet temps (comparant PreB1, PostB1, PreB2 et PostB2 au sein de chaque condition), suivie, si l'effet temps était significatif, d'un test de Wilcoxon en analyse post-hoc afin de déterminer quels mesures différaient de façon significative. Afin de comparer l'effet des différentes modalités de récupération sur chaque variable, des analyses de Wilcoxon ont été effectuées. Pour isoler l'effet de la récupération et après vérification que les valeurs PreB1 et PostB1 ne différaient de manière significative pas selon la condition, ces analyses ont été effectuées sur les valeurs des différences (PreB2-PostB1), représentées en tant que Δ 'variable'_{rec} (par exemple ΔHF_{rec} , $\Delta [La^-]_{b\ rec}$, $\Delta RPE_{m\ rec}$, etc). Les quelques variables distribuées de façon normale ($\dot{V} O_{2\ peak}$, $\Delta [La^-]_{b\ rec}$, ΔRPE_g et ΔRPE_m) sont représentées par leurs moyennes \pm écart types, tandis que les autres sont exprimées par leurs médianes et premiers et troisièmes quartiles. L'ensemble des analyses statistiques était réalisé avec le logiciel Statistica 7.0 (StatSoft, Inc. TULSA, Oklahoma ; USA) sous Windows.

RESULTATS

A. DESCRIPTION DE L'EXERCICE

Au long des 5 semaines du protocole, aucune différence significative n'est apparue dans les variables mesurées en PreB1 ou PostB1 ; les valeurs métaboliques mesurées en PostB1 ($\dot{V} O_{2\ peak}$, $[La^-]_b$) ont donc été regroupées pour comparaison avec les valeurs obtenues lors du test de 400m. Le temps moyen de complétion du test de 400m était de 308 ± 8 s, les nageuses atteignant un $\dot{V} O_{2\ max\ 400}$ moyen de $62.1 \pm$

3.0 mL.kg⁻¹.min⁻¹ et un pic de lactatémie de 7.6 ± 2.0 mmol.L⁻¹, alors que l'exécution de B1 (182s) résultait en des valeurs de $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ légèrement plus faibles (60.4 ± 2.0 , $p = 0.08$) mais une lactatémie plus élevée (11.0 ± 1.9 mmol.L⁻¹, $p = 0.004$).

B. EFFETS DE L'EXERCICE ET DE LA MODALITE DE RECUPERATION SUR LA VFC

Pour B1 et B2, l'impact de l'exercice sur la VFC était similaire, avec des réductions significatives des indices d'activité parasympathique rMSSD, SD1, HF et LF à PostB1 et PostB2 par rapport à PreB1, et une augmentation significative de HR_{mean}. A la fin des 70 minutes de récupération (PréB2), tous ces indices sont revenus aux valeurs PreB1, quelle que soit la condition. L'évolution des indices rMSSD, SD1 et HR_{mean} sont illustrés en **Figure 2**.

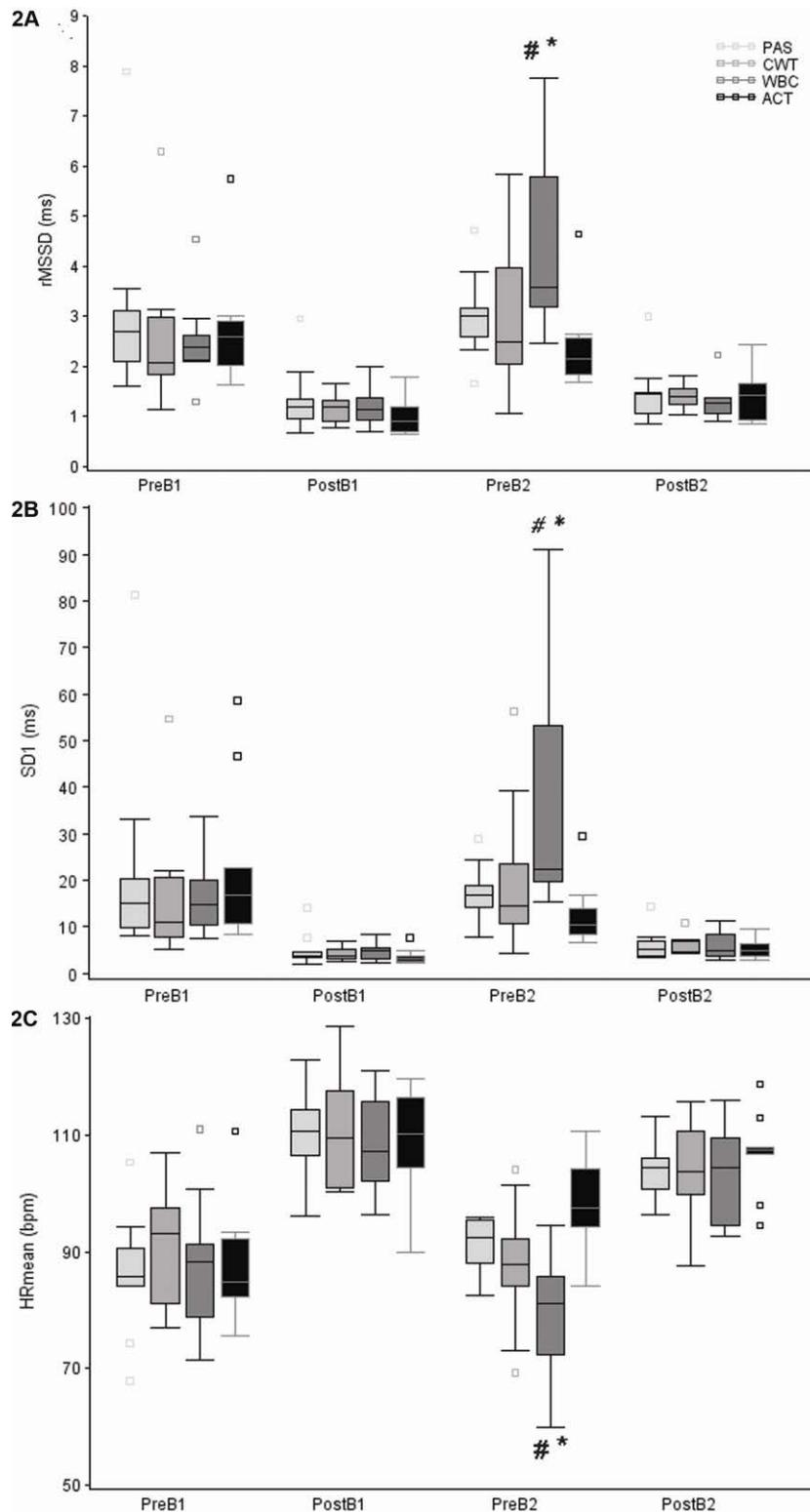


Figure 2. Evolution de rMSSD (2A), SD1 (2B) et HRmean (2C) avant et après chaque ballet, pour chaque condition. Les boîtes à moustache représentent la médiane, la fourchette interquartile (IQR ; Q25-Q75) et les barre d’erreurs représentent les observations minimales et maximales dans la fourchette 1.5*IQR. Les carrés sont les observations minimales et maximales. *, différence significative avec PreB1 ($p < 0.05$) et #, différence significative avec PAS ($p < 0.05$). Etant donné que les valeurs de PostB1 et PostB2 étaient toujours significativement différentes de PreB1 et PreB2, les symboles ont été exclus pour une illustration plus claire.

Une réactivation parasympathique complète était observée dans chaque condition à PreB2, avec un retour des indices de la VFC aux valeurs de PreB1, excepté pour HR_{mean} suivant la récupération ACT, restant plus élevé à PreB2 qu'à PreB1. WBC était la seule modalité de récupération produisant une augmentation significative des indices du tonus vagal (et une baisse de la fréquence cardiaque) comparé aux valeurs de repos à PreB1 (rMMSD, $178 \pm 69\%$ des valeurs PreB1, $p = 0.012$; SD1, $240 \pm 144\%$, $p = 0.009$; and HR_{mean} , $91 \pm 14\%$, $p = 0.047$). Alors que la récupération post-exercice des indices de la VFC ne différait pas entre PAS, CWT et ACT, WBC l'amplitude de la réactivation parasympathique post-exercice était significativement plus grande (ΔHF_{rec} , ΔLF_{rec} and $\Delta LF/HF_{rec}$ sont illustrés en **Figure 3**).

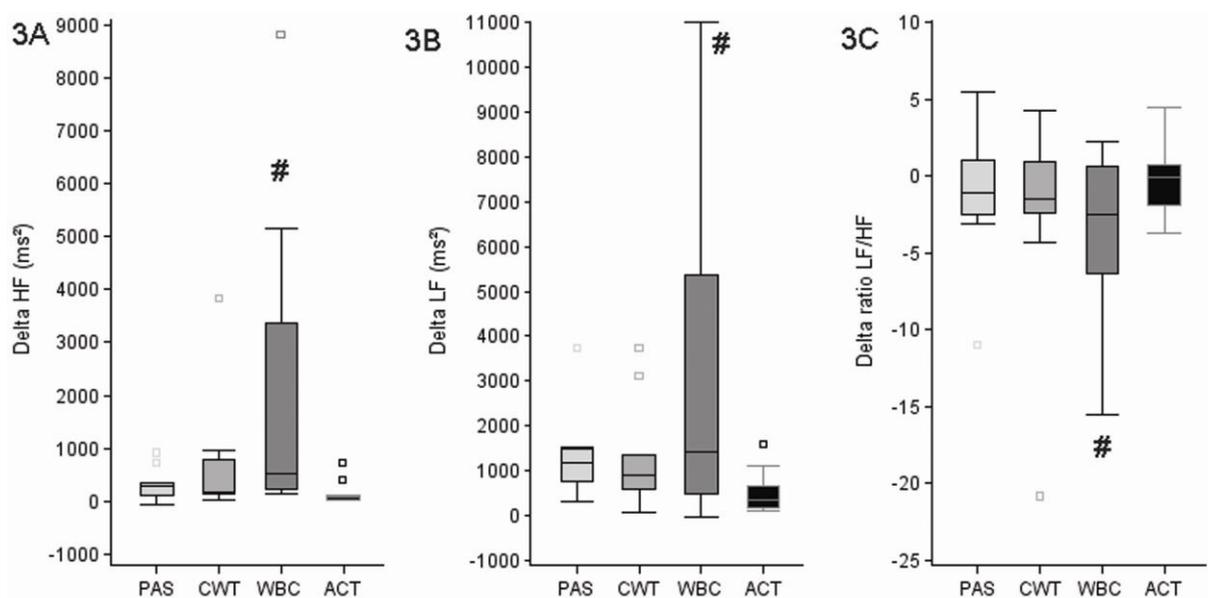


Figure 3. Différence des indices de densité spectrale entre PostB1 et PreB2, ΔHF (3A), ΔLF (3B) and LF/HF (3C). Les boîtes à moustache représentent la médiane, la fourchette interquartile (IQR ; Q25-Q75) et les barre d'erreurs représentent les observations minimales et maximales dans la fourchette $1.5 \cdot IQR$. Les carrés sont les observations minimales et maximales. #, différence significative avec PAS ($p < 0.05$).

C. EFFETS DE LA MODALITE DE RECUPERATION SUR LES PARAMETRES METABOLIQUES

Consommation d'oxygène

WBC et ACT étaient les seules conditions de récupération à l'issue desquelles la $\dot{V}O_{2peak}$ était augmentée de manière significative durant B2, comparé à B1 ($5.4 \pm 3.2\%$ and $3.4 \pm 2.9\%$, Figure 4).

Après la cryothérapie corps entier, toutes les nageuses atteignirent une $\dot{V}O_{2peak}$ plus élevée au second ballet, et toutes sauf une nageuse, après la récupération active. Alors que CWT a permis un maintien de

la $\dot{V}O_{2\text{peak}}$, celle-ci était réduite à B2, pour chacune des nageuses, après la récupération passive ($-3.6 \pm 2.1\%$).

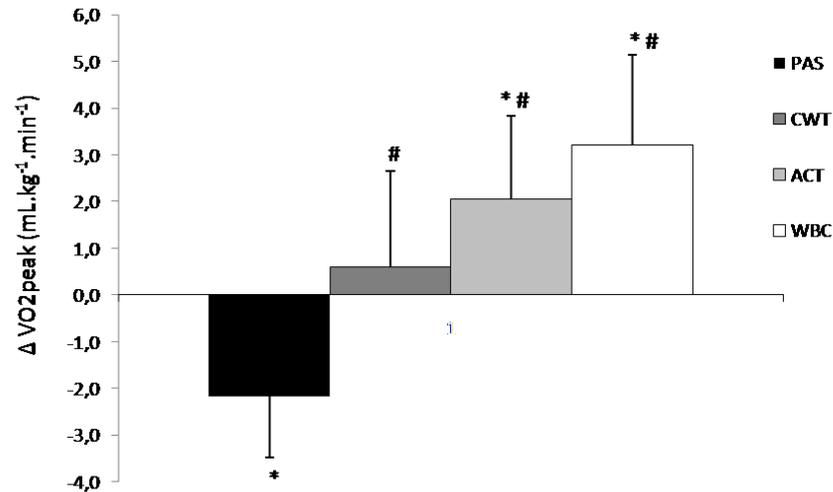


Figure 4. $\Delta \dot{V}O_{2\text{peak}}$, différence de la consommation d'oxygène atteinte à B1 et B2 pour chaque condition. *, différence significative de zéro ($p < 0.05$), et #, différence significative avec PAS ($p < 0.05$).

Lactatémie

Les valeurs de $[La^-]_b$ étaient similaires à PostB1_{4'} et PostB2_{4'}, pour chaque condition (11.2 ± 2.6 pour PostB1_{4'} et 10.4 ± 2.1 mmol.L⁻¹ pour PostB2_{4'}, $p = 0.14$). Lors de la phase de récupération, $\Delta[La^-]_{b\text{rec}}$ était significativement plus importante avec ACT qu'avec PAS ($p = 0.04$), illustré en Figure 5. La différence entre WBC et PAS était proche de la significativité ($p = 0.06$)

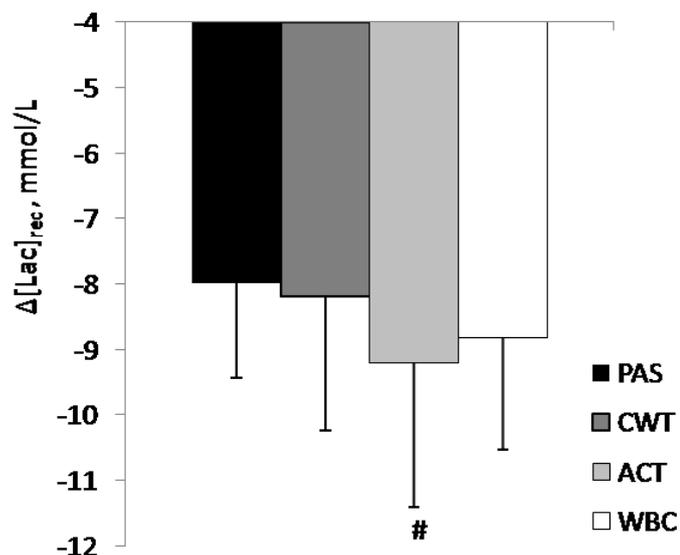


Figure 5. Evolution de la lactatémie ($\Delta[La^-]_{rec}$) lors de la période de récupération. #, différence significative avec PAS ($p < 0.05$).

D. PARAMETRES SUBJECTIFS ET SCORES

Perceptions de l'effort et de la récupération

Pour chaque condition, RPE_m et RPE_g augmentaient de façon significative de PreB1 à PostB1 et de PreB2 à PostB2. Alors que RPE_m et RPE_g revenaient, à PreB2, aux valeurs initiales de PreB1 lors de WBC, ACT et CWT, RPE_m restait plus élevé durant la condition PAS. De plus, la perception de l'efficacité de la récupération étaient significativement moins bonne pour PAS que toutes les autres modalités (PAS, 4.7 ± 2.1 ; CWT, 6.5 ± 1.6 ; ACT, 7.5 ± 1.1 ; WBC, 6.2 ± 1.3 , $p < 0.05$).

Scores de performance

Les scores moyens obtenus pour B1 et B2 sont listés dans le **Tableau 1**. Les scores de précision, énergie/déplacement, homogénéité et le score global étaient légèrement mais significativement plus bas lors de B2 que B1, avec une baisse d'un dixième de point pour chaque score, sur une échelle de 20 points (-0.5%). Aucune différence significative n'a été identifiée dans les scores obtenus entre les différentes conditions.

Ballet	Hauteur	Précision	Energie / Déplacement	Homogénéité	Score global
B1	17.4 ± 0.3	17.4 ± 0.3	17.4 ± 0.2	17.5 ± 0.3	17.4 ± 0.3
B2	17.4 ± 0.3	$17.3 \pm 0.3^*$	$17.3 \pm 0.2^*$	17.4 ± 0.3	$17.3 \pm 0.3^*$

Tableau 1. Scores moyens (sur 20 points) obtenus sur chaque critère pour B1 et B2, toutes conditions confondues. Score global : moyenne des 4 critères. *, différence significative avec B1 ($p < 0.05$).

CONCLUSIONS ET APPLICATIONS PRATIQUES

Cette étude est la première à mettre en avant les contraintes physiologiques associées à l'exécution d'un ballet de natation synchronisée de niveau international. Nous démontrons qu'une telle performance demande un effort physique important, avec un engagement maximal de la production d'énergie aérobie et de larges contributions anaérobies, exacerbées par les contraintes des phases d'apnées de ces performances (25–27). Ces résultats mettent donc en exergue l'importance d'une

récupération post-exercice adéquate afin de maintenir les capacités physiques des nageuses dans le cadre de performances répétées à court terme.

L'un des résultats majeurs de cette étude est l'identification des effets bénéfiques de la cryothérapie corps entier sur les paramètres de récupération métaboliques et neurovégétatifs, puisque c'est la première fois que l'efficacité de cette technique est testée dans ces conditions d'exercices maximaux répétés. Sur le plan de la récupération du système nerveux autonome, la cryothérapie corps entier s'avère extrêmement efficace, lorsqu'utilisée peu de temps après un exercice maximal engendrant une forte activité sympathique et une suppression quasi-totale de l'activité parasympathique au niveau cardiaque. Alors que plusieurs études ont récemment démontré que l'immersion en eau froide était une méthode efficace permettant d'améliorer la réactivation vagale post-exercice (11,13,15), la cryothérapie corps entier augmente celle-ci au-delà de l'activité parasympathique pré-exercice.

Or, dans le contexte étudié ici, dans lequel le niveau de forme cardiovasculaire des nageuses synchronisées de haut niveau est tel qu'elles démontrent, dans toutes les conditions, une capacité de réactivation vagale rapide suivant le premier ballet, augmenter ce tonus vagal au-delà des valeurs pré-exercice ne semble pas influencer les capacités physiologiques maximales lors du second ballet, puisque les modalités de récupération active et cryothérapie corps entier, associées aux degrés les plus faibles et les plus forts, respectivement, de réactivation parasympathique, sont les deux modalités ayant démontré un effet bénéfique sur la répétition de la performance. Nos résultats soutiennent en effet que la cryothérapie corps entier est aussi efficace que la récupération active dans la clairance de la lactatémie et exerce le même effet bénéfique sur la production d'énergie aérobie des nageuses lors du second ballet, alors que celle-ci est seulement maintenue suite à la récupération par immersion contrastée, et réduite de façon significative après la récupération passive.

En termes d'applications pratiques, les données confirment que dans le cadre de performances maximales répétées, les méthodes de récupération actives et de cryostimulation corps entier sont à préconiser, suivies des protocoles d'immersion contrastée, alors que la récupération entièrement passive est à éviter. Dans l'aspect pratique de la programmation de l'entraînement, la cryothérapie corps entier n'est pas aussi simple à intégrer dans le quotidien des athlètes que la récupération active, et cette dernière restera donc probablement la modalité la plus fréquemment utilisée, dans le cadre d'efforts répétés au sein d'une même séance d'entraînement ou compétition. Or, l'utilisation fréquente de la cryothérapie corps entier devrait être encouragée lorsque cette modalité s'avère disponible à l'athlète. En effet, son effet puissant sur le retour au calme du système neurovégétatif pourrait s'avérer particulièrement intéressant dans la prévention de l'accumulation de la fatigue durant des périodes d'entraînement particulièrement chargées.

BIBLIOGRAPHIE

1. Mountjoy M. Injuries and medical issues in synchronized Olympic sports. *Curr Sports Med Rep*. 2009 oct;8(5):255–61.
2. Liang MTC, Arnaud SB, Steele CR, Hatch P, Moreno A. Ulnar and tibial bending stiffness as an index of bone strength in synchronized swimmers and gymnasts. *Eur. J. Appl. Physiol*. 2005 juill;94(4):400–7.
3. Pichot V, Roche F, Gaspoz JM, Enjolras F, Antoniadis A, Minini P, et al. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2000 oct;32(10):1729–36.
4. Pichot V, Busso T, Roche F, Garet M, Costes F, Duverney D, et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 oct;34(10):1660–6.
5. Cottin F, Médigue C, Leprêtre P-M, Papelier Y, Koralsztejn J-P, Billat V. Heart rate variability during exercise performed below and above ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc*. 2004 avr;36(4):594–600.
6. Seiler KS, Kjerland GØ. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an « optimal » distribution? *Scand J Med Sci Sports*. 2006 févr;16(1):49–56.
7. Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med Sci Sports Exerc*. 2007 août;39(8):1366–73.
8. Uusitalo AL, Uusitalo AJ, Rusko HK. Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *Int J Sports Med*. 2000 janv;21(1):45–53.
9. Hynynen E, Uusitalo A, Konttinen N, Rusko H. Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 févr;38(2):313–7.
10. Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Cappelle S, Henriët M, Wolf J, et al. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2004 janv 1;24(1):10–8.
11. Buchheit M, Peiffer JJ, Abbiss CR, Laursen PB. Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol*. 2009 févr;296(2):H421–427.
12. Al Haddad H, Laursen PB, Ahmaidi S, Buchheit M. Influence of cold water face immersion on post-exercise parasympathetic reactivation. *Eur. J. Appl. Physiol*. 2010 févr;108(3):599–606.
13. Stanley J, Buchheit M, Peake JM. The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *Eur J Appl Physiol [Internet]*. 2011 juin 28 [cité 2011 juill 28]; Available de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21710292>

14. Pump B, Shiraishi M, Gabrielsen A, Bie P, Christensen NJ, Norsk P. Cardiovascular effects of static carotid baroreceptor stimulation during water immersion in humans. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2001 juin;280(6):H2607–2615.
15. Al Haddad H, Laursen PB, Chollet D, Lemaitre F, Ahmaidi S, Buchheit M. Effect of cold or thermoneutral water immersion on post-exercise heart rate recovery and heart rate variability indices. *Auton Neurosci.* 2010 août 25;156(1-2):111–6.
16. Hausswirth C, Louis J, Bieuzen F, Pournot H, Fournier J, Filliard J-R, et al. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS ONE.* 2011;6(12):e27749.
17. Pournot H, Bieuzen F, Louis J, Fillard J-R, Barbiche E, Hausswirth C. Time-Course of Changes in Inflammatory Response after Whole-Body Cryotherapy Multi Exposures following Severe Exercise. *PLoS ONE.* 2011;6(7):e22748.
18. Westerlund T, Uusitalo A, Smolander J, Mikkelsen M. Heart rate variability in women exposed to very cold air (-110 °C) during whole-body cryotherapy. *Journal of Thermal Biology.* 2006 mai;31(4):342–6.
19. Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. *Sports Med.* 1986 juin;3(3):165–89.
20. Carré F, Dassonville J, Beillot J, Prigent JY, Rochcongar P. Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1994;69(3):258–61.
21. Hausswirth C, Bigard AX, Le Chevalier JM. The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. *Int J Sports Med.* 1997 août;18(6):449–53.
22. Montpetit RR, Léger LA, Lavoie JM, Cazorla G. VO₂ peak during free swimming using the backward extrapolation of the O₂ recovery curve. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1981;47(4):385–91.
23. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med.* 1970;2(2):92–8.
24. Toubekis AG, Tsolaki A, Smilios I, Douda HT, Kourtesis T, Tokmakidis SP. Swimming performance after passive and active recovery of various durations. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008 sept;3(3):375–86.
25. Coetsee MF, Terblanche SE. The effects of breathhold on lactate accumulation, PO₂, PCO₂ and pH of blood. *Aviat Space Environ Med.* 1988 juin;59(6):540–3.
26. Davies BN, Donaldson GC, Joels N. Do the competition rules of synchronized swimming encourage undesirable levels of hypoxia? *Br J Sports Med.* 1995 mars;29(1):16–9.
27. Naranjo J, Centeno RA, Carranza MD, Cayetano M. A test for evaluation of exercise with apneic episodes in synchronized swimming. *Int J Sports Med.* 2006 déc;27(12):1000–4.

Résumé

Cette étude est la première à mettre en avant les contraintes physiologiques associées à l'exécution d'un ballet de natation synchronisée de niveau international. Nous démontrons qu'une telle performance demande un effort physique important, avec un engagement maximal de la production d'énergie aérobie et de larges contributions anaérobies, exacerbées par les contraintes des phases d'apnées de ces performances. Ces résultats mettent donc en exergue l'importance d'une récupération post-exercice adéquate afin de maintenir les capacités physiques des nageuses dans le cadre de performances répétées à court terme.

L'un des résultats majeurs de cette étude est l'identification des effets bénéfiques de la cryothérapie corps entier sur les paramètres de récupération métaboliques et neurovégétatifs, puisque c'est la première fois que l'efficacité de cette technique est testée dans ces conditions d'exercices maximaux répétés. Sur le plan de la récupération du système nerveux autonome, la cryothérapie corps entier s'avère extrêmement efficace, lorsqu'utilisée peu de temps après un exercice maximal engendrant une forte activité sympathique et une suppression quasi-totale de l'activité parasympathique au niveau cardiaque. Alors que plusieurs études ont récemment démontré que l'immersion en eau froide était une méthode efficace permettant d'améliorer la réactivation vagale post-exercice, la cryothérapie corps entier augmente celle-ci au-delà de l'activité parasympathique pré-exercice.

En termes d'applications pratiques, les données confirment que dans le cadre de performances maximales répétées, les méthodes de récupération actives et de cryostimulation corps entier sont à préconiser, suivies des protocoles d'immersion contrastée, alors que la récupération entièrement passive est à éviter. Dans l'aspect pratique de la programmation de l'entraînement, la cryothérapie corps entier n'est pas aussi simple à intégrer dans le quotidien des athlètes que la récupération active, et cette dernière restera donc probablement la modalité la plus fréquemment utilisée, dans le cadre d'efforts répétés au sein d'une même séance d'entraînement ou compétition. Or, l'utilisation fréquente de la cryothérapie corps entier devrait être encouragée lorsque cette modalité s'avère disponible à l'athlète. En effet, son effet puissant sur le retour au calme du système neurovégétatif pourrait s'avérer particulièrement intéressant dans la prévention de l'accumulation de la fatigue durant des périodes d'entraînement particulièrement chargées.



11 avenue du Tremblay
75 012 PARIS

tél. 01 41 74 41 00
www.insep.fr