

Effets de l'immersion en eau froide sur la récupération physique des jeunes footballeurs

Effects of cold water immersion on aerobic capacity and muscle strength of young footballers

Hamza Boujezza ¹, Amal Sghaier ¹, Mohamed Ben Rejeb ², Imene Gargouri ³, Imed Latiri ⁴, Helmi Ben Saad ⁵

1- Université Privée des Sciences, Arts et Techniques (UPSAT) de Sousse.

2- Service de Prévention et de Sécurité des Soins, Hôpital Sahloul, Sousse

3- Service de Pneumologie. EPS Farhat HACHED. Sousse

4- Laboratoire de Physiologie. Faculté de Médecine de Sousse. Université de Sousse. Sousse. Tunisie

5- Laboratoire de recherche «Insuffisance cardiaque, LR14ES05» EPS Farhat HACHED. Sousse

RÉSUMÉ

Objectif. Comparer les données de la performance aérobie, déterminées avant «période1» et après «période2» l'immersion en eau froide chez deux groupes de footballeurs (groupes IEF et non-IEF).

Méthodes. Il s'agit d'une étude évaluative de type expérimentale avec appariement et randomisation. Les 20 footballeurs, âgés entre 17 et 20 ans, ont été répartis en deux groupes (n=10 pour chacun) suite à un tirage au sort. Une course de 1000-m a été réalisée durant les deux périodes. La fréquence cardiaque (FC, % de la FC maximale théorique) et la saturation de l'hémoglobine en oxygène (Oxy-sat, %) ont été mesurées avant et après la course et le temps de la course (min) a été noté. Une chute de l'Oxy-sat > quatre points porte le diagnostic de désaturation induite par l'exercice. Huit séances d'IEF, jusqu'à la hanche en position debout (10 min à 11-12 °C) ont été réalisées.

Résultats. Les deux groupes ont été appariés pour l'âge, la taille et le poids. Comparativement au temps de course de la «période1», celui de la «période2» a baissé de 0,05±0,04 min dans le groupe IEF et a augmenté de 0,03±0,04 min dans le groupe non-IEF. Comparativement aux FC mesurées avant et à la fin de la course de la «période1», celles de la «période2» ont diminué dans le groupe IEF (respectivement, de 1,96±0,73 et de 12,14±2,72%) et ont augmenté dans le groupe non-IEF (respectivement, de 1,26±1,12 et de 1,97±1,05%). Comparativement à l'Oxy-sat mesurée à la fin de la course de la «période1», celle de la «période2» a augmenté de 2,00±0,07% dans le groupe IEF et a diminué de 1,00±0,67% dans le groupe non-IEF. Alors que dans le groupe IEF, le pourcentage de désaturateurs lors de l'exercice a diminué entre la «période1» et la «période2» (30 contre. 0%), dans le groupe non-IEF, les pourcentages ont resté similaires (50 contre. 90%).

Conclusion. L'IEF améliore l'aptitude aérobie et la force musculaire des jeunes footballeurs.

Mots-clés

Immersion eau froide - Récupération - Muscle - Exercice respiratoire.

SUMMARY

Aim. To compare aerobic performance data, determined before «period1» and after «period2» cold water immersion in two groups of footballers (CWI and no-CWI groups).

Methods. This is an experimental study with matching and randomization. The 20 male footballers, aged 17 to 20 years, were divided into two groups (n = 10 for each) following a random draw. 1000-m race was made during the two periods. Heart-rate (HR, % of theoretical maximum HR) and hemoglobin oxygen saturation (Oxy-sat, %) were measured before and after the race, and the time of the race (min) was noted. An Oxy-sat decrease > 4 points retained the diagnosis of exercise-induced desaturation. Eight CWI sessions (one per week), until the hip in a standing position (10 min; temperature: 11-12 °C) were performed.

Results. The two groups were age-, height- and weight matched. Comparatively to the race time of «period1», this of «period2» was decreased in the CWI group (3.21±0.04 vs. 3.15±0.04 min) and was increased in the no-CWI group (3.23±0.05 vs. 3.27±0.07 min). Comparatively to the HRs (before, after the race) of «period1», these of «period2» were decreased in the CWI group (36±1 vs. 34±1%; 56±3 vs. 44±2%) and were increased in the no-CWI group (35±2 vs. 36±1%; 55±2 vs. 57±2%). Comparatively to the after race Oxy-sat' of the «period1», this of «period2» was increased in the CWI group (96±1 vs. 98±0%) and was decreased in the no-CWI group (96±1 vs. 95±1%). While in the CWI group, the percent of desaturators was decreased between «period1» and «period2» (30 vs. 0%), in the no-CWI group, percentages remained similar (50 vs. 90%).

Conclusion. CWI improves aerobic capacity and muscle strength of young footballers.

Key-words

Cold Water Immersion – Recovery - Muscle - Exercise

Différentes procédures ont été mises à la disposition des sportifs pour accélérer la récupération et maintenir un état compétitif stable (1, 2). Ces procédures de récupération, incluant les massages (3), l'oxygénation hyperbare (4), l'accélération du retour veineux (5), l'électrostimulation (6), la cryothérapie en corps entier (7) et l'immersion en eau froide (IEF), ont pour but d'accélérer la régénération globale des sportifs (6).

L'IEF, technique efficace de lutte contre l'inflammation musculaire, attire actuellement l'attention du monde sportif comme technique de récupération (1, 2, 8, 9). En effet, l'introduction (le 6.4.2017) dans le moteur de recherche «Pubmed» de l'association des mots clés «(ice-water-immersion or cold-water-immersion) and (sports)» trouve 786 articles dont presque 30% ont été publiés durant les cinq dernières années. Cette technique de récupération est souvent recommandée dans les sports où les contacts sont répétés tout au long des entraînements et des compétitions (exemple du football) (1, 2, 9). Toutefois, si plusieurs études (10, 11) montrent l'efficacité de l'IEF en tant qu'analgésique sur les aspects traumatiques ou immunitaires, actuellement il n'y a pas constamment unanimité de son emploi comme méthode d'amélioration de la performance (12). Les chercheurs se sont attachés à observer les effets de l'IEF sur la restauration de nombreux indicateurs de la performance, caractérisant à la fois les filières énergétiques aérobie et anaérobie, mais aussi les différentes modalités de contraction musculaire (13-46).

Cependant, peu de données semblent disponibles sur les effets de l'IEF sur la performance et les capacités de récupération (9, 19, 21, 40, 46) et très peu d'études ont observé des résultats allant dans le même sens (13-20, 25, 45, 47-52).

Les résultats concernant l'impact de l'IEF sur les performances sont contradictoires, avec quelques études suggérant des effets bénéfiques (13, 45, 50) et d'autres indiquant des effets négligeables (18, 48, 51, 52). Les divergences entre les résultats sont probablement dues aux différents temps d'immersion (14 (20) ou 15 (25, 47) min contre 24 (49) min); aux différents protocoles d'exercice (course sur tapis roulant (25), jeux d'équipe (47), exercice excentrique des membres (19)), aux différentes performances mesurées (courses de 400-m (25), test de navette (13), handgrip (52)) et aussi de l'activité pratiquée par les athlètes (athlètes multisports (25), basketteurs (48), sport d'endurance (19)) ainsi que de son intensité (sprint de 6 secondes sur vélo (47), épreuve d'exercice musculaire à charge croissante (52)).

Devant la contradiction des résultats rapportés dans la littérature, la présente étude évaluative de type expérimentale avec appariement a été réalisée. Son objectif a été de comparer les données de la performance aérobie (course de 1000-m) et les forces musculaires des membres inférieurs, mesurées avant et après l'IEF («période₁» et «période₂», respectivement), de

20 footballeurs répartis en deux groupes appariés pour l'âge: groupe IEF et groupe non-IEF.

METHODES

Type d'étude

Il s'agit d'une étude évaluative de type expérimentale avec appariement, étalée sur la période allant du 3.11.2015 au 24.12.2015. Elle a été réalisée auprès des jeunes footballeurs de la Jeunesse Sportive Kairouanaise (JSK, <http://www.jsk.tn/JSK>; visité le 6.4.2017). L'étude a été réalisée à Kairouan dans trois endroits: terrain d'athlétisme pour la course de 1000-m; cabinet d'un kinésithérapeute privé pour le «testing musculaire»; et terrain annexe de football pour les séances d'entraînement et d'IEF. Tous les joueurs ont eu une fiche d'information expliquant les objectifs de l'étude. Ils étaient informés de la possibilité de se retirer à n'importe quel moment de l'étude sans être obligé de s'expliquer. Tous les joueurs ont signé un consentement éclairé. Le secrétaire général de la JSK a donné un avis favorable pour la réalisation de l'étude.

Population d'étude

Les joueurs inclus dans l'étude ont été des footballeurs masculins sains âgés de 17 à 20 ans, appartenant aux catégories «junior» et «espoir» de la JSK. Les deux catégories comportent 50 footballeurs qui ont en moyenne cinq séances d'entraînement/semaine avec une durée moyenne d'entraînement de neuf heures/semaine. Ils disputent en moyenne 30 matchs/ans. Au début de l'année sportive (mi-août 2015), tous les footballeurs ont eu une visite médicale au sein du centre médico-sportif local. Seuls ont été inclus dans l'étude les footballeurs qui sont disponibles durant toute la période de l'expérimentation. L'apparition d'une maladie aigue (angine, grippe,) au cours du protocole ou l'absence lors d'une séance d'entraînement ou d'IEF ont été appliquées comme critère d'exclusion. Les footballeurs ont été répartis en deux groupes suite à un tirage au sort réalisé le 1^{er} jour du protocole. Les deux groupes ont été appariés pour l'âge, la taille et le poids.

Taille de l'échantillon

L'hypothèse nulle a été: $H_0: m_1=m_2$ et l'hypothèse alternative a été $H_a: m_1=m_2+d$ où d est la différence entre les deux moyennes et n_1 et n_2 sont les tailles des échantillons pour deux groupes (IEF et non-IEF) de telle sorte que $N=n_1+n_2$. La taille de l'échantillon total a été calculée selon l'équation suivante (53): $N=((r+1)(Z_{\alpha/2}+Z_{1-\beta})^2s^2)/rd^2$. $Z_{\alpha/2}$ est la déviation normale à un niveau de signification ($=1,96$ pour 5% de niveau de signification); $Z_{1-\beta}$ est la déviation normale à une force $1-\beta\%$ avec une erreur de type II $\beta\%$ ($=1,28$ à une puissance statistique de 90%); r ($=n_1/n_2$) est le rapport entre la taille des échantillons de deux groupes ($r=1$ donne une distribution

de 1:1 pour les deux groupes); s et d sont l'écart-type et la différence entre les moyennes de temps de course avant et après l'IEF. Ces deux valeurs sont issues d'une étude antérieure (40) qui avait comme objectif principal d'évaluer l'effet de l'IEF (14 °C pendant 5 min) sur la récupération en appliquant une course de 4000-m. Le groupe non-IEF avait des moyennes de temps de course de 18,0 et de 18,9 min, respectivement, avant et après le protocole, avec un écart-type moyen de 0,9. L'injection de ces données dans l'équation prédictive donne un échantillon total de 21 sujets (10 dans chaque groupe).

Procédures de collecte des données

L'âge (an) a été vérifié par la carte d'identité nationale. Le poids (kg) et la taille (cm) ont été mesurés objectivement par une pèse personne et une toise électronique. Les postes occupés dans le football (attaquant, milieu de terrain, défenseur, gardien de but) ont été vérifiés au près des entraîneurs des deux catégories.

Pendant chaque phase du protocole, deux sessions de course de 1000-m ont été réalisées vers midi. La 1^{ère} et la 2^{ème} session ont inclus les mêmes footballeurs, respectivement, 13 et sept sujets. L'instruction donnée aux footballeurs a été de courir le plus rapidement possible une distance de 1000-m. Le début et la fin de parcours ont été marqués et visualisés par les footballeurs. Ces derniers ont été regroupés devant la ligne de départ et n'ont été autorisés de courir qu'après la donnée du signal par le meneur de l'étude. Les données suivantes ont été notées: temps de la course (min), fréquence cardiaque avant et après la course, saturation de l'hémoglobine en oxygène (Oxy-sat) et delta Oxy-sat (=Oxy-sat avant la course moins Oxy-sat après la course)]. La FC et l'Oxy-sat ont été déterminées par un oxymètre de poils (Handheld Pulse Oximeter, M700, guangdong Biolight Meditech Co Ltd, Zhuhai, P.R. China). Le temps de course (min) a été déterminé par un chronomètre (Chronomètre 372/2 CE, RoHS CE). La FC a été exprimée en bpm et en pourcentage de la FC maximale théorique ($FC (\%) = 100 * FC \text{ mesurée} / FC \text{ maximale théorique}$). La FC maximale théorique a été calculée [$= 210 - 0,65 * \text{Age (an)}$] (54). L'Oxy-sat a été exprimée en pourcentage. Une delta Oxy-sat de plus de quatre points a porté le diagnostic d'une désaturation induite par l'exercice (55).

Deux sessions de «testing musculaire» ont été réalisées avant et après le protocole. Le «testing musculaire» du psoas, du grand fessier, du moyen fessier, de l'adducteur de la hanche, du quadriceps, de l'ischio-jambier, du triceps sural et du jambier antérieur a été réalisé selon un protocole bien défini (56). La cotation musculaire, qui consiste à mesurer la mobilité et la force d'un muscle (56), prévoit six niveaux: 0: pas de contraction visible ou palpable; 1: contraction minime mais sans mouvement; 2: contraction permettant une amplitude normale du mouvement et dégage de la pesanteur; 3: amplitude complète du mouvement contre pesanteur; 4: amplitude

complète du mouvement contre pesanteur avec une résistance partielle et 5: amplitude complète du mouvement contre pesanteur avec une résistance.

Description des séances d'entraînement

Durant la période allant du 3.11.2015 au 23.12.2015, les deux groupes ont réalisé 38 séances d'entraînement (quatre séances/semaine d'une durée moyenne de 90 min et une séance d'une durée moyenne de 60 min). Ils ont disputé six matchs de football (durée moyenne de 90 min). La durée totale d'entraînement a été alors de 3780 min. Une semaine d'entraînement a comporté cinq séances: *i*) Une séance de dégraissage chaque lundi vers 18h30 en cas de dispute de match le dimanche (course légère, jonglage du ballon, tennis ballon, gainage, étirement musculaire global.....). Durant la période de l'étude, la durée totale des six séances de dégraissage (la durée d'une séance est de 60 min) a été de 360 min. *ii*) Trois séances technico-tactiques chaque mardi et jeudi vers 18h30 et chaque vendredi vers 14h30 (course en foulée, échauffement et étirement musculaire global, exercices techniques et tactiques; travaille physique, jeux libres et retour au calme). Durant la période de l'étude, la durée totale des 24 séances technico-tactiques a été de 2160 min (durée d'une séance= 90 min). *iii*) Une séance d'entraînement intensif chaque mercredi vers 18h30. Durant la période de l'étude, la durée totale des huit séances d'entraînement intensif a été de 720 min (durée d'une séance= 90 min). Une séance classique d'entraînement intensif comporte 6 phases dans l'ordre suivant: *phase 1*: échauffement neuromusculaire (durée = 15 min); *phase 2*: exercice en endurance d'une durée de 18 min; *phase 3*: gainage d'une durée de 11 min; *phase 4*: exercice en endurance d'une durée de 18 min; *phase 5*: travail de puissance maximale aérobie (durée approximative= 19 à 22 min) et *phase 6*: séance d'étirement d'une durée de huit min.

Protocole d'IEF

Huit séances d'IEF, à une température entre 11 et 12 °C, ont été réalisées dans les vestiaires qui ne disposent pas de chauffage. L'eau a été refroidie en ajoutant de la glace dans les grandes cuvettes remplies d'eau jusqu'à l'obtention de la température cible. A la fin de la séance d'entraînement et après un repos passif de 20 min, le groupe IEF a eu 10 min d'immersion jusqu'à la hanche (position debout) dans les cuvettes. Les footballeurs ont été autorisés de garder leurs sous-vêtements et leurs T-shirts. La température de l'eau a été mesurée par un thermomètre avant et après la séance d'IEF. Durant la période du protocole (52 jours), la température ambiante dans la ville de Kairouan a été en moyenne de 21,7±2,8 °C. Durant les huit séances d'IEF [quatre en Novembre et quatre en Décembre], la température ambiante dans la ville de Kairouan a été en moyenne de 22,5±2,8 °C.

Analyse statistique

Les données quantitatives (âge, taille, poids, temps de course, FC, Oxy-sat, delta Oxy-sat et forces musculaires) ont été exprimées en moyenne \pm écart-type et en médiane (quartiles inférieur et supérieur). Les données qualitatives (postes occupés par les joueurs et nombre de désaturateurs) ont été exprimées en nombre (%). Pour chaque groupe, les données de la course ont été aussi exprimées en terme de différence entre la donnée mesurée durant la période₁ et celle mesurée durant la période₂.

Les tests W de Wilcoxon et le Chi-2 de McNemar ont été utilisés pour comparer, respectivement, les données quantitatives et qualitatives dans le même groupe et entre les deux groupes.

Le seuil de 0,05 a été retenu pour la signification statistique. La saisie des résultats a été réalisée en utilisant le logiciel Statistica (Statistica Kernel version 6; Stat Soft. France).

RESULTATS

Vingt footballeurs ont été inclus: 10 dans le groupe IEF et 10 dans le groupe témoin (non-IEF). Le tableau 1 expose les données anthropométriques et les postes occupés par les footballeurs. Les deux groupes ont été appariés pour l'âge, la taille et le poids. Le profil des postes occupés par les footballeurs a été similaire entre les 2 groupes.

Tableau 1. Caractéristiques des footballeurs répartis en deux groupes.

	Groupe IEF (n=10)	Groupe non-IEF (n=10)	P
Age (ans)	17,8 \pm 1,03 17,50 (17,00-18,00)	17,8 \pm 0,9 18,00 (17,00-18,00)	0,880
Taille (cm)	176 \pm 4 176 (174-179)	178 \pm 7 179 (173-182)	0,406
Poids (kg)	68 \pm 3 69 (65-71)	69 \pm 7 70 (68-71)	0,821
Postes occupés			
Attaquant	1 (10)	3 (30)	0,278
Milieu de terrain	6 (60)	3 (30)	0,194
Défenseur	2 (20)	3 (30)	0,612
Gardien de but	1 (10)	1 (10)	1,000

IEF: immersion en eau froide. P: probabilité.

L'âge, la taille et le poids ont été exprimés en moyenne \pm écart-type et en médiane (quartiles inférieur et supérieur).

Les postes occupés ont été exprimés en nombre (%).

*P < 0,05 (Wilcoxon test pour l'âge, la taille et le poids): «groupe IEF» contre. «groupe non-IEF».

*P < 0,05 (Chi-2 de McNemar pour les postes occupés): «groupe IEF» contre. «groupe non-IEF».

La comparaison des poids (exprimés en moyennes et en médianes) durant la «période₁» et la «période₂» n'a pas montré de modifications significatives ni pour le groupe non-IEF (respectivement, 69 \pm 7 [70 (68-71)] contre. 70 \pm 7 [70 (68-71)] kg; p = 0,285) ni pour le groupe IEF

(respectivement, 68 \pm 3 [69 (65-71)] contre. 68 \pm 4 [69 (65-71)] kg; p = 0,286).

La figure 1 expose, pour chaque groupe, les temps de course de 1000-m déterminés lors des deux périodes. Comparativement au temps de course de 1000-m de la «période₁», celui de la «période₂» a baissé de 0,05 \pm 0,04 min dans le groupe IEF (3,21 \pm 0,04 contre. 3,15 \pm 0,04 min, Figure 1A) et a augmenté de 0,03 \pm 0,04 min dans le groupe non-IEF (3,23 \pm 0,05 contre. 3,27 \pm 0,07 min, Figure 1B).

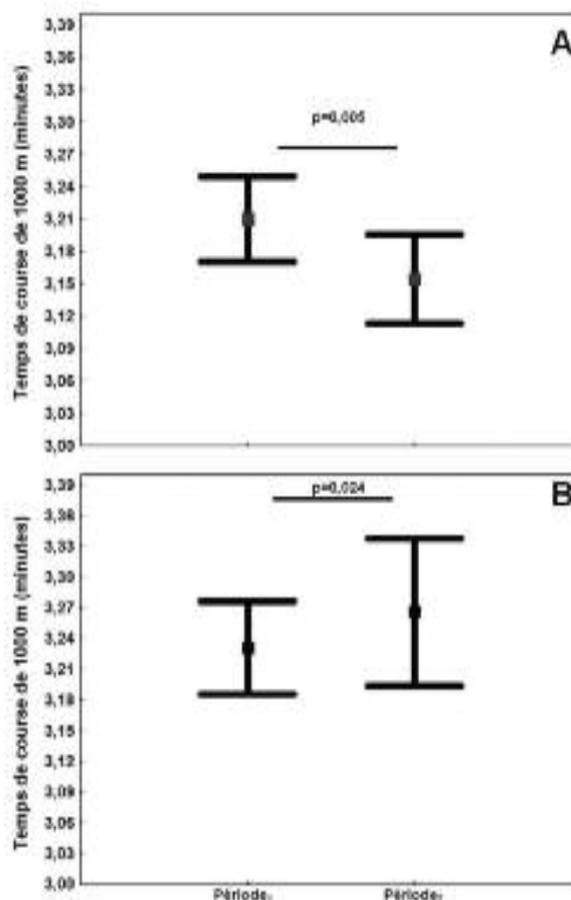


Figure 1: Temps de course de 1000-m pour le groupe exposé à l'immersion en eau froide (groupe IEF, n=10, figure A) et le groupe non exposé à l'IEF (groupe non-IEF, n=10, figure B) durant les deux périodes.

Période₁: avant l'intervention (exposition ou non à l'IEF).

Période₂: après l'intervention (exposition ou non à l'IEF).

Les données ont été exprimées en moyenne (\square) \pm écart-type ().

*P < 0,05 (Wilcoxon test): «période₁» contre. «période₂» pour le même groupe.

Le tableau 2 expose pour chaque groupe, les données de la course de 1000-m, déterminées lors des deux périodes. Comparativement aux FC déterminées avant et à la fin de la course de la «période₁», celles de la «période₂» ont diminué, respectivement, de 1,96 \pm 0,73%

et de $12,14 \pm 2,72\%$ dans le groupe IEF et ont augmenté, respectivement, de $1,26 \pm 1,12\%$ et de $1,97 \pm 1,05\%$ dans le groupe non-IEF. Comparativement à l'Oxy-sat de fin de la course de la «période₁», celle de la «période₂» a augmenté de $2,00 \pm 0,07\%$ dans le groupe IEF et a diminué de $1,00 \pm 0,67\%$ dans le groupe non-IEF. Alors que dans le groupe IEF, le pourcentage de désaturateurs lors de l'exercice a diminué d'une manière significative,

dans le groupe non-IEF, les pourcentages ont resté similaires. Le tableau 3 expose, pour chaque groupe, les données du «testing musculaire» déterminées lors des deux périodes. Dans le groupe IEF, comparativement aux scores musculaires de la «période₁», ceux de la «période₂» ont tous augmenté. Dans le groupe non-IEF, comparativement aux scores musculaires de la «période₁», aucun de la «période₂» n'a augmenté.

Tableau 2. Données de la course de 1000-m des footballeurs répartis en deux groupes.

	Groupe IEF (n=10)		p	Groupe non-IEF (n=10)		p
	Période1	Période2		Période1	Période2	
FCavant (%)	36±1 36 (35-37)	34±1 35 (33-35)	0,005*	35±2 35 (35-36)	36±1 36 (35-38)	0,005*
FCfin (%)	56±3 57 (53-58)	44±2 45 (44-45)	0,005*	55±2 55 (54-56)	57±2 57 (55-58)	0,005*
Oxy-satavant (%)	99±0 99 (99-99)	99±0 99 (99-99)	NS	99±0 99 (99-99)	99±0 99 (99-99)	NS
Oxy-satfin (%)	96±1 96 (95-96)	98±0 98 (98-98)	0,005*	96±1 96 (95-96)	95±1 95 (94-95)	0,005*
DIE	3 (30)	0 (0)	0,023#	5 (50)	9 (90)	0,422

avant: avant la course. DIE: désaturation induite par l'exercice. fin: à la fin de la course. FC: fréquence cardiaque (% de la FC maximale théorique). IEF: immersion en eau froide. NS: non significatif. Oxy-sat: saturation de l'hémoglobine en oxygène. P: probabilité.

Période1: avant l'intervention (exposition ou non à l'IEF).

Période2: après l'intervention (exposition ou non à l'IEF).

La FC et l'Oxy-sat ont été exprimées en moyenne \pm écart-type et en médiane (quartiles inférieur et supérieur).

La DIE a été exprimée en nombre (%).

*P < 0,05 (Wilcoxon test): «période₁» contre. «période₂» pour le même groupe.

#P < 0,05 (Chi-2 de McNemar): «période₁» contre. «période₂» pour le même groupe.

Tableau 3. Données du «testing musculaire» des footballeurs répartis en deux groupes.

	Groupe IEF (n=10)		p	Groupe non-IEF (n=10)		p
	Période1	Période2		Période1	Période2	
Psoas	4,4±0,5 4,0 (4,0-5,0)	4,9±0,3 5,0 (5,0-5,0)	0,04*	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	NS
Grand fessier	4,5±0,5 4,5 (4,0-5,0)	5,0±0,0 5,0 (5,0-5,0)	0,04*	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	NS
Moyen fessier	4,2±0,4 4,0 (4,0-4,0)	4,9±0,3 5,0 (5,0-5,0)	0,02*	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	NS
Adducteur de la hanche	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	4,6±0,5 5,0 (4,0-5,0)	0,04*	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	NS
Quadriceps	4,5±0,5 4,50 (4,00-5,00)	5,0±0,0 5,0 (5,0-5,0)	0,03*	4,5±0,5 4,5 (4,0-5,0)	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	0,04*
Ischio jambier	4,4±0,5 4,0 (4,0-5,0)	5,0±0,0 5,0 (5,0-5,0)	0,04*	4,1±0,3 4,0 (4,0-4,0)	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	NS
Triceps sural	4,3±0,5 4,0 (4,0-5,0)	5,0±0,0 5,0 (5,0-5,0)	0,03*	4,1±0,3 4,0 (4,0-4,0)	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	NS
Jambier antérieur	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	4,8±0,4 5,0 (5,0-5,0)	0,02*	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	4,0±0,0 4,0 (4,0-4,0)	NS

IEF: immersion en eau froide. NS: non significatif.

Période1: avant l'intervention (exposition ou non à l'IEF).

Période2: après l'intervention (exposition ou non à l'IEF).

Les données ont été exprimées en moyenne \pm écart-type et en médiane (quartiles inférieur et supérieur).

*P (probabilité) < 0,05 (Wilcoxon test): «période₁» contre. «période₂» pour le même groupe.

DISCUSSION

Les données de la performance aérobie et la force musculaire, déterminées avant et après l'IEF, de deux groupes de jeunes footballeurs appariés pour les données anthropométriques et le profil des postes occupés, ont été comparées. Comparativement au temps de course de la «période₁», celui de la «période₂» a baissé de $0,05 \pm 0,04$ dans le groupe IEF et a augmenté de $0,03 \pm 0,04$ dans le groupe non-IEF. Comparativement aux FC mesurées avant et à la fin de la course de la «période₁», celles de la «période₂» ont diminué dans le groupe IEF (respectivement, de $1,96 \pm 0,73\%$ et de $12,14 \pm 2,72\%$) et ont augmenté dans le groupe non-IEF (respectivement, de $1,26 \pm 1,12\%$ et de $1,97 \pm 1,05\%$). Comparativement à l'Oxy-sat de fin de la course de la «période₁», celle de la «période₂» a augmenté de $2,00 \pm 0,07\%$ dans le groupe IEF et a diminué de $1,00 \pm 0,67\%$ dans le groupe non-IEF. Alors que dans le groupe IEF, le pourcentage de désaturateurs lors de l'exercice a diminué entre les deux périodes, dans le groupe non-IEF, les pourcentages ont resté similaires. Dans le groupe IEF, comparativement aux scores musculaires de la «période₁», ceux de la «période₂» ont tous augmenté. Dans le groupe non-IEF, aucune augmentation n'a été notée.

Discussion de la méthodologie

Comme dans certaines études similaires (40), la présente est une étude évaluative de type expérimentale avec appariement et randomisation. Cette dernière est relativement peu onéreuse et facile à mettre en place, mais seule ne peut prouver un lien de causalité (57). D'autres études ayant des objectifs similaires ont inclus trois (19, 25, 45, 50) ou quatre (48) groupes (contrôle, IEF, immersion en eau chaude (IEC), alternance IEF/IEC, récupération passive, récupération active).

La taille de l'échantillon de la présente étude ($n=20$) a été calculée selon une équation prédictive. Elle est intermédiaire avec celles d'autres études ayant des objectifs similaires [$n=6$ (52); $n=14$ (25); $n=17$ (47); $n=22$ (13), $n=38$ (19); $n=40$ (18); $n=45$ (45)].

Comme dans l'étude de Dawson et al. (47), les volontaires inclus dans la présente étude ont été des footballeurs. Certaines études ont inclus des sujets sains sédentaires (18, 49, 52), des sujets impliqués des divers sports (13), des sujets très actifs (coureurs, athlètes multisports, joueurs d'équipe et athlètes de loisirs) (25) ou des basketteurs (48) ou des sportifs d'endurance (19). Dans la présente étude, comme dans celle de Bailey et al. (13) et contrairement à celle de Heyman et al. (30), seuls les hommes ont été inclus. En effet, les effets de l'IEF sont sexe-dépendants (45): l'effet de l'IEF sur la force isométrique est plus marqué chez les hommes, comparativement aux femmes.

Dans la présente étude, une course de 1000-m a été réalisée. Dans l'étude de Coffey et al. (25), des courses de 400-m, de 1000-m et de 5000-m ont été réalisées. Dans les autres études ayant des objectifs similaires, d'autres tests ont été réalisés: saut vertical (13, 19, 47), exercices excentriques du quadriceps (18, 19), contractions musculaires statiques des membres inférieurs (45) ou contractions excentriques et concentriques du coude (48), sprint de 6 secondes sur vélo (47), épreuve d'exercice musculaire à charge croissante (52), handgrip (52), test de navette (25).

Dans la présente étude, un «testing musculaire» a été réalisé. Dans la littérature, différentes autres explorations musculaires ont été réalisées: force maximale isométrique (18, 45), puissance musculaire (47), fonction musculaire isokinétique (13), flexion et extension isokinétique (48).

Huit séances d'IEF à une température entre 11 et 12 °C pendant 10 min ont été réalisées. Le nombre de séance d'IEF est rarement mentionné dans les études similaires (13, 17-19, 25, 45, 47-52). Comme dans certaines études (22, 29), une récupération passive de 20 min a séparée la fin de la séance d'entraînement de la séance d'IEF. Dans les autres études, l'immersion a été réalisée soit immédiatement après la fin de l'exercice (25, 38), soit immédiatement après une légère récupération active (26). Ces divergences peuvent modifier l'élimination du lactate et donc les performances (22). La température de l'eau choisie pour la présente étude est similaire (10 °C (13, 25, 52)) ou différente (5 °C (18), 8 °C (45), 15 °C (19, 20, 50), 24 °C (18)) à celle appliquée dans les autres études. Cette différence dans les procédures d'IEF pourrait générer plus ou moins de pression sur le corps, modifiant ainsi les adaptations physiologiques (1, 2). *La durée de l'IEF de la présente étude (10 min) est similaire (13, 45) ou différente (3 (18); 14 (19, 20); 15 (25, 50); 20 (52) ou 24 (49) min) à celle appliquée dans les autres études.* Comme dans certaines études (13, 25, 45), l'IEF a été réalisée jusqu'à la hanche en position debout. Dans d'autres études, l'IEF a englobée la totalité du corps jusqu'au cou en position debout (19, 20) ou jusqu'à la crête iliaque en position assise (18). Cette différence dans les procédures d'IEF pourrait modifier les adaptations physiologiques (1, 2). Ceci a notamment été montré par Farhi et Linnarsson (46) qui ont observé des variations très importantes de la FC en modulant les profondeurs d'IEF à température d'eau constante. Ces spécificités pourraient expliquer pour une part les différents résultats observés dans les études s'intéressants aux effets de l'IEF sur la performance physique.

La présente étude a trois limites méthodologiques. La 1^{ère} concerne l'absence de familiarisation des athlètes avec les épreuves demandées, comme cela a été réalisé par exemple dans l'étude d'Ingram et al. (21). La 2^{ème} concerne l'évaluation de la fonction musculaire par la technique du «testing-musculaire». Il était souhaitable

d'utiliser, comme dans d'autres études (13, 18, 45, 47, 48), des techniques plus objectives tels que l'utilisation d'un dynamomètre ou d'un appareil d'isocynisme. La 3^{ème} limitation concerne la non-évaluation objective du régime alimentaire des athlètes durant la période de l'étude. Ce régime pourrait influencer la performance physique (58).

Discussion des résultats

Comparativement aux données de la «période₁» (temps de course, FC mesurées avant et à la fin de la course, Oxy-sat mesurée à la fin de la course, force musculaire), celles de la «période₂» ont été améliorées dans le groupe IEF et ont été altérées dans le groupe non-IEF. De surplus, alors que dans le groupe IEF, le pourcentage de désaturateurs lors de l'exercice a diminué, dans le groupe non-IEF, les pourcentages ont resté similaires. Donc, il semble que l'IEF a amélioré significativement la performance aérobie et la force musculaire des footballeurs.

Plusieurs auteurs se sont attachés à observer les effets de l'IEF sur la restauration de nombreux indicateurs de la performance, caractérisant à la fois les filières énergétiques aérobie et/ou anaérobie, mais aussi les différentes modalités de contraction musculaire (13-46). La majorité de ces études a testé différents types d'interventions (IEF seule, alternance IEF/IEC, cryothérapie) sur la capacité de production de force généralement en relation avec les concentrations sanguines enzymatiques musculaires (13-46). Les résultats de ces études sont controversés.

Comme la présente étude, d'autres travaux (13, 21, 40) ont mis en évidence un effet positif de l'IEF sur la récupération des capacités de production de force (Tableau 3). Ainsi, Bailey et al. (13) ont montré une diminution de la perte de force isométrique de la flexion du genou après utilisation de l'IEF. Peiffer et al. (40) ont noté une diminution de la perte de force après récupération par immersion (5 min à 14 °C) après un exercice de 90 min de cyclisme suivi d'un contre-la-montre de 16,1 Km. Ingram et al. (21) ont mis en évidence une diminution de la perte de force isométrique, à la fois des extenseurs et fléchisseurs du genou, après des exercices simulant un sport d'équipe suivis d'une immersion (deux fois cinq min à 10 °C). Les hypothèses explicatives s'appuient sur une réduction de l'œdème musculaire associée à une diminution de la réponse inflammatoire mais non liées à la température de l'eau ou à la durée d'exposition au froid (1, 2). Plusieurs autres études (13, 17, 31, 35, 39, 42) ont observé que l'IEF n'atténue pas la perte de force après un exercice fatigant. Ainsi, Howatson et al. (31) ont montré que 96-h après l'exercice, les groupes non-IEF et IEF sont respectivement capables de ne reproduire que 96 et 93% de leur capacité initiale de production de force isométrique des extenseurs du genou. De la même façon,

Bailey et al. (13) ont observé que la récupération de la force maximale volontaire isométrique des extenseurs du genou n'a pas été affectée par la modalité de récupération employée après un exercice de 90 min suivi d'IEF (10 min à 10 °C). Les hypothèses explicatives de l'absence de résultats positifs seraient liées, d'une part à l'incapacité à contenir la réponse inflammatoire et, d'autre part à la diminution de la conduction nerveuse par le froid (1, 2). Ceci empêcherait pendant un temps l'athlète de produire une puissance maximale (42) et une force maximale volontaire ou stimulée (17). En effet, certaines études ont montré qu'il existe une corrélation entre la diminution de la température du muscle et le signal électromyographie (35). Enfin, une étude sur les réflexes concluait que le froid induit une diminution de la performance via une augmentation de l'excitabilité du pool de motoneurons (37).

Au meilleur de notre connaissance, aucune étude n'a analysé les effets de l'IEF sur l'Oxy-sat mesurée avant ou après un exercice musculaire aérobie. En effet, une recherche «PubMed» réalisée le 6.4.2017 en utilisant les deux mots clés suivants «oxy-hémoglobine saturation» et «cold water immersion» ne trouve aucun article. L'étude de l'évolution de l'Oxy-sat lors d'un exercice musculaire à charge croissante, tel que la course de 1000-m, est très intéressante pour évaluer les capacités fonctionnelles et diagnostiquer une hypoxémie induite par l'exercice (59, 60). Il «semble» que l'IEF protège contre une éventuelle désaturation et permet donc des échanges respiratoires normaux en fin d'exercice (Tableau 2).

Quelques travaux (13, 19, 30, 33, 40) se sont intéressés aux effets de l'IEF, comme méthode de récupération, sur la reproduction d'une performance d'une durée supérieure à une minute. Seuls quelques auteurs (19, 40) ont tenté de mesurer les effets d'une récupération par immersion sur la répétition d'un contre-la-montre sur bicyclette de 4 Km (40) et de 9 min (19). Peiffer et al. (40) ont observé une moindre diminution de la puissance de sortie moyenne pour le groupe IEF par rapport au groupe non-IEF induisant pour le 1^{er} groupe une meilleure performance. Dans l'étude de Peiffer et al. (40), les évolutions des temps de la course de 4 Km entre la «période₁» et la «période₂» sont similaires à celles rapportées dans la présente étude (Figure 1). En effet, dans l'étude de Peiffer et al. (40), les temps de course (en min) avant et après l'intervention ont passé de 18,5±1,3 à 18,2±1,1 dans le groupe IEF et de 18,0±0,7 à 18,9±1,1 dans le groupe non-IEF. Vaile et al. (20) ont montré que la performance peut être maintenue grâce à la récupération par IEF. Les hypothèses explicatives classiquement avancées ont été la diminution de la perception de la douleur et/ou de la fatigue (1, 2). Ainsi, l'IEF permettrait de réduire, via une vasoconstriction, la perméabilité des vaisseaux aux cellules immunitaires, diminuant ainsi l'œdème et le processus inflammatoire, ce qui réduirait la perception de la douleur (13). Par ailleurs, une diminution

de l'activité nerveuse aurait un impact positif car elle permettrait la diminution significative de la perception de fatigue après immersion (33) et, de ce fait, augmenterait la capacité des sujets à maintenir un effet plus longtemps ou à parcourir une distance plus rapidement. Enfin, Heyman et al. (30) ont mis en évidence que 15 min d'IEF (3 x 5 min) ont permis de préserver les performances liées à des parcours d'escalade pour une population féminine. Il est acquis que le maintien de la température centrale a un coût métabolique plus grand car il accroît la fréquence respiratoire et la consommation d'oxygène (1, 2). De plus, les vasoconstrictions associées à une diminution de la FC peuvent s'avérer délétères, voire dangereuses pour la santé (1, 2). Egalement, il a été noté que la médiation de la FC par les β -adrénergiques est diminuée après traitement par le froid (34). La présente étude confirme ces données en montrant, chez le groupe IEF, une plus basse FC de repos ou de fin de course durant la «période» comparativement à la «période» (Tableau 2).

La présente étude a montré des effets bénéfiques de l'IEF, réalisée après 20 min de récupération passive. Ceci contredit l'idée que cette technique de récupération ne semble pas apporter de bénéfices lorsqu'elle est appliquée plus de 20 min après l'exercice ou entre des séries de sprints courts (1, 2, 22).

REFERENCES

1. Hausswirth C, Bieuzen F, Barbiche E, Brisswalter J. Réponses physiologiques liées à une immersion en eau froide et à une cryostimulation-cryothérapie en corps entier: effets sur la récupération après un exercice musculaire. *Sci Sport* 2010;25(3):121-31.
2. Hausswirth C, Bieuzen F, Brisswalter J. Réponses physiologiques liées à une immersion en eau froide et à une cryostimulation-cryothérapie en corps entier: effets sur la récupération après un exercice musculaire. *Kinésithér Scient* 2013;539:13-40.
3. Brummitt J. The role of massage in sports performance and rehabilitation: current evidence and future direction. *N Am J Sports Phys Ther* 2008;3(1):7-21.
4. Barata P, Cervaens M, Resende R, Camacho O, Marques F. Hyperbaric oxygen effects on sports injuries. *Ther Adv Musculoskelet Dis* 2011;3(2):111-21.
5. Bieuzen F, Pournot H, Roulland R, Hausswirth C. Recovery after high-intensity intermittent exercise in elite soccer players using VEINPLUS sport technology for blood-flow stimulation. *J Athl Train* 2012;47(5):498-506.
6. Malone JK, Blake C, Caulfield BM. Neuromuscular electrical stimulation during recovery from exercise: a systematic review. *J Strength Cond Res* 2014;28(9):2478-2506.
7. Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Melegati G. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med* 2010;40(6):509-17.
8. Clarke DH. Effect of immersion in hot and cold water upon recovery of muscular strength following fatiguing isometric exercise. *Arch Phys Med Rehabil* 1963;44:565-8.
9. Wilcock IM, Cronin JB, Hing WA. Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Med* 2006;36(9):747-65.
10. Cronin NJ, Valtonen AM, Waller B, Poyhonen T, Avela J. Effects of short

Quels sont les mécanismes physiopathologiques impliqués?

La récupération par IEF s'appuie sur deux mécanismes: les effets du froid et de la pression hydrostatique (1, 2). Le 1^{er}, lié à la température de l'eau (habituellement située entre 4 et 16 °C (18, 20, 45, 50)), permettrait de réduire la température centrale, d'engendrer une vasoconstriction locale, d'altérer la transmission nerveuse, ou de minimiser la réponse inflammatoire (1, 2). Le 2nd mécanisme est induit par l'utilisation de l'eau qui permettrait de joindre au froid les effets de la pression hydrostatique sur les parties du corps immergées (1, 2). La pression de l'eau exerce une pression supérieure à celle de l'air sur le corps, provoquant un mouvement des gaz, substances et fluides (1, 2). Cette qualité permettrait particulièrement de diminuer la taille de l'œdème causé par l'exercice, mais pareillement de réduire l'influx nerveux par compression des muscles et des nerfs (1, 2).

En conclusion, la présente étude réalisée sur des jeunes footballeurs montre des effets bénéfiques de l'IEF réalisée à 11-12 °C pendant 10 min, sur les paramètres musculaires et de la performance aérobie.

- term water immersion on peripheral reflex excitability in hemiplegic and healthy individuals: A preliminary study. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2016;16(1):58-62.
11. Horikoshi M, Inokuma S, Kijima Y, Kobuna M, Miura Y, Okada R, et al. Thermal disparity between fingers after cold-water immersion of hands: a useful indicator of disturbed peripheral circulation in Raynaud phenomenon patients. *Intern Med* 2016;55(5):461-6.
12. Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med* 2003;33(2):145-64.
13. Bailey DM, Erith SJ, Griffin PJ, Dowson A, Brewer DS, Gant N, et al. Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *J Sports Sci* 2007;25(11):1163-70.
14. Eston R, Peters D. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci* 1999;17(3):231-8.
15. Goodall S, Howatson G. The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *J Sports Sci Med* 2008;7(2):235-41.
16. Jakeman JR, Macrae R, Eston R. A single 10-min bout of cold-water immersion therapy after strenuous plyometric exercise has no beneficial effect on recovery from the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Ergonomics* 2009;52(4):456-60.
17. 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* 2009;12(1):91-6.
18. Sellwood KL, Brukner P, Williams D, Nicol A, Hinman R. Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med* 2007;41(6):392-7.
19. Vaile J, Halson S, Gill N, Dawson B. Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Eur J Appl Physiol* 2008;102(4):447-55.

20. Vaile JM, Gill ND, Blazeovich AJ. The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res* 2007;21(3):697-702.
21. 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* 2009;12(3):417-21.
22. Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L. Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. *Eur J Appl Physiol* 2004;93(1-2):224-30.
23. Brancaccio P, Maffulli N, Buonauro R, Limongelli FM. Serum enzyme monitoring in sports medicine. *Clin Sports Med* 2008;27(1):1-18.
24. Cochrane DJ. Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Phys Ther Spor* 2004;5(1):26-32.
25. 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* 2004;7(1):1-10.
26. Crowe MJ, O'Connor D, Rudd D. Cold water recovery reduces anaerobic performance. *Int J Sports Med* 2007;28(12):994-8.
27. French DN, Thompson KG, Garland SW, Barnes CA, Portas MD, Hood PE, et al. The effects of contrast bathing and compression therapy on muscular performance. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40(7):1297-1306.
28. Gill ND, Beaven CM, Cook C. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med* 2006;40(3):260-3.
29. Halson SL, Quod MJ, Martin DT, Gardner AS, Ebert TR, Laursen PB. Physiological responses to cold water immersion following cycling in the heat. *Int J Sports Physiol Perform* 2008;3(3):331-46.
30. Heyman E, B DEG, Mertens I, Meeusen R. Effects of four recovery methods on repeated maximal rock climbing performance. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(6):1303-10.
31. Howatson G, Goodall S, van Someren KA. The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. *Eur J Appl Physiol* 2009;105(4):615-21.
32. Howatson G, Van Someren KA. Ice massage. Effects on exercise-induced muscle damage. *J Sports Med Phys Fitness* 2003;43(4):500-5.
33. Howatson G, van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Med* 2008;38(6):483-503.
34. Jansky L, Vybiral S, Trubacova M, Okrouhlik J. Modulation of adrenergic receptors and adrenergic functions in cold adapted humans. *Eur J Appl Physiol* 2008;104(2):131-5.
35. Kinugasa T, Kilding AE. A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. *J Strength Cond Res* 2009;23(5):1402-7.
36. Montgomery PG, Pyne DB, Cox AJ, Hopkins WG, Minahan CL, Hunt PH. Muscle damage, inflammation, and recovery interventions during a 3-day basketball tournament. *Eur J Sport Sci* 2008;8(5):241-50.
37. Montgomery PG, Pyne DB, Hopkins WG, Dorman JC, Cook K, Minahan CL. The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *J Sports Sci* 2008;26(11):1135-45.
38. Morton RH. Contrast water immersion hastens plasma lactate decrease after intense anaerobic exercise. *J Sci Med Sport* 2007;10(6):467-70.
39. 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* 2000;71(2):156-61.
40. Peiffer JJ, Abbiss CR, Watson G, Nosaka K, Laursen PB. Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat. *Br J Sports Med* 2010;44(6):461-5.
41. Rowsell 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* 2009;27(6):565-73.
42. Rutkove SB. Effects of temperature on neuromuscular electrophysiology. *Muscle Nerve* 2001;24(7):867-82.
43. Schniepp J, Campbell TS, Powell KL, Pincivero DM. The effects of cold-water immersion on power output and heart rate in elite cyclists. *J Strength Cond Res* 2002;16(4):561-6.
44. Warren GL, Lowe DA, Armstrong RB. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med* 1999;27(1):43-59.
45. Burke DG, MacNeil SA, Holt LE, MacKinnon NC, Rasmussen RL. The effect of hot or cold water immersion on isometric strength training. *J Strength Cond Res* 2000;14(1):21-5.
46. Farhi LE, Linnarsson D. Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35 degrees C. *Respir Physiol* 1977;30(1-2):35-50.
47. Dawson B, Cow S, Modra S, Bishop D, Stewart G. Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours. *J Sci Med Sport* 2005;8(2):210-21.
48. Isabell WK, Durrant E, Myrer W, Anderson S. The effects of ice massage, ice massage with exercise, and exercise on the prevention and treatment of delayed onset muscle soreness. *J Athl Train* 1992;27(3):208-17.
49. Kuligowski LA, Lephart SM, Giannantonio FP, Blanc RO. Effect of whirlpool therapy on the signs and symptoms of delayed-onset muscle soreness. *J Athl Train* 1998;33(3):222-8.
50. Lane KN, Wenger HA. Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *J Strength Cond Res* 2004;18(4):855-60.
51. Paddon-Jones DJ, Quigley BM. Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. *Int J Sports Med* 1997;18(8):588-93.
52. Yamane M, Teruya H, Nakano M, Ogai R, Ohnishi N, Kosaka M. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur J Appl Physiol* 2006;96(5):572-80.
53. Kang M, Ragan BG, Park JH. Issues in outcomes research: an overview of randomization techniques for clinical trials. *J Athl Train* 2008;43(2):215-21.
54. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 2001;37(1):153-6.
55. No author listed. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;167(2):211-77.
56. van der Ploeg RJ, Oosterhuis HJ, Reuvekamp J. Measuring muscle strength. *J Neurol* 1984;231(4):200-3.
57. Jencek M, Cleroux R, editors. *Épidémiologie: Principes techniques. Applications.* Paris: Edisem inc., Maloigne Paris, 1982.
58. Hamrani A, Mehdad S, El Kari K, El Hamdouchi A, El Menchawy I, Belghiti H, et al. Physical activity and dietary habits among Moroccan adolescents. *Public Health Nut* 2015;18(10):1793-1800.
59. Caillaud CF, Anselme FM, Prefaut CG. Effects of two successive maximal exercise tests on pulmonary gas exchange in athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;74(1-2):141-7.
60. Connes P, Bouix D, Durand F, Kippelen P, Mercier J, Prefaut C, et al. Is hemoglobin desaturation related to blood viscosity in athletes during exercise? *Int J Sports Med* 2004;25(8):569-74.