



Disponible en ligne sur
ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com



REVUE GÉNÉRALE/MÉTA-ANALYSE

Stratégies d'aide à la thermorégulation chez les athlètes blessés médullaires



Strategies to aid thermoregulation in spinal cord injured athletes

J. Ramaekers^{a,*}, J.-F. Kaux^{a,b,c}, S. Xhouret^d, F. Delvaux^{a,b,c}

^a Département des sciences de la motricité, université de Liège, Liège, Belgique

^b Service de médecine physique, réadaptation et traumatologie du sport, Liège, Belgique

^c Centre médical d'excellence de la FIFA, Réseau francophone olympique de recherche en médecine du sport, centre de médecine du sport de la FIMS, CHU et université de Liège, Liège, Belgique

^d Ligue handisport francophone, Liège, Belgique

Reçu le 3 avril 2023 ; accepté le 11 août 2023

Disponible sur Internet le 10 août 2024

MOTS CLÉS

Thermorégulation ;
Lésion de la moelle épinière ;
Personne en situation de handicap ;
Sports

Résumé

Objectifs. — Lors de l'activité physique, les sportifs atteints d'une lésion de la moelle épinière doivent faire face à des problèmes de thermorégulation. En fonction des conditions climatiques et du niveau de la lésion médullaire, les répercussions sur la température corporelle sont différentes. Cette étude a pour objectif d'obtenir une vue d'ensemble sur les techniques de refroidissement et de réchauffement mise en place par les paraplégiques et les tétraplégiques lors de la pratique d'une activité physique.

Méthodologie. — Utilisation de la méthode PICO (participants, intervention/exposition, comparaison, outcomes) afin de mettre en évidence les termes à utiliser pour la recherche des articles scientifiques.

Résultats. — Lors d'une activité physique en ambiance chaude, différentes techniques de refroidissement ont été mises en évidence : vestes de refroidissement, pulvérisation d'eau sur le corps, ingestion de substances froides, refroidissement des mains et des pieds ou combinaison de plusieurs de ces techniques. Toutes ces techniques permettent de freiner l'augmentation de la température centrale comparée à un groupe contrôle. En ambiance froide, les sportifs tentent de se réchauffer à l'aide de vêtements chauds ou par la mise en place de stratégies efficaces pour maintenir leur température centrale entre la période de l'échauffement et la compétition.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : ramaekers.justine@gmail.com (J. Ramaekers).

KEYWORDS

Thermoregulation;
Spinal cord injuries;
Disabled persons;
Sport

Conclusion. — En ce qui concerne le sport en ambiance chaude, il existe différentes stratégies de refroidissement qui sont utilisées. Cependant, il y a un manque de preuves quant à la plus efficace. Pour le sport en ambiance froide, il n'y a que très peu d'études qui traitent de ce sujet. Des recherches doivent encore être réalisées afin de pouvoir objectiver quelles sont les meilleures techniques pour se réchauffer.

© 2024 Elsevier Masson SAS. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, et similar technologies.

Summary

Aims. — During physical activity, athletes with a spinal cord injury have to face thermoregulation problems due to an alteration of their nervous system. The repercussion of the core body temperature depends on the climate. The aim of this review was to obtain an overview of the cooling and warming techniques used by paraplegics and tetraplegics when practicing a physical activity.

Methods. — We used the PICO (participants, intervention/exposition, comparison, outcomes) method to highlight the terms we need for the search of scientific articles.

Results. — During a physical activity in a hot environment, different cooling techniques have been demonstrated: cooling jackets, spraying water on the body, ingestion of cold substances, cooling of hands and feet or a combination of several of these techniques. All of these techniques have been shown to slow down the increase in core temperature compared to a control group. In a cold environment, athletes try to warm-up with warm clothes or by implementing effective strategies to maintain their core temperature between the warm-up period and the competition.

Conclusion. — Regarding sports in hot environments, there are different cooling strategies that are used. However, there is a lack of evidence as to which is most effective. For sport in a cold environment, there are very few studies that deal with this subject. Research is still needed to establish which techniques are the best to warm-up.

© 2024 Elsevier Masson SAS. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

1. Introduction

La pratique d'une activité physique ou sportive est de plus en plus utilisée lors de la rééducation des patients suite à une lésion de la moelle épinière (LME). Ces dernières années, on constate une augmentation du taux de participation à des événements sportifs qui étaient auparavant réservés aux sportifs valides [1]. Les conditions environnementales de ces activités doivent être prises en compte car les personnes atteintes d'une LME présentent souvent des problèmes de thermorégulation [2–4]. En effet, suite à la LME, les afférences qui proviennent d'un niveau inférieur à celui de la lésion et qui atteignent le centre thermorégulateur, c'est-à-dire l'hypothalamus, sont réduites. Cela conduit à une diminution des efférences provoquant ainsi une perturbation de la vasodilatation cutanée et un dysfonctionnement des glandes sudoripares. Plus le niveau de la lésion est haut, plus l'altération de la thermorégulation est importante [5]. Des recherches récentes ont permis de préciser que ces athlètes paraplégiques présentant une lésion de niveau bas à moyen, c'est-à-dire sous la sixième vertèbre thoracique (T6) sont capables de réguler leur température de façon comparable aux valides [6]. En fonction de la saison, le corps répond de manière différente face aux changements de la température. Lors d'une exposition au froid, les tétraplégiques sont limités dans leurs réponses. En effet, les frissons sont retardés voire limités, ce qui ne permet pas

d'augmenter la thermogénèse endogène. Le même constat se fait chez les paraplégiques avec une lésion supérieure à T6. Leur température centrale avoisine 35,5 °C à 36,5 °C et est donc inférieure à la normale [6,7]. Lors d'une exposition à la chaleur au repos, les personnes présentant une LME inférieure à T6 ont les mêmes capacités que les valides en termes de régulation de leur température. Ils présentent une température centrale stable mais toutefois légèrement supérieure à celle des valides. Cela s'explique par l'absence de sudation et de redistribution du sang en dessous du niveau de la lésion. L'altération de la thermorégulation étant proportionnelle au niveau de la lésion, la température centrale sera d'autant plus haute que la lésion l'est également [8].

Mais que se passe-t-il dans ces mêmes conditions climatiques lors de la pratique d'une activité physique ?

L'objectif de cette revue narrative de littérature consiste à réaliser un état des lieux des processus de thermorégulation ainsi que des stratégies utilisées pour optimiser celle-ci chez les athlètes paraplégiques et tétraplégiques lors de la pratique d'une activité physique en ambiance chaude ou en ambiance froide.

2. Matériel et méthode

La méthode PICO (Tableau 1) a été choisie afin de mettre en évidence les critères d'inclusion et d'exclusion pour la sélection des articles.

Tableau 1 Éléments du PICO.

Éléments du PICO	Détails
Participants	Athlètes présentant une lésion de la moelle épinière qui pratiquent un sport en chaise roulante
Intervention/exposition	Sport dans des conditions chaudes et froides
Comparaison	Sportifs sains versus para-/tétraplégiques, paraplégiques versus tétraplégiques, refroidissement versus pas de refroidissement, réchauffement versus absence de réchauffement
Outcomes	Thermorégulation, performances

Les études qui ont été retenues sont celles qui font référence à des sportifs atteints d'une LME qui pratiquaient un sport dans une ambiance chaude ou froide, qui abordent des problèmes de thermorégulation et de techniques de refroidissement ou des résultats sur les performances suite à l'utilisation d'une de ces techniques. Tous les articles qui ont été choisis sont en langue anglaise, sans aucune restriction sur les années de publication. À l'inverse, les articles que nous avons exclus sont ceux qui n'abordaient pas les problèmes de thermorégulation ou étaient d'une autre langue que l'anglais. Une recherche non exhaustive d'articles scientifiques a été effectuée à l'aide des moteurs de recherche SportDiscus et PubMed. La recherche finale a été réalisée au mois d'avril 2022. Afin de savoir si les articles étaient éligibles, nous avons lu dans un premier temps les titres et les résumés et dans un second temps, le texte en entier si celui-ci abordait effectivement la thématique recherchée. Grâce à cette stratégie, nous avons pu en sélectionner 8 sur la première base de données et une dizaine sur la deuxième. Les bibliographies des articles retenus ont aussi été lues afin de compléter les informations de cette revue narrative.

3. Activité physique en ambiance chaude

3.1. Variation de température chez les sportifs atteints d'une LME

Parmi tous les articles que nous avons retenus, six analysaient les changements de température lors d'un exercice physique en condition chaude [1,6,9–12]. Les exercices ont été réalisés sur des ergomètres à bras ou sur des chaises roulantes de sport (rugby). Toutes les études sauf une [12] comportaient un exercice continu qui pouvait durer de 30 à 90 minutes. Quatre des six études proposaient une période d'acclimatation avant l'exercice.

Celle-ci variait de 10 à 30 minutes.

Parmi les six études retenues, deux d'entre elles [10,11] ont observé une augmentation de la température rectale chez les paraplégiques. Deux autres [6,11] ont mis en

évidence une augmentation de la température auriculaire durant un test de respectivement 90 et 30 minutes. Dans la première étude [6], au repos, la température auriculaire était de $36,2^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ et a augmenté de $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ après l'exercice alors que dans la deuxième étude, la température auriculaire finale avoisinait $40,3^{\circ}\text{C}$ (température initiale = $37,6^{\circ}\text{C}$) [11]. Cette différence s'explique par l'hétérogénéité des populations étudiées (paraplégiques pour la première et tétraplégiques pour la deuxième) et par la durée inégale de l'exercice.

Deux autres études hors des six de départ ont mis en évidence une augmentation de la température moyenne de la peau. La première a démontré que, lors d'un match de rugby en chaise roulante, la température moyenne de la peau augmentait à la fin du deuxième quart temps chez les sportifs atteints d'une LME alors qu'elle diminuait dans le groupe contrôle [9]. La deuxième étude a quant à elle observé une augmentation constante de ce paramètre lors des 30 dernières minutes sur les 60 au total [1].

Dans la dernière étude, les températures centrale et cutanée ont été mesurées durant 3×10 minutes (chacune de ces 10 minutes correspondant respectivement à exercice 1, exercice 2 et exercice 3) [12]. Il a tout d'abord été mis en évidence que la température centrale était plus élevée dans le groupe des tétraplégiques que dans le groupe des valides à la fin de l'exercice 3 (au début : $36,14^{\circ}\text{C} \pm 0,37^{\circ}\text{C}$; à la fin : $38,02^{\circ}\text{C} \pm 0,49^{\circ}\text{C}$). Cette même température était significativement plus importante chez les paraplégiques avec une lésion haute ($T1-T5$; $37,71^{\circ}\text{C} \pm 0,73^{\circ}\text{C}$) que pour les paraplégiques avec une lésion basse ($T6-L1$; $37,17^{\circ}\text{C} \pm 0,27^{\circ}\text{C}$). À la fin de l'exercice 3, chez les tétraplégiques, de plus grandes valeurs de la température de la peau au niveau de la poitrine et des épaules ont été mesurées par rapport aux valides (tétra : $36,72^{\circ}\text{C} \pm 0,82^{\circ}\text{C}$; $37,38^{\circ}\text{C} \pm 0,57^{\circ}\text{C}$ et valides : $35,29^{\circ}\text{C} \pm 0,23^{\circ}\text{C}$; $35,76^{\circ}\text{C} \pm 0,29^{\circ}\text{C}$).

Tous s'accordent à dire que le niveau de la lésion joue un rôle prépondérant dans la thermorégulation [4,12–14]. Une observation générale semble avoir été trouvée : tous les sportifs présentant des lésions plus basses que la sixième vertèbre thoracique présentent de meilleures capacités à réguler leur température quelles que soient les conditions climatiques. Il est aussi bien établi qu'au-dessus de $T6$, le sportif rencontre d'autant plus de difficultés à réguler sa température que la lésion est haute [9,10]. En conditions chaudes, ils ont moins voire plus du tout la possibilité de transpirer ou de redistribuer le sang vers la périphérie pour favoriser la thermolyse et en conditions froides, il est difficile pour eux de frissonner afin de se réchauffer [1,2,7,11,15]. Dans cette recherche, nous avons constaté des augmentations de température qui allaient dans ce sens. Les températures auriculaire, de l'œsophage et cutanée étaient plus importantes chez les tétraplégiques et les paraplégiques avec une lésion haute lors d'un exercice en ambiance chaude alors que la température cutanée était plus importante chez les paraplégiques avec une lésion basse en ambiance froide [11,12,16]. Même s'il est logique d'obtenir ces résultats au vu des connaissances actuelles, aucune conclusion ne peut réellement être tirée car toutes ces études sauf une [9] se sont déroulées sur des ergocycles à manivelles et sont donc très éloignées des conditions d'entraînement et de compétition. De futures études doivent être réalisées en incluant des protocoles

plus conformes à la pratique de terrain ainsi que des études combinant les mesures de la température cutanée moyenne et de la température corporelle.

3.2. Stratégies de refroidissement

Parmi les articles retenus ayant étudié les variations de température corporelle lors d'une activité physique en ambiance chaude, différentes stratégies de refroidissement ont été décrites. Afin de faciliter la comparaison entre ces différentes stratégies, ces dernières sont rassemblées dans le [Tableau 2](#) qui reprend également le nom du premier auteur, la population étudiée, le type d'effort demandé aux sujets, les variables étudiées ainsi qu'un résumé des résultats.

3.2.1. Veste de refroidissement

Plusieurs scientifiques ont étudié l'effet d'une veste de refroidissement dans des conditions tempérées à chaudes. Les résultats sont mitigés. Dans un environnement de 30 à 34 °C, il a été démontré que cette veste permet d'améliorer les performances de 4,8 % [\[13\]](#). Une augmentation plus faible de la température de la peau en utilisant la veste avant ou pendant l'exercice a été démontrée chez des paraplégiques [\[17\]](#). Une autre étude a mis en évidence une diminution de la température centrale lors du port de la veste chez des tétraplégiques [\[13\]](#). Les deux auteurs précédents ont aussi rapporté que l'utilisation d'une veste de refroidissement diminuait les sensations thermiques durant l'exercice [\[13,17\]](#). Cette sensation, bien que subjective, a été évaluée avec l'échelle de perception de l'effort de Borg. On rapporte par ailleurs que la température centrale du groupe contrôle était plus élevée ($37,3^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$) par rapport aux groupes qui utilisaient la veste comme technique de pré-refroidissement ou durant l'exercice (respectivement de $36,5^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ et $37,0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$) [\[18\]](#).

Toutes les recherches n'ont toutefois pas donné des résultats semblables. L'une d'elles n'a pas montré d'effet significatif sur la température corporelle moyenne lors de l'utilisation de cette veste [\[15\]](#). Une autre a étudié 5 conditions différentes chez un tétraplégique, un paraplégique et un valide (ambiance fraîche, ambiance chaude sans technique de refroidissement, ambiance chaude avec un gilet de refroidissement, ambiance chaude avec ingestion de substance froide et ambiance chaude avec pulvérisation d'eau) [\[2\]](#). Il s'est avéré que la condition en ambiance chaude avec une veste de refroidissement était la moins efficace de toutes.

Ce qui en est ressorti de l'analyse de cette stratégie de refroidissement était qu'elle était efficace même si cela n'a pu être démontré par tous [\[15\]](#). La différence de résultat peut s'expliquer d'abord par le choix de la veste de refroidissement utilisée dans les études. En effet, elles ont toutes choisi un modèle différent. D'un côté [\[2,16\]](#), on a opté pour un gilet de refroidissement alors que de l'autre [\[15,18\]](#), on a utilisé un gilet de glace. Ensuite, la surface corporelle que couvrent ces gilets peut être différente. Enfin, les gilets de glace peuvent entraîner une vasoconstriction cutanée générant une moindre perte de chaleur.

Malgré un manque de preuves sur le modèle de veste le plus efficace, cette technique est fortement utilisée dans le

monde du sport. Certains ont d'ailleurs pu démontrer que grâce au gilet de glace, les capacités des athlètes à répéter des sprints à haute intensité sur un vélo ergomètre à manivelles pour le haut du corps étaient améliorées [\[18\]](#).

3.2.2. Jets d'eau

D'après certains chercheurs qui ont travaillé avec des sujets valides, il est nécessaire de disposer d'une surface corporelle de minimum 40 % àasperger si on veut diminuer la température centrale [\[19\]](#). Selon d'autres, pulvériser le visage améliore les sensations thermiques [\[20\]](#). Il faut donc rester prudent, car si le confort est amélioré mais que la température centrale ne change pas, les athlètes peuvent ignorer les signes de contrainte thermique de niveau élevé et se trouver exposés à un risque accru d'hyperthermie.

L'utilisation d'un jet d'eau à 17 °C pendant un protocole de manivelles à bras chez des tétraplégiques n'a montré aucun effet sur la température rectale, la température œsophagiennes et la température moyenne de la peau [\[21\]](#). Une analyse a mis en évidence que l'augmentation de la température centrale peut être significativement décélérée chez les tétraplégiques mais pas chez les paraplégiques [\[2\]](#). De l'eau a été aspergée sur les zones de peau qui étaient exposées et on a constaté une meilleure efficacité pour maintenir la température centrale pendant l'exercice en ambiance chaude. Les plus grands bénéfices ont été recueillis chez les tétraplégiques qui présentent une diminution de la sudation comme mentionné plus haut.

La pulvérisation d'eau pour se rafraîchir durant les périodes de repos est courante chez les sportifs en fauteuil roulant [\[4\]](#). Ce concept permet d'imiter partiellement le phénomène de transpiration qu'on retrouve chez les valides mais aussi d'augmenter les transferts de chaleur par convection. L'augmentation moindre de la température centrale chez les tétraplégiques par rapport aux paraplégiques peut s'expliquer par le fait que certaines zones du corps qui ont été pulvérisées chez les paraplégiques ont toujours la capacité de transpirer [\[2\]](#). L'utilisation de cette technique sur ces zones est moins efficace que lorsqu'elle est utilisée sur des zones qui n'ont plus cette capacité de transpirer.

3.2.3. Ingestion de substances froides

À notre connaissance, seule une étude s'est intéressée à l'effet de l'ingestion d'une substance froide (glace pilée) lors d'une activité physique [\[2\]](#). D'après son étude, l'ingestion de glace pilée a montré des bénéfices sur le refroidissement en condition chaude chez les sportifs avec une LME [\[2\]](#). Il a observé une augmentation significativement plus petite de la température centrale lorsqu'on prend de la glace pilée pendant un exercice (0,3 °C contre 1,0 °C respectivement lors de l'ingestion du froid et lors de la condition contrôle).

Chez les sportifs valides, il est bien établi que l'ingestion de fluides froids ou de glace pilée avant et pendant un effort d'endurance permet d'abaisser la température centrale et d'améliorer les performances [\[22,23\]](#). En revanche, une seule étude a analysé cette technique de refroidissement chez les sportifs en situation de handicap. Cette technique semble être efficace mais reste tout de même peu étudiée pour en tirer des conclusions solides. En 2018, il a été mis en évidence que l'ingestion de coulis de glace

Tableau 2 Récapitulatif des stratégies de refroidissement utilisées lors d'une activité physique en ambiance chaude.

Stratégie utilisée	Auteurs	Population étudiée	Type d'effort	Variable étudiée	Résultats
Veste de refroidissement	Trbovich (2019)	1 tétraplégique (score ASI : A), 1 paraplégique (score ASI : A), et 1 valide	Exercice dans une chaise roulante sur un tapis de course pendant 30 minutes	T° centrale (pilule télémétrique ingérée)	Augmentation chez les trois sujets puis retour à la T° centrale de base seulement chez le valide
	Griggs et al. (2017a)	8 tétraplégiques (C5/C6/C7)	Sprint intermittent pendant 60 minutes	Sensations thermiques Performances	Diminution Amélioration de 4,8 %
	Bonger et al. (2016)	10 paraplégiques (T4–T12 ; score ASI : A = 8, B = 2)	Exercice sous-maximal de manivelles à bras pendant 45 minutes	Sensations thermiques T° de la peau (capteurs sans fil positionné sur le corps)	Diminution Augmentation plus ($32,5^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$) faible comparé au groupe contrôle ($32,5^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$) ($33,1^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$)
	Webborn et al. (2008)	8 tétraplégiques (C5/C6–C6/C7, 2 ont une lésion incomplète)	Vélo ergomètre modifié (Monark, Ergomedic 620, Varberg, Suède) Sprint intermittent	T° centrale (pilule télémétrique ingérée + capteurs positionnés sur certaines parties du corps)	Diminution comparée au groupe contrôle (pré-refroidissement : $36,5^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$; pendant : $37^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$; contrôle : $37,3^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$)
	Amstrong et al. (1995)	1 tétraplégiques, 6 paraplégiques et 1 polio	Pousser un fauteuil de course sur rouleau pendant 30 minutes	T° corporelle moyenne (calcul réalisé à l'aide de la T° rectale et de la T° moyenne de la peau)	Pas d'amélioration
Jets d'eau	Trbovich (2019)	1 tétraplégique (score ASI : A), 1 paraplégique (score ASI : A), et 1 valide	Exercice dans une chaise roulante sur un tapis de course pendant 30 minutes	T° centrale (pilule télémétrique ingérée)	Augmentation décélérée chez tétraplégiques
	Pritchett et al. (2010)	7 blessés médullaires (C7–T11)	Manivelles à bras	T° rectale (via sonde rectale) T° œsophagiennes (via sonde œsophagiennes) T° peau (thermorécepteurs placés sur certaines parties du corps)	Aucun effet
Ingestion de substances froides	Trbovich (2019)	1 tétraplégique (score ASI : A), 1 paraplégique (score ASI : A) et 1 valide	Exercice dans une chaise roulante sur un tapis de course pendant 30 minutes	T° centrale (pilule télémétrique ingérée)	Augmentation plus faible de la T° centrale chez le tétraplégique et paraplégique ($0,3^{\circ}\text{C}$) comparé à une condition de contrôle (1°C)

Tableau 2 (Continued)

Stratégie utilisée	Auteurs	Population étudiée	Type d'effort	Variable étudiée	Résultats
Refroidissement mains/pieds	Goosey-Tolfrey et al. (2008)	2 tétraplégiques, 3 paraplégiques dont un avec une lésion incomplète, 1 spina bifida, 1 avec une lésion nerveuse, 1 avec des os fragiles et 7 valides	Ergomètre pour chaise roulante (Bromakin) ou un vélo ergomètre (Ergomedic, 814E, Varberg, Suède)	T° auriculaire (via thermistance placé dans le conduit auditif) Sensations thermiques	Diminution non significative de 0,4 °C Légère diminution
	Hagopian et al. (2004)	6 blessés médullaires (C5–T5)	Ergomètre à bras durant 45 minutes	T° tympanique (sonde de température dans l'oreille gauche)	Diminution de 0,6 °C
Combinaison des stratégies	Griggs et al. (2017a)	8 tétraplégiques (C5/C6/C7)	Sprint intermittent pendant 60 minutes	T° centrale (pilule télémétrique ingérée) T° peau	Augmentation plus faible (1,3 °C) comparé au groupe contrôle (1,9 °C)

chez les valides diminuait leur taux de sudation [24]. Par conséquent, il serait intéressant de continuer les recherches chez les personnes atteintes d'une LME puisqu'on sait qu'en fonction du niveau de la lésion, certaines d'entre elles n'ont plus la possibilité de transpirer. On pourrait ainsi préciser si les avantages du refroidissement ne seraient pas plus bénéfiques parmi cette population.

3.2.4. Refroidissement mains/pieds

Une recherche a démontré que l'immersion des mains dans de l'eau à 10 °C pendant 10 minutes entraînait une réduction de 0,4 °C de la température auriculaire mais que cette diminution était non significative [25]. Les auteurs ont aussi mis en évidence une légère diminution de la sensation thermique. Cependant, ils ont rapporté que les athlètes en fauteuil roulant ont ressenti un manque d'adhérence et des sensations d'engourdissement des mains indiquant que cette technique n'est peut-être pas la plus adaptée pour les sportifs en fauteuil roulant.

Une autre recherche a utilisé un dispositif de refroidissement pour les pieds [26]. Les sujets devaient utiliser un ergomètre à bras durant 45 minutes dans une pièce à 32 °C. La température tympanique a diminué de 0,6 °C grâce à cette technique.

Comme mentionné ci-dessus, le refroidissement des mains avait un effet positif sur la température auriculaire et sur les sensations thermiques rapportées par les sportifs [25]. Cependant, ils ne pouvaient pas être à 100 % de leur capacité suite à l'engourdissement de leurs mains provoqué par cette stratégie de refroidissement. Une alternative à cette technique serait d'essayer de refroidir les avant-bras afin de voir si les effets sont tout aussi bénéfiques.

Le refroidissement des pieds par immersion dans de l'eau s'est avéré efficace [26]. Toutefois, il faut rester prudent lors de l'utilisation de cette technique car les sportifs atteints d'une LME n'ont plus de sensibilité en dessous du niveau de leur lésion. Cela peut être dangereux s'ils restent

trop longtemps les pieds dans l'eau ou si celle-ci est trop froide : le risque d'hypothermie localisé est augmenté.

3.2.5. Combinaison de techniques

Un groupe de chercheurs a combiné la veste de refroidissement et le jet d'eau durant 60 minutes de répétition de sprints intermittents [13]. Cette stratégie a atténué de façon significative l'augmentation de la température centrale (1,3 °C contre 1,9 °C respectivement refroidissement et contrôle) ainsi que celle de la température moyenne de la peau chez les tétraplégiques. Sans le jet d'eau, son augmentation était plus importante.

Des chercheurs ont étudié l'effet de la combinaison de différentes techniques de refroidissement chez des sportifs valides : le pré-refroidissement par immersion du corps dans de l'eau froide combiné avec l'ingestion d'un coulis de glace, le refroidissement durant les pauses par pulvérisation d'eau sur le visage et un rinçage de bouche mentholé, la combinaison des techniques précédemment décrites et un groupe contrôle [27]. Il en est ressorti que les athlètes devaient donner la priorité aux techniques de refroidissement durant l'effort comme la pulvérisation d'eau sur le visage et le bain de bouche mentholé, cette combinaison rapportant de meilleurs résultats sur les sensations thermiques.

Une seule étude a analysé la combinaison de plusieurs techniques de refroidissement chez les sportifs atteints d'une LME [13]. L'exploration des techniques proposées chez les valides [27] serait une piste dans la suite des recherches.

4. Activité physique en ambiance froide

Parmi tous les articles que nous avons retenus, seuls deux d'entre eux cherchaient à questionner les changements de température lors d'un exercice physique en condition froide à fraîche allant de 10 °C à 15 °C [1,10]. Les exercices ont été réalisés sur des ergomètres à bras de type manivelles. Toutes

Tableau 3 Récapitulatif des stratégies de réchauffement utilisée lors d'une activité physique en ambiance froide.

Auteurs	Pistes de stratégies à utiliser
Fagher et al. (2022)	Porter des habits qui permettent de maintenir la température centrale Mettre en place des stratégies efficaces pour maintenir la température centrale entre la période de l'échauffement et la compétition Avoir un échauffement individualisé afin de surmonter les conditions environnementales surtout en début de course

les études proposaient un programme continu qui pouvait durer de 45 à 90 minutes.

La première étude a mis en évidence que la température cutanée du haut du corps a augmenté chez les paraplégiques avec une lésion de T6 à L1 ($31,5^{\circ}\text{C} \pm 1,12^{\circ}\text{C} \rightarrow 32,0^{\circ}\text{C} \pm 1,46^{\circ}\text{C}$) mais pas chez les paraplégiques avec une lésion de T1 à T5 ($31,7^{\circ}\text{C} \pm 0,92^{\circ}\text{C} \rightarrow 31,0^{\circ}\text{C} \pm 0,77^{\circ}\text{C}$) [10]. Cette étude a également mis en évidence que la température cutanée du bas du corps a diminué tout au long de l'exercice. Elle a aussi démontré que pendant les 45 minutes d'exercices, la température rectale augmentait chez les paraplégiques T6–L1 ($37,2^{\circ}\text{C} \pm 0,08^{\circ}\text{C} \rightarrow 37,4^{\circ}\text{C} \pm 0,19^{\circ}\text{C}$) mais pas chez les paraplégiques T1–T5 ($36,7^{\circ}\text{C} \pm 0,17^{\circ}\text{C} \rightarrow 36,8^{\circ}\text{C} \pm 0,31^{\circ}\text{C}$) [10]. En ce qui concerne la température rectale, la deuxième étude a enregistré dans les deux groupes (paraplégiques et valides) un changement significatif linéaire et quadratique présentant un plateau dans la réponse de cette température [1]. Cela indique qu'ils sont capables d'atteindre un état stable de la température centrale.

Aucune technique d'aide pour lutter contre le froid n'a été mise en évidence dans notre étude. Pourtant, des recommandations existent. Ainsi, des auteurs ont établi une liste de recommandations (Tableau 3) à court et long termes afin d'optimiser au mieux la préparation des athlètes pour les Jeux Paralympiques de Beijing [28]. Ils préconisent notamment de porter des habits qui permettent de maintenir la température centrale, de mettre en place des stratégies efficaces pour maintenir ce même paramètre entre la période de l'échauffement et la compétition ou d'avoir un échauffement individualisé afin de surmonter les conditions environnementales surtout en début de course. La réalisation de tests individuels qui évaluent la réaction thermique de chacun lors de différents types d'échauffements (statiques, dynamiques) permettrait d'adapter les protocoles d'échauffement en fonction de ces résultats. Ce sont des pistes à réfléchir mais qui doivent encore être approfondies afin de déterminer quel type de vêtements et quel genre de stratégie il conviendrait d'appliquer.

5. Limites et perspectives de cette revue

Cette étude comprend des limites. Tout d'abord, il ne s'agit pas d'une revue de la littérature systématique. Comme mentionné dans la méthodologie, nous avons effectué une

recherche non exhaustive des articles disponibles. Certains, peut-être pertinents, ont pu ne pas être inclus, ce qui peut biaiser nos résultats. Ensuite, très peu d'études traitaient du handisport en conditions froides et à notre connaissance, aucune ne précise les actions à mettre en place dans ce genre de climat. Les résultats de cette partie se révèlent d'une fiabilité moyenne. De plus, les approches de la température corporelle n'ont pas toutes la même sensibilité, et la température cutanée moyenne n'est pas une approche validée de la température corporelle. À partir de là il n'est pas simple de comparer les résultats des différentes études. Enfin, les températures ambiantes dans lesquelles les études ont été réalisées étaient fort changeantes de même que les protocoles d'exercices, ce qui peut amener à de mauvaises conclusions en raison d'une non-standardisation des différentes études.

Pour le futur, des études se rapprochant le plus possible des conditions réelles de l'environnement et du sport doivent être réalisées. Cela permettrait pour les sports d'intérieur par exemple, de chauffer les complexes sportifs à une température optimale tant en été qu'en hiver. D'autres études sur les techniques de refroidissement et de réchauffement doivent être aussi réalisées afin de mettre en évidence quelles techniques utiliser, à quel moment de l'entraînement ou de la compétition, pendant combien de temps...

6. Conclusion

Les problèmes de thermorégulation tant en ambiances chaude que froide chez les sportifs atteints d'une LME sont bien connus. En ce qui concerne le sport en ambiance chaude, certaines stratégies comme les gilets de refroidissement ou le jet d'eau ont été élaborées afin de lutter contre les conséquences dramatiques que peut engendrer une LME. Malgré qu'elles soient souvent utilisées dans le sport, il y a toujours un manque de preuve quant à la meilleure technique à utiliser. Pour ce qui est du sport en ambiance froide, il est nettement moins étudié. Peu de vraies stratégies de réchauffement ont été pensées et analysées. Il serait donc intéressant dans des études futures de réfléchir à certaines adaptations et techniques à utiliser dans ce genre de situation afin de diminuer les risques liés à l'exposition de ces athlètes à des environnements climatiques potentiellement dangereux pour leur santé.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Dawson B, Bridle J, Lockwood RJ. Thermoregulation of paraplegic and able-bodied men during prolonged exercise in hot and cool climates. *Spinal Cord* 1994;32(12):860–70, <http://dx.doi.org/10.1038/sc.1994.132>.
- [2] Trbovich M. Efficacy of various cooling techniques during exercise in persons with spinal cord injury: a pilot cross-over intervention study. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2019;25(1):74–82, <http://dx.doi.org/10.1310/sci2501-74>.

- [3] Trbovich M, Ortega C, Schroeder J, Fredrickson M. Effect of a cooling vest on core temperature in athletes with and without spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2014;20(1):70–80, <http://dx.doi.org/10.1310/sci2001-70>.
- [4] Griggs KE, Price MJ, Goosey-Tolfrey VL. Cooling athletes with a spinal cord injury. *Sports Med* 2014;45(1):9–21, <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-014-0241-3>.
- [5] Grossmann F, Flueck JL, Perret C, Meeusen R, Roelands B. The thermoregulatory and thermal responses of individuals with a spinal cord injury during exercise, acclimation and by using cooling strategies: a systematic review. *Front Physiol* 2021;12, <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2021.636997>.
- [6] Price MJ, Trbovich M. Chapter 50 – Thermoregulation following spinal cord injury (Vol. 157). In: Trbovich M, editor. *Handbook of clinical neurology*. Elsevier; 2018. p. 799–820, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-64074-1.00050-1>.
- [7] Handrakis JP, Rosado-Rivera D, Singh K, Swonger K, Azarelo F, Lombard AT, et al. Self-reported effects of cold temperature exposure in persons with tetraplegia. *J Spinal Cord Med* 2016;40(4):389–95, <http://dx.doi.org/10.1080/10790268.2016.1154670>.
- [8] Price MJ, Campbell IG. Effects of spinal cord lesion level upon thermoregulation during exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(7):1100–7, <http://dx.doi.org/10.1249/01.mss.0000074655.76321.d7>.
- [9] Griggs KE, Havenith G, Price M, Mason BS, Goosey-Tolfrey VL. Thermoregulatory responses during competitive wheelchair rugby match play. *Int J Sports Med* 2017;38(03):177–83, <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-121263>.
- [10] Boot C, Binkhorst R, Hopman M. Body temperature responses in spinal cord injured individuals during exercise in the cold and heat. *Int J Sports Med* 2006;27(8):599–604, <http://dx.doi.org/10.1055/s-2005-865955>.
- [11] Petrofsky JS. Thermoregulatory stress during rest and exercise in heat in patients with a spinal cord injury. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992;64(6):503–7, <http://dx.doi.org/10.1007/bf00843758>.
- [12] Forsyth P, Miller J, Pumka K, Thompson KG, Jay O. Independent influence of spinal cord injury level on thermoregulation during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2019;51(8):1710–9, <http://dx.doi.org/10.1249/mss.0000000000001978>.
- [13] Griggs KE, Havenith G, Paulson TAJ, Price M, Goosey-Tolfrey VL. Effects of cooling before and during simulated match play on thermoregulatory responses of athletes with tetraplegia. *J Sci Med Sport* 2017;20(9):819–24, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jams.2017.03.010>.
- [14] O'Brien TJ, Lunt KM, Stephenson BT, Goosey-Tolfrey VL. The effect of pre-cooling or per-cooling in athletes with a spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport* 2022, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jams.2022.02.005>.
- [15] Armstrong LE, Maresh CM, Riebe D, Kenefick RW, Castellani JW, Senk JM, et al. Local cooling in wheelchair athletes during exercise-heat stress. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27(2):211–6, <http://dx.doi.org/10.1249/00005768-199502000-00010>.
- [16] Price MJ, Campbell IG. Thermoregulatory responses of paraplegic and able-bodied athletes at rest and during prolonged upper body exercise and passive recovery. *Eur J Appl Physiol* 1997;76(6):552–60, <http://dx.doi.org/10.1007/s004210050289>.
- [17] Bongers CC, Eijsvogels TM, van Nes IJ, Hopman MT, Thijssen DH. Effects of cooling during exercise on thermoregulatory responses of men with paraplegia. *Phys Ther* 2016;96(5):650–8, <http://dx.doi.org/10.2522/ptj.20150266>.
- [18] Webborn N, Price MJ, Castle P, Goosey-Tolfrey VL. Cooling strategies improve intermittent sprint performance in the heat of athletes with tetraplegia. *Br J Sports Med* 2008;44(6):455–60, <http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2007.043687>.
- [19] Kume M, Yoshida T, Tsuneoka H, Kimura N, Ito T. Relationship between body surface cooling area, cooling capacity, and thermoregulatory responses wearing water perfused suits during exercise in humans. *Japanese J Phys Fit Sports Med* 2009;58(1):109–22, <http://dx.doi.org/10.7600/jspfsm.58.109>.
- [20] Cotter JD, Taylor NAS. The distribution of cutaneous sudomotor and alliesthesial thermosensitivity in mildly heat-stressed humans: an open-loop approach. *J Physiol* 2005;565(1):335–45, <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2004.081562>.
- [21] Pritchett RC, Bishop PA, Yang Z, Pritchett KL, Green JM, Katica CP, et al. Evaluation of artificial sweat in athletes with spinal cord injuries. *Eur J Appl Physiol* 2010;109(1):125–31, <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-010-1371-4>.
- [22] Mündel T, King J, Collacott E, Jones DA. Drink temperature influences fluid intake and endurance capacity in men during exercise in a hot, dry environment. *Exp Physiol* 2006;91(5):925–33, <http://dx.doi.org/10.1113/expphysiol.2006.034223>.
- [23] Burdon C, O'Connor H, Gifford J, Shirreffs S, Chapman P, Johnson N. Effect of drink temperature on core temperature and endurance cycling performance in warm, humid conditions. *J Sports Sci* 2010;28(11):1147–56, <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2010.489197>.
- [24] Jay O, Morris NB. Does cold water or ice slurry ingestion during exercise elicit a net body cooling effect in the heat? *Sports Med* 2018;48(S1):17–29, <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-017-0842-8>.
- [25] Goosey-Tolfrey V, Swainson M, Boyd C, Atkinson G, Tolfrey K. The effectiveness of hand cooling at reducing exercise-induced hyperthermia and improving distance-race performance in wheelchair and able-bodied athletes. *J Appl Physiol* 2008;105(1):37–43, <http://dx.doi.org/10.1152/japplphysiol.01084.2007>.
- [26] Hagopian TA, Jacobs KA, Kiralti BJ, Friedlander AL. Foot cooling reduces exercise-induced hyperthermia in men with spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(3):411–7, <http://dx.doi.org/10.1249/01.mss.0000117133.75146.66>.
- [27] Stevens CJ, Bennett KJ, Sculley DV, Callister R, Taylor L, Dascombe BJ. A comparison of mixed-method cooling interventions on preloaded running performance in the heat. *J Strength Cond Res* 2017;31(3):620–9, <http://dx.doi.org/10.1519/jsc.0000000000001532>.
- [28] Fagher K, Baumgart JK, Solli GS, Holmberg HC, Lexell J, Sandbakk Ø. Preparing for snow-sport events at the paralympic games in Beijing in 2022: recommendations and remaining questions. *BMJ Open Sport Exerc Med* 2022;8(1):e001294, <http://dx.doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001294>.