INSEP

Réflexion Sport

Scientifique & technique

29

Décembre 2022

EXTRAIT

La récupération par immersion en bains chauds ou froids : état des lieux en 2022

Par Anthony M. J. Sanchez (PhD)

La récupération par immersion en bains chauds ou froids : état des lieux en 2022

Par Anthony M. J. Sanchez (PhD)
Chercheur en biologie du muscle et en physiologie appliquée, université de Perpignan Via Domitia, Laboratoire interdisciplinaire performance santé et environnement de montagne (LIPSEM)

Les techniques de récupération ont toujours fait l'objet de nombreux débats au sein des communautés sportive et scientifique. Les bienfaits des bains froids sur certains processus de récupération sont désormais remis en cause tandis que la thérapie par la chaleur gagne en popularité. Enquête sur les effets physiologiques et les doutes concernant l'impact de ces méthodes sur la performance, mais aussi sur les biais des études existantes et les perspectives de recherche.

©INSEP / I. Arnaudry

Dans la recherche perpétuelle d'optimisation de la performance sportive, une importance particulière est portée aux processus de récupération visant à potentialiser les adaptations à l'entraînement. Les exercices soutenus et intenses peuvent augmenter les dommages musculaires, souvent appréciés par l'expression de marqueurs tels que la créatine kinase sanguine, la lactate déshydrogénase (LDH) et la myoglobine, ou bien la production d'hormones (p. ex. cortisol). Les dommages musculaires induits par l'exercice augmentent le temps de récupération post-exercice et peuvent affecter négativement la performance. Comprendre l'impact des techniques de récupération est important, car ces aspects sont d'un intérêt majeur pour l'athlète. De nombreuses méthodes de récupération ont fait l'objet d'études, comme des méthodes physiologiques (p. ex. récupération active, massage, cryothérapie, thérapie par la chaleur) ou des interventions nutritionnelles (p. ex. suppléments et compléments) et pharmacologiques. La récupération est d'autant plus déterminante dans les disciplines sportives où les charges d'entraînement soumettent les athlètes à des stress importants, afin d'éviter le surentraînement et de limiter le risque de blessures.

Depuis plus d'une décennie, les techniques d'immersion sont beaucoup utilisées chez les athlètes. Parmi les techniques de récupération physiologiques, la cryothérapie (traitement par le froid, incluant les bains froids) et la thérapie par la chaleur, aussi appelée kaumathérapie (Méline *et al.*, 2017), incluant les bains chauds, ont suscité un engouement important. Cependant, l'utilisation de ces méthodes a longtemps été très empirique et se basait sur des paramètres subjectifs. En outre, plusieurs travaux en ont montré les limites en explorant parfois des mécanismes cellulaires. Les techniques d'immersion consistent en la plongée d'une partie ou de la totalité du corps dans l'eau à différentes températures. Cela se fait la plupart du temps sous forme de bains. Les effets de l'utilisation régulière de ces différents modes de récupération sont très peu connus, en particulier chez les athlètes élites. Les études se focalisent la plupart du temps sur l'impact que peuvent présenter ces méthodes sur les symptômes aigus liés aux dommages musculaires ou à la fatigue. Néanmoins, l'utilisation chronique (répétée sur plusieurs jours ou semaines) de certaines méthodes de récupération peut influencer les adaptations à l'entraînement et impacter l'évolution des performances dans le long terme. L'utilisation de méthodes de récupération inappropriées peut limiter voire bloquer certaines adaptations à l'entraînement. Sur la base des dernières données de la littérature scientifique et d'expériences conduites sur le terrain, nous proposons de mieux comprendre les effets des bains froids et de la thérapie par la chaleur sur la récupération post-exercice, mais également sur les adaptations à l'entraînement dans le long terme.

> *« … le froid est efficace en phase aiguë d'une blessure. Il permet notamment de limiter l'œdème. »*

Les vertus du froid et du chaud à l'entraînement

Le froid présente des vertus indéniables dans certaines situations. En toute logique, le froid est efficace en phase aiguë d'une blessure. Il permet notamment de limiter l'œdème. De fait, l'application du froid permet de modérer une inflammation qui aurait pu se révéler excessive. L'application de glace provoque une vasoconstriction des vaisseaux sanguins et le métabolisme cellulaire s'en trouve ralenti. Cela peut conduire à une baisse de la production de plusieurs métabolites qui participent à l'inflammation et à l'excitation des nocicepteurs. Le froid protège également certains tissus des effets produits par la réaction inflammatoire et provoque localement une légère anesthésie qui explique le soulagement ressenti lors du glaçage. Sur la base de ces constats d'ordre clinique, la question de l'utilisation du froid après un exercice a pris de plus en plus d'importance en sciences du sport. De manière empirique, les athlètes utilisent les méthodes de bains froids en vue d'accélérer leur récupération après l'entraînement et de potentialiser les effets de ce dernier dans le long terme. Mais de nouveaux éléments sont apparus ces dernières années. Comme pour tout, il y a de bons et de mauvais côtés.

Deux méta-analyses publiées récemment ont permis d'y voir un peu plus clair en ce qui concerne l'utilisation de bains froids en phase aiguë, c'est-à-dire immédiatement après une séance d'entraînement (Hohenauer *et al.*, 2015 ; Moore *et al.*, 2022). Tout d'abord, précisions que, d'un point de vue méthodologique, les études qui ont relevé des effets bénéfiques utilisaient une eau froide de l'ordre de 10 °C (entre 5 °C et 13 °C), la durée moyenne d'exposition étant de 13 minutes (entre 10 min et 24 min). Mais quels sont précisément les effets « bénéfiques » de l'immersion ? Si l'on retient des paramètres subjectifs, la méthode semble efficace pour limiter les courbatures 48 h, 72 h et 96 h après des protocoles de nature excentrique induisant des dommages musculaires. Cependant, aucun effet à 24 h n'est relevé dans la plupart des travaux. Les bains froids semblent également estomper la pénibilité de la séance d'entraînement, évaluée grâce à l'échelle de Borg (RPE, Rate of Perceived Exertion). Les athlètes adeptes des bains froids perçoivent ainsi moins de douleur après leur entraînement. Si l'on s'intéresse maintenant à des critères plus objectifs, de nombreuses études ont clairement montré que le froid n'avait aucun effet significatif sur différents marqueurs biologiques comme les taux de lactate ou de créatine kinase, et même sur des marqueurs de l'inflammation (interleukine IL-6) lors de contraintes musculaires importantes de type excentriques. Une diminution a été trouvée seulement pour la protéine C, réactive 48 h après l'immersion. Mais étant donné qu'aucun autre marqueur ne semble être significativement diminué, ce résultat demeure sujet à caution. Cela dit, pour une modalité d'exercice bien précise, l'exercice à haute intensité, des effets positifs ont été relevés 24 h post-exercice comparativement à une récupération passive (Moore *et al.*, 2022). Il s'agit essentiellement d'une récupération plus rapide du niveau de puissance musculaire, de la sensation de douleur, des taux de créatine kinase et de la perception d'avoir récupéré convenablement. Mais cela ne se répercute pas pour autant sur la performance d'endurance et il n'existe aucun impact positif sur la récupération des

niveaux de force musculaire. Cette étude montre également que des bains relativement courts à des températures faibles génèrent les meilleurs résultats pour les exercices réalisés à haute intensité.

> *« … les bains chauds pourraient stimuler les flux sanguins au niveau des membres inférieurs en récupération et augmenteraient la température musculaire… »*

Concernant la chaleur, les données sont plus rares dans la littérature scientifique, bien que certains résultats soient favorables à ces méthodes pour plusieurs variables. Parmi les effets potentiellement bénéfiques, les bains chauds pourraient stimuler les flux sanguins au niveau des membres inférieurs en récupération et augmenteraient la température musculaire (Skurvydas *et al.*, 2008). Cela permet potentiellement un meilleur approvisionnement en nutriments et en oxygène. À l'issue d'un exercice épuisant, d'autres données montrent que l'immersion en bain chaud permet de retrouver plus rapidement des niveaux de force maximale isométrique et une performance en répétition de sauts (Kuligowski *et al.*, 1998 ; Vaile *et al.*, 2008 ; Versey *et al.*, 2013). Cependant, les résultats sont plus contradictoires sur d'autres variables telles que l'effort perçu (RPE), la fréquence cardiaque, les douleurs musculaires d'apparition retardées (DOMS), la performance en sprint et en course contre la montre. Retenons néanmoins que les études sont trop peu nombreuses pour définitivement statuer, d'autant plus que des différences majeures existent sur la nature des protocoles (durée de l'exposition, température, etc.).

Beaucoup de biais dans les études

La majorité des études conduites présente un nombre important de biais potentiels et de limites à prendre en considération (Hohenauer *et al.*, 2015). Tout d'abord, les groupes contrôles, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas immergés dans les bains, ne faisaient tout simplement rien alors que placer ces sujets dans un bain ou dans une pièce à neutralité thermique pendant un temps équivalent à celui de l'immersion aurait été plus juste. Bien évidemment sans les informer de l'hypothèse de l'étude en sus. Ces biais sont extrêmement importants et peuvent tout à fait affecter les résultats obtenus, en particulier les critères subjectifs discutés précédemment. Qui nous dit qu'il ne s'agit tout simplement pas d'un effet placebo ? Néanmoins, un effet placebo ne doit pas être refoulé, il est d'ailleurs très connu pour influencer la performance sportive. À ce titre, lors d'une étude datant de 2014, des athlètes ont suivi trois méthodes de récupération pendant 15 min après une séance d'entraînement à haute intensité (HIT) : une immersion en bains à neutralité thermique (≈ 35 °C), la même condition

avec application d'un nettoyant pour la peau (afin de générer un effet placebo), et une immersion en bains froids (≈ 10 °C) (Broatch *et al.*, 2014). Les auteurs ont mis en évidence des niveaux de forces maximales isométriques plus élevés dans le groupe placebo et celui ayant suivi la récupération en bains froids. Les niveaux de perception de la douleur étaient plus faibles et les états de vigueur et de préparation à l'exercice étaient significativement supérieurs. Ces deux dernières conditions ne présentaient cependant aucune différence sur l'ensemble des variables, d'où la conclusion que les effets des bains froids étaient les mêmes que ceux du placebo.

Une autre limite concerne la population. La plupart des études se concentrent sur un nombre de sujets très réduit, ce qui limite fortement leur validité statistique. De plus, les travaux sont effectués presque uniquement chez des hommes, alors que, par exemple, la masse grasse est plus élevée chez les femmes. Or, le tissu adipeux possède une influence sur les effets des bains froids. Sachant que les Jeux olympiques n'ont cessé de se féminiser depuis leur ouverture aux femmes, en 1900, et qu'elles représentaient environ 45 % des athlètes engagés à Rio, des études complémentaires sont indispensables. Enfin, une chose que l'on peut concevoir aisément : les effets peuvent être plus faibles chez les athlètes hautement entraînés que chez des novices en sport, ce qui limite une fois de plus la portée des résultats et leur extrapolation à l'ensemble de la population sportive. En fin de compte, il existe beaucoup de biais et de limites au sujet de ces techniques, qui peuvent en outre générer chez certains athlètes un inconfort non négligeable, en particulier pour ce qui concerne les bains froids.

Entraînement biquotidien : froid, chaud ou récupération active ?

Attention cependant à une autre limitation, comme le souligne une étude conduite par Christensen et Bangsbo de l'université de Copenhague (2016). Ce travail révèle une absence d'effet sur la performance de l'immersion en bains froids répétée à plusieurs reprises dans la même journée. L'immersion en eau froide ne semble pas constituer une solution efficace de récupération pour les phases de qualification comportant plusieurs épreuves dans la même journée dans des sports qui ne posent pas vraiment de problème de thermolyse comme le cyclisme sur piste ou l'aviron. Par ailleurs, une étude a démontré que les méthodes utilisant la chaleur permettaient d'accélérer la synthèse des réserves glycogéniques musculaires et de limiter la diminution de la puissance moyenne développée lors d'exercices entrecoupés par une récupération de deux heures (Cheng *et al.*, 2017). Dans ce travail, l'utilisation du froid ralentissait la resynthèse glycogénique et réduisait la performance, contrairement à la chaleur.

Une étude récente, issue d'une collaboration entre l'INSEP, le LIPSEM, l'université de Montpellier, celle de Lausanne et la Fédération française des sports de glace (équipe nationale de short-track), a comparé l'impact de trois méthodes de récupération classiquement utilisées en sport sur la performance lors d'un entraînement biquotidien (Méline *et al.*, soumis à expertise). La première séance, administrée peu après le réveil, consistait à réaliser des séries de sprints sur la glace pendant environ 1 h 15 afin de générer un niveau

de fatigue élevé. La seconde séance était réalisée 1 h 30 après la fin de la première et consistait en une répétition de sprints de 10 secondes sur ergocycle, entrecoupés de 20 secondes de récupération seulement entre les dix séries. Entre les deux séances d'entraînement, les athlètes ne suivaient pas le même protocole. Tandis que les uns récupéraient dans un bain froid aux alentours des 12 °C (15 min), les autres étaient immergés pendant 20 minutes dans un bain chaud à environ 41,5 °C. Un troisième groupe observait une récupération active de 15 minutes sur ergocyle. Pendant trois semaines, les athlètes ont répété le protocole en changeant de mode de récupération à chaque fois selon la méthode du crossover. Détail important, entre les deux séances d'entraînement, les athlètes consommaient une boisson riche en glucides et en acides aminés afin de favoriser la reconstitution des réserves énergétiques. Les résultats sont les suivants : les récupérations actives sur ergocycle et en bains chauds permettaient de favoriser la réalisation de la seconde séance d'entraînement. Plus précisément, les short-trackers développaient des puissances plus importantes lors des séries d'exercices sur vélo. Les puissances développées sur ergocycle étaient significativement plus faibles après une récupération en bains froids. Notons également que les effets des bains chauds et froids étaient corrélés au pourcentage de masse grasse des athlètes, sans qu'il n'y ait de différence entre les hommes et les femmes. Autrement dit, la température du bain impactait davantage la performance chez les athlètes qui présentaient un taux de masse grasse plus faible.

Prises ensemble, ces données permettent de formuler des recommandations pratiques. L'utilisation des bains chauds ou

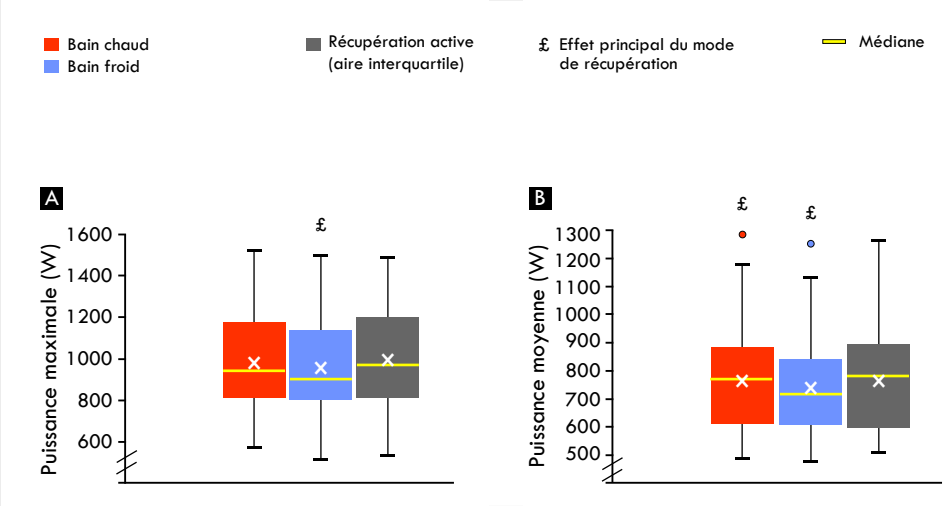
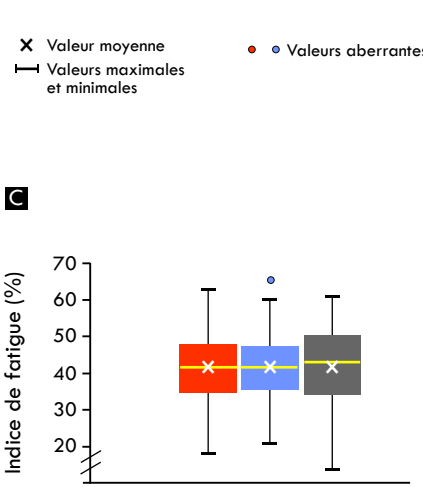


Figure 1 – Résultats des puissances développées lors d'une séance d'entraînement en sprint répété sur ergocycle suivant les différents protocoles de récupération consécutifs à une séance épuisante sur glace chez des short-trackers élites.

la récupération active peuvent s'avérer efficaces lors de séances biquotidiennes à forte sollicitation énergétique, en vue d'améliorer la charge de travail ou la performance au cours de la seconde session d'exercices. Cependant, dans ce modèle, les bains froids devraient être évités. Retenons tout de même que bien que la cryothérapie ne semble pas améliorer la récupération du muscle squelettique, des effets positifs ont cependant été trouvés dans d'autres études sur la régulation de la température corporelle (hyperthermie), la tension artérielle, la réactivation du système nerveux parasympathique, et la fatigue centrale après des exercices épuisants ou après des exercices conduits en ambiance thermique chaude (Ihsan *et al.*, 2016). Dans ces cas de figure, en particulier si les facteurs bioénergétiques ne sont pas prépondérants pour la performance, l'utilisation du froid pourrait être envisagée.



Du chaud sur la glace

L'équipe de France de short-track a toujours eu du mal à trancher au sujet d'une méthode de récupération. Thibaut Méline, entraîneur national et responsable de pôle, explique toute la complexité de ce sport : « C'est une discipline explosive où l'on réalise des sprints. Nous devons faire face à des contraintes excentriques dans les virages, mais il faut aussi être endurant pour tenir les séances d'entraînement qui peuvent aller jusqu'à deux voire trois par jour. Les athlètes ont souvent tendance à vouloir décrépir dès que nous finissons, ils n'aiment pas vraiment le froid et cherchent désespérément la chaleur à la sortie. Nous avons mis au point un système de fauteuils chauffants sur la patinoire pour que les athlètes puissent récupérer dans le chaud entre chaque série d'exercices. »

« ... si les facteurs bioénergétiques ne sont pas prépondérants pour la performance, l'utilisation du froid pourrait être envisagée. »

Effets des bains *vs* récupération active sur vélo

Cette collaboration a commencé à la suite d'un questionnement articulé autour de la gestion de l'intensité des enchaînements de course tout au long d'un week-end de compétition pour mon équipe de short-track. En effet, lors des compétitions, les patineurs sont amenés à répéter des courses durant trois journées consécutives lors des championnats d'Europe, des championnats du monde, des coupes du monde, voire sur quatre jours pendant les tournois de qualification olympique. Sur chacune de ces épreuves individuelles (500 m, 1 000 m et 1 500 m) ou collectives (relais 3 000 m femmes, relais 5 000 m hommes, relais 2 000 m mixte), le(s) sportif(s) réalise(nt) un effort assez violent. Par journée, ils peuvent être amenés à courir jusqu'à neuf courses séparées à minima de 15 minutes. C'est de là qu'est né le questionnement : « Comment optimiser la récupération de mes sportifs pour maximiser leur efficience lors de chacune des courses ? »

D'où l'idée du protocole de recherche proposé à mon groupe d'entraînement. Ce protocole avait pour objectif de simuler un niveau de fatigue présent en compétition et de mesurer ensuite, après une période de repos, la capacité des sportifs à reproduire un effort à intensité maximale. Dans un premier temps, nous avons créé le niveau de fatigue à l'aide d'une séance sur glace. Au travers de cet entraînement, les patineurs ont été épuisés grâce à la répétition d'efforts à allure de course. Dans un second temps, les sportifs ont enchaîné directement avec l'un des trois types de récupération proposés, à savoir récupération active, récupération en bain froid (cryothérapie) ou récupération en bain chaud (kaumathérapie). Pour finir, nous avons fait le choix de mesurer le niveau de puissance que chaque individu était en capacité de produire lors d'un exercice de répétition de sprints sur WattBike. L'important a été d'établir un test pour lequel les paramètres de performance sont facilement mesurables, à l'inverse d'une séance sur glace où il est complexe de maîtriser les paramètres de température extérieure et de pression atmosphérique sur trois journées de tests. Un test de performance sur WattBike correspond ainsi à un bon compromis pour des patineurs utilisant majoritairement la puissance de leur membre inférieur pour performer. Une course de short-track exige d'avoir la capacité de répéter plusieurs accélérations : pour démarrer la course et bien se placer lors du départ, pour contrôler le peloton en accélérant l'allure, pour se replacer dans le groupe en réalisant un dépassement, pour ressortir fort de chaque virage, etc. Les sportifs devaient répéter des sprints sur notre test.

L'avantage de ce protocole est qu'il n'a pas été pensé comme un test de recherche, mais plutôt comme une journée d'entraînement sur laquelle nous avons collecté des données supplémentaires afin de nous permettre de mieux identifier la méthode de récupération favorisant les meilleurs niveaux de performance propres au short-track. Ce travail a ainsi pu être parfaitement intégré à la planification

d'entraînement prévue sur cette période. Au vu des résultats obtenus, nous pouvons maintenant mieux orienter et conscientiser nos sportifs vers les bonnes pratiques en compétition. Côté encadrement, nous envisageons même de trouver des partenaires en mesure de proposer des solutions permettant de réchauffer, ou à défaut augmenter la vasodilatation des vaisseaux sanguins pendant les périodes de récupération entre les courses, car il est techniquement infaisable d'immerger nos athlètes dans des bains lorsqu'ils sortent de la glace.

Les effets à long terme du chaud

Mes sportifs ont toujours eu du mal à trouver une façon de récupérer qui leur convenait le mieux du point de vue du confort, en termes de sensation, bien-être psychologique et efficacité physiologique. C'est le gros problème chez nos sportifs. Trouver une récupération qui à la fois leur convient et n'interfère pas avec les adaptations à l'entraînement dans le long terme. De fait, nous avons également testé les effets des bains chauds après la dernière séance de la journée sur l'évolution de leur performance. Il ressortait de ce travail que les bains chauds permettaient de favoriser les gains de force maximale et isométrique et peut-être bien la puissance aérobie. Bref, nous ne voyons pas de contre-indication à ce qu'ils se rassemblent dans des jacuzzis en fin de séance. D'autant plus que certains adorent ça, ils se sentent plus détendus. Par contre, pour d'autres, c'est plus compliqué de s'immerger dans une eau à 40 °C. Tout le monde ne supporte pas le chaud de la même manière, d'autant plus quand il fait chaud après une séance réalisée en extérieur.

Thibaut Méline à la patinoire du CNEA de Font-Romeu. © A. Sanchez

Thibaut Méline,
responsable du pôle France Font-Romeu,
entraîneur national de short-track,
Fédération française
des sports de glace (FFSG)

Récupération post-exercices et adaptations à l'entraînement en force

De nombreuses questions demeurent en suspens concernant les effets des bains froids sur la récupération post-exercice. Cependant, la littérature fournit de nombreuses données concernant l'athlète désirant prendre en masse ou en force musculaire. Depuis plusieurs années, des observations s'accumulent pour suggérer que l'utilisation répétée des bains froids pourrait se révéler néfaste pour les gains de masse musculaire du sportif. Aucune preuve formelle n'avait toutefois encore été apportée. Les bains froids parviennent-ils à accélérer la récupération après la séance sans pour autant inhiber les adaptations à l'entraînement en force ? C'est la question à laquelle plusieurs équipes australiennes ont tenté de répondre. Llion Roberts, de l'université du Queensland, a tout d'abord mis en évidence en 2014 ce qui avait déjà été repéré par plusieurs équipes de recherche dans le cadre de l'entraînement en endurance : l'utilisation des bains froids permet de limiter les dommages musculaires induits à l'exercice (Roberts *et al.*, 2014). En outre, dans son étude, les athlètes étaient capables de réaliser davantage d'efforts pendant des tests musculaires qui suivaient une séance de cryothérapie corps entier. Il s'agit cette fois-ci d'exposer brièvement le corps à une température négative de l'ordre de -100 °C. Après une grosse séance, la communauté scientifique semble souvent d'accord pour affirmer que cette méthode accélère la cinétique de réactivation du système parasympathique, et permettrait également d'induire un regain de production d'antioxydants par l'organisme et de limiter la production de cytokines pro-inflammatoires (Roberts *et al.*, 2014, 2015). Les résultats de Llion Roberts suggéraient ainsi que les athlètes pouvaient être en mesure de réaliser une charge de travail plus importante lorsqu'ils utilisaient la cryothérapie. De ce fait, on était en droit de s'attendre à une optimisation de l'entraînement et à des gains plus importants dans le long terme. Ce ne fut pas le cas, ce qui montre une nouvelle fois qu'il ne faut pas toucher aux mécanismes naturellement mis en place par l'organisme après un entraînement, même s'ils paraissent néfastes à première vue.

Cette même équipe de recherche a testé cette hypothèse un an plus tard au cours de deux études regroupées en une (Méline *et al.*, 2017 ; Roberts *et al.*, 2015). La première s'est attachée à tester les effets de 10 minutes d'immersion en eau froide comparativement à 10 minutes de récupération active sur ergocycle après chaque séance d'entraînement en force pendant un programme de 12 semaines. Les participants de l'étude s'entraînaient deux fois par semaine. Les auteurs ont constaté des gains de masse plus faibles chez les athlètes s'étant immergés dans le froid après chaque séance. Bien que la force maximale concentrique ne fût pas impactée par le froid, les athlètes ayant suivi la récupération en bains froids n'observaient aucun gain de force maximale isométrique en comparaison de l'autre groupe. Les auteurs ont ainsi montré que la surface de section des fibres rapides ainsi que leur force isométrique n'augmentaient que pour le groupe avec récupération active. Au cours de leur deuxième étude, les auteurs ont montré que ce blocage d'adaptation musculaire était dû en partie à une diminution de l'activation des processus de régénération cellulaire lorsqu'on utilise l'immersion dans des bains froids.

Les explications biologiques

D'autres recherches ont été conduites afin de trouver une explication à ce manque d'adaptations musculaires (Figueiredo *et al.*, 2016). Il s'agissait de tenter de comprendre des mécanismes assez fins au sein des cellules musculaires potentiellement inhibés par l'utilisation du froid. Ainsi, Vandre Casagrande Figueiredo et ses collaborateurs ont demandé à un groupe d'athlètes d'effectuer un exercice des membres inférieurs à haute intensité afin d'induire des signaux cellulaires nécessaires à la prise de force et de masse musculaire. Cet exercice a été réalisé à deux reprises. La première fois, les athlètes devaient effectuer 10 minutes de récupération active sur ergocycle à faible intensité. La seconde fois, ils étaient immergés jusqu'à la taille dans une eau à 10 °C pendant 10 minutes. Des biopsies ont été réalisées à plusieurs reprises afin de conduire des analyses biochimiques *a posteriori*. Les auteurs ont ainsi mis en évidence que le froid bloquait plusieurs processus cellulaires fondamentaux pour la prise de masse musculaire.

Une étude princeps chez les rongeurs

Depuis quelque temps, les preuves se sont accumulées concernant le fait que la chaleur pouvait favoriser la biogenèse mitochondriale dans des cellules musculaires en culture dans des boîtes de pétri. Au Japon, une étude réalisée en 2014 chez l'animal par Yuki Tamura de l'université de Tokyo a cherché à savoir si la chaleur pouvait potentialiser certaines adaptations physiologiques du muscle en réponse à un entraînement en endurance (Tamura *et al.*, 2014). Pour cela, deux groupes de souris étaient soumis à un programme d'entraînement en endurance de trois semaines avec cinq séances de course hebdomadaires. Le premier groupe constituait le groupe contrôle et le second récupérait dans une chambre s'apparentant à un sauna pendant 30 minutes à 40 °C. Les souris exposées à l'environnement chaud après chaque séance ont amélioré davantage leur fonction mitochondriale et ont vu leur aptitude aérobie augmenter de manière significative. L'utilisation de cette méthode pourra être bénéfique à l'athlète, mais ses effets devront également être étudiés chez les populations rencontrant des difficultés à progresser comme les personnes âgées, ou encore dans le cadre de la réathlétisation.

« [La criothérapie corps entier] accélère la cinétique de réactivation du système parasympathique, et permettrait également d'induire un regain de production d'antioxydants par l'organisme... »

Le premier processus concerne les mécanismes à l'origine de la resynthèse des constituants cellulaires. Dès les premières heures, les auteurs ont pu constater une diminution significative de l'activité de plusieurs acteurs impliqués dans ce processus. À savoir une diminution de l'activation de la voie majeure de synthèse protéique : la voie MTOR (mechanistic/mammalian target of rapamycine). Plus précisément, une

La synthèse des protéines au niveau des ribosomes est régulée par la voie des protéines kinases PI3K/AKT/MTOR. MTOR régule l'activité de ses cibles ribosomales afin d'amorcer la traduction des ARN messagers en protéines. La dégradation est assurée par deux grands systèmes : la voie autophagique et la voie protéasomique. Ces deux voies sont régulées par les facteurs de transcription FOXOs au sein des cellules musculaires.

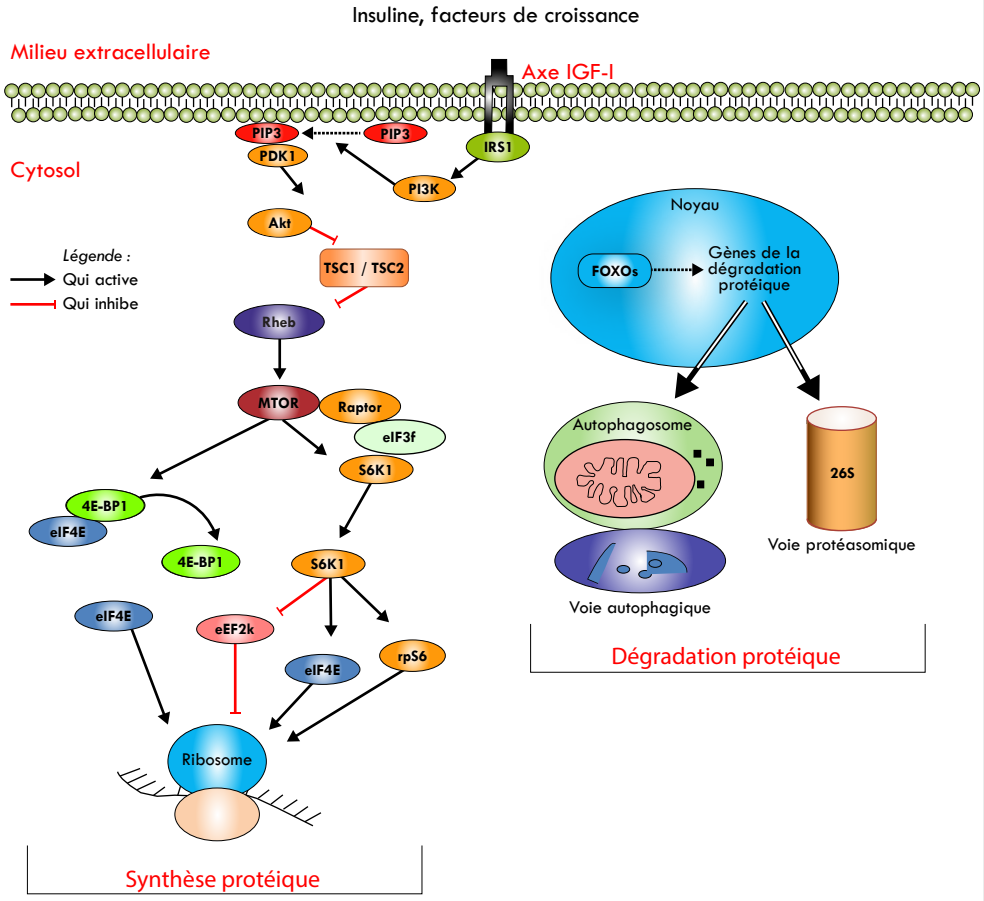


Figure 2 – Voies de signalisation intracellulaires de synthèse et de dégradation protéique.

diminution de l'état de phosphorylation de la protéine ribosomale rpS6 a été repérée. Ce résultat suggère que la synthèse protéique réalisée par les ribosomes est probablement inhibée. D'autres travaux ont rapporté une augmentation de l'expression et du niveau de phosphorylation du facteur de transcription FOXO1 (Forkhead box protein O1) impliqué dans la dégradation protéique. Cela peut également représenter une voie de signalisation contribuant à expliquer les effets délétères du froid sur les adaptations à l'entraînement en force (Fyfe *et al.*, 2019). Cependant, l'expression de la protéine MuRF-1 (muscle ring finger-1), ayant notamment un rôle dans la dégradation des unités contractiles des cellules musculaires (sarcomères), ne semble pas affectée par le froid, tout comme l'expression de FOXO3 (Forkhead box protein O3) (Fyfe *et al.*, 2019).

L'exposition au froid limite également l'activation des cellules satellites dont le rôle est déterminant dans les processus de régénération musculaire (Roberts *et al.*, 2015). De plus, l'immersion en eau froide peut également bloquer la réponse chronique, et non aiguë, de protéines de choc thermique HSPs (heat shock proteins) (Fyfe *et al.*, 2019) impliquées dans l'élongation des ARN messagers et l'inhibition du catabolisme (dégradation de constituants cellulaires), de l'apoptose (mort cellulaire) et dans la prévention de l'atrophie. Enfin, les bains froids bloquent la fabrication des ARN ribosomaux nécessaires à la fabrication des ribosomes, organites qui synthétisent nos protéines et qui possèdent un rôle majeur dans la prise de masse musculaire (Roberts *et al.*, 2015). Dit autrement, si l'on détruit l'usine de fabrication des protéines musculaires avec le froid, il est tout à fait normal que l'on puisse moins prendre en masse. L'ensemble de ces données explique parfaitement les résultats trouvés par Llion décrits plus haut.

Concernant l'entraînement en endurance, aucun impact positif ou délétère majeur n'a été rapporté lors de différents protocoles, bien que l'expression de certains marqueurs mitochondriaux puisse être favorisée (Broatch *et al.*, 2014, 2017, 2018 ; Malta *et al.*, 2020). Lors d'un protocole de sprints répétés, l'utilisation chronique des bains froids en récupération semble ne pas compromettre non plus certaines adaptations phénotypiques, en particulier celles en relation avec les protéines transportant le potassium (Christensen et Bangsbo, 2016 ; Christiansen *et al.*, 2018). Ainsi, ces travaux récents illustrent parfaitement les limites de la cryothérapie, en particulier des bains froids, dont l'utilisation régulière vient réduire la possibilité pour l'organisme de mettre en action des systèmes d'adaptation dans le long terme.

« L'exposition au froid limite également l'activation des cellules satellites dont le rôle est déterminant dans les processus de régénération musculaire. »

Les effets à long terme des bains chauds

Récemment, les patineurs de vitesse de l'équipe de France ont suivi un autre protocole afin de tester si, à l'inverse des bains froids, les bains chauds pouvaient favoriser l'optimisation de la performance dans le long terme (Méline *et al.*, 2021). Pour cela, les athlètes ont réalisé deux cycles d'entraînement identiques, mais un dans lequel ils récupéraient passivement assis à refaire leurs patins, et le second dans lequel ils prenaient des bains chauds dans un jacuzzi à un peu plus de 40 °C pendant 20 minutes. Une série de tests a été réalisée avant et après chaque cycle d'entraînement : mesures anthropométriques, tests de force maximale isométrique des membres inférieurs, test de capacité anaérobie, sauts verticaux et test de puissance maximale aérobie. Les résultats furent en adéquation avec l'hypothèse principale, à savoir que les bains chauds permettaient, à l'instar du froid, de favoriser le développement de la force maximale isométrique des membres inférieurs. Un autre résultat un peu plus inattendu fut également observé : les patineurs présentaient des VO_2pic légèrement plus élevées avec les bains chauds, même s'il ne s'agissait que d'une tendance statistique. De plus, le nombre d'athlètes était relativement faible dans cette étude et, de manière générale, obtenir une puissance statistique importante chez l'athlète élite s'avère souvent difficile. Cependant, contrairement à une autre hypothèse, les bains chauds n'ont pas permis d'augmenter la masse musculaire chez ces athlètes ni les autres paramètres liés à la performance. Cela n'a rien d'étonnant quand on sait qu'ils présentaient déjà une masse musculaire importante ainsi qu'un haut niveau de forme. Il est par ailleurs assez rare d'obtenir des effets drastiques chez ce type de population déjà très entraînée.

Chez des athlètes un peu moins entraînés, les effets positifs du sauna avaient déjà été observés par des chercheurs néo-zélandais sur l'endurance (Scoon *et al.*, 2007). Les auteurs avaient associé ces effets à une augmentation du volume plasmatique due à la répétition du stress lié à la chaleur. Dorénavant, une attention particulière devrait être portée à l'utilisation chronique de la thérapie par la chaleur sur les adaptations à l'entraînement. Ces premiers résultats sont en effet encourageants et des études doivent être conduites pour permettre de mieux comprendre les possibles adaptations physiologiques ainsi

©IconSport

que les effets potentiels sur les niveaux de performance lorsque l'on choisit une telle méthode.

Cependant, des limites concernant l'utilisation chronique des bains chauds peuvent exister. Par exemple, des archers adolescents ont vu leur stabilité posturale ainsi que leur performance au tir réduites après des immersions répétées en bain chaud (30 min à 40 °C ; Hung *et al.*, 2018). L'étude suggérait que l'utilisation de sources endogènes nécessaires aux adaptations thermiques de la peau pouvait rendre les adaptations moins favorables chez ces jeunes athlètes. De fait, bien qu'il n'y ait qu'une seule étude sur le sujet, l'utilisation chronique des bains chauds pourrait être évitée dans les disciplines où la stabilité posturale revêt une certaine importance, du moins chez les adolescents. En effet, les données de la littérature sont manquantes sur le sujet adulte, mais aussi dans d'autres disciplines sportives.

Chaleur, exercice et lutte contre l'atrophie : un ménage à trois

Bien que les travaux sur les effets chroniques de la chaleur sur la performance demeurent au stade embryonnaire, ses effets semblent plus reconnus dans les situations atrophiantes (perte de masse musculaire). Lors d'une immobilisation, la perte de masse musculaire suit une loi exponentielle. La constante de temps de l'exponentielle est extrêmement rapide, ce qui signifie qu'elle se manifeste extrêmement vite et qu'il faut agir le plus rapidement possible. Une étude récente (Hirunsai et Srikuea, 2021) a examiné la réponse autophagique (mécanisme de dégradation des protéines, lipides, polysaccharides et organites intracellulaires comme les mitochondries) pendant l'atrophie induite par la ténotomie chez des rongeurs auxquels on avait sectionné les tendons des pattes. Les auteurs de cette étude ont découvert que l'application répétée de chaleur avec des couvertures thermiques atténuait la réduction de la section transversale des fibres dans les muscles ténotomisés. Ces auteurs ont également démontré que l'atrophie est aussi liée à une augmentation des marqueurs autophagiques, l'autophagie représentant un système important dans la dégradation et le renouvellement de constituants cellulaires. Ce système possède en effet pour rôle premier de renouveler nos constituants afin d'assurer le fonctionnement normal des cellules. Lors de

« ... la thérapie par la chaleur semble désormais être adoptée par de nombreux sportifs et les preuves scientifiques sont en accord avec cette nouvelle orientation. »

situations de stress, des autophagosomes (des vésicules) capturent des composants cytoplasmiques (protéines, mitochondries, ribosomes, lipides, etc.) pour limiter des dépenses énergétiques inutiles. Ces vésicules sont absorbées par des lysosomes et y sont dégradées avec tout leur contenu. Encore une fois, la thérapie par la chaleur cible bénéfiquement les processus autophagiques à huit et quatorze jours d'immobilisation. Et de manière importante, elle limite aussi en bonne partie la perte de masse musculaire. Ainsi, cette nouvelle étude a le mérite d'avoir démontré un nouvel effet positif de la chaleur sur la voie autophagique, qui semble impliquée dans l'atrophie induite par l'immobilisation. La chaleur peut ainsi empêcher la suractivation de ce système dans les muscles oxydatifs et glycolytiques. On pourrait se demander si la chaleur ne risque pas d'augmenter l'inflammation et donc de provoquer d'autres dommages en parallèle. Or, les mêmes auteurs avaient au préalable démontré que l'exposition à la chaleur pouvait réduire la nécrose, limiter l'infiltration de macrophages pro-inflammatoires et diminuer l'expression de la protéine TNFα impliquée dans la mort cellulaire dans les muscles immobilisés (Hirunsai et Srikuea, 2020), en particulier dans le muscle soléaire, un muscle lent, mais qui possède la particularité d'être rapide à perdre en masse. Enfin, cette même équipe de recherche a également mis en évidence que le stress thermique avait amélioré le fonctionnement de macrophages anti-inflammatoires dans le muscle au cours de leur période d'étude.

Une étude américaine menée par Hafen et ses collaborateurs (2019), chez des femmes et des hommes cette fois-ci, a examiné les effets liés à l'utilisation de la thérapie par la chaleur sur l'atrophie et la fonction mitochondriale pendant 10 jours d'immobilisation. Au cours de cette étude, les auteurs ont examiné les effets d'un traitement de chauffage quotidien de deux heures en utilisant la diathermie pulsée à ondes courtes. Ce système de thérapie par la chaleur permet d'augmenter la température intramusculaire d'environ quatre degrés. Des biopsies musculaires ont été réalisées afin d'analyser la taille des fibres musculaires et le fonctionnement des mitochondries. À notre connaissance, il s'agit de la première preuve scientifique chez l'homme qui met en avant que chauffer le muscle squelettique soumis à une immobilisation peut maintenir la fonction mitochondriale et atténuer l'atrophie. En effet, les auteurs ont constaté que la thérapie par la chaleur prévenait la perte de capacité respiratoire des myofibres induite par l'immobilisation et limitait fortement la diminution de la section transversale des fibres musculaires. Fait intéressant, ils ont également observé une augmentation de l'expression des protéines de choc thermique connues

pour être impliquées dans la synthèse des protéines et la croissance musculaire, ainsi que des protéines impliquées dans la biogenèse mitochondriale comme PGC1-alpha (peroxisome proliferator-activated receptor coactivator-1alpha).

Conclusions et perspectives

En résumé, l'utilisation des bains froids en récupération peut s'avérer favorable pour les exercices réalisés à haute intensité, du moins pour retrouver ses niveaux de puissance musculaire (mais pas de force), limiter les DOMS et améliorer la sensation d'avoir récupéré. Des bains relativement courts et à température basse sont à privilégier. Cependant, les effets semblent très limités, voire inexistants, sur des paramètres objectifs lorsqu'il s'agit d'exercices de force réalisés avec des contraintes excentriques.

La thérapie par la chaleur semble désormais être adoptée par de nombreux sportifs et les preuves scientifiques sont en accord avec cette nouvelle orientation. En effet, alors que l'utilisation des bains froids en chronique inhibe certaines adaptations à l'entraînement en force (aucun gain de force maximale isométrique et gains de masse musculaire plus faibles), les bains chauds semblent plutôt bénéfiques. Bien qu'il y ait très peu de données à l'heure actuelle, l'utilisation des bains chauds de manière répétée après les séances d'entraînement semble en effet favoriser les gains de force maximale isométrique et de performance aérobie (endurance et VO_2max). Sans pour autant générer des gains de masse musculaire plus importants chez le sujet sain. Une partie des effets positifs de la thérapie par la chaleur sur la performance aérobie pourrait être liée à une augmentation du volume plasmatique. En aigu, l'utilisation des bains froids entre deux séances de sprints répétés sur ergocycle doit également être évitée dans le cadre d'un entraînement biquotidien à prévalence énergétique. D'après la littérature, la reconstitution des réserves de glycogène peut être affectée par le froid et expliquerait en partie une détérioration de la performance observée lors d'une seconde séance de sprints répétés réalisée au sein de la même journée. Dans ce contexte, les bains chauds et la récupération active sur ergocycle ne sont pas contre-indiqués.

Enfin, de nombreuses perspectives sont ouvertes, incluant l'utilisation de la thérapie par la chaleur sur les processus de régénération musculaire et la lutte contre la perte de masse musculaire après une période d'immobilisation. Les données les plus récentes indiquent que la thérapie par la chaleur peut limiter l'atrophie en inhibant les mécanismes de protéolyse cellulaire. Enfin, il semble important de terminer cet article en présentant une limite majeure à ces travaux. En effet, très peu de données sont disponibles chez la femme, rendant parfois difficile la généralisation des résultats. Ces dernières pouvant présenter une composition corporelle différente de l'homme, nous observerons probablement des différences importantes en termes de réponses avec les thérapies utilisant le froid ou la chaleur. Des études doivent nécessairement embrasser cette problématique majeure dans le futur. Enfin, il restera nécessaire d'examiner et d'utiliser certains modes de récupération en relation avec la nature de l'entraînement suivi par l'athlète et de prendre en compte les différences inter-individus afin d'éviter d'éventuels effets délétères et favoriser les gains de performance. ■

Bibliographie

Broatch, J. R., Petersen, A. et Bishop, D. J. (2014). Postexercise cold water immersion benefits are not greater than the placebo effect. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 46*(11), 2139-2147. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000348

Broatch, J. R., Petersen, A. et Bishop, D. J. (2017). Cold-water immersion following sprint interval training does not alter endurance signaling pathways or training adaptations in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 313*(4), R372-R384. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00434.2016

Broatch, J. R., Petersen, A. et Bishop, D. J. (2018). The influence of post-exercise cold-water immersion on adaptive responses to exercise: A review of the literature. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.), 48*(6), 1369-1387. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0910-8

Cheng, A. J., Willis, S. J., Zinner, C., Chaillou, T., Ivarsson, N., Ørtenblad, N., Lanner, J. T., Holmberg, H.-C. et Westerblad, H. (2017). Post-exercise recovery of contractile function and endurance in humans and mice is accelerated by heating and slowed by cooling skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, *595*(24), 7413-7426. https://doi.org/10.1113/JP274870

Christensen, P. M. et Bangsbo, J. (2016). Influence of prior intense exercise and cold water immersion in recovery for performance and physiological response during subsequent exercise. *Frontiers in Physiology, 7*, 269. https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00269

Christiansen, D., Bishop, D. J., Broatch, J. R., Bangsbo, J., McKenna, M. J. et Murphy, R. M. (2018). Cold-water immersion after training sessions: Effects on fiber type-specific adaptations in muscle K+ transport proteins to sprint-interval training in men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985), 125*(2), 429-444. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00259.2018

Figueiredo, V. C., Roberts, L. A., Markworth, J. F., Barnett, M. P. G., Coombes, J. S., Raastad, T., Peake, J. M. et Cameron-Smith, D. (2016). Impact of resistance exercise on ribosome biogenesis is acutely regulated by post-exercise recovery strategies. *Physiological Reports, 4*(2). https://doi.org/10.14814/phy2.12670

Fyfe, J. J., Broatch, J. R., Trewin, A. J., Hanson, E. D., Argus, C. K., Garnham, A. P., Halson, S. L., Polman, R. C., Bishop, D. J. et Petersen, A. C. (2019). Cold water immersion attenuates anabolic signalling and skeletal muscle fib-er hypertrophy, but not strength gain, following whole-body resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 127(5), 1403-1418. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00127.2019

Hafen, P. S., Abbott, K., Bowden, J., Lopiano, R., Hancock, C. R. et Hyldahl, R. D. (2019). Daily heat treatment maintains mitochondrial function and attenuates atrophy in human skeletal muscle subjected to immobilization. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985), 127*(1), 47-57. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01098.2018

Hirunsai, M. et Srikuea, R. (2020). Heat stress ameliorates tenotomy-induced inflammation in muscle-specific response via regulation of macrophage subtypes. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985), 128*(3), 612-626. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00594.2019

Hirunsai, M. et Srikuea, R. (2021). Autophagy-lysosomal signaling responses to heat stress in tenotomy-induced rat skeletal muscle atrophy. *Life Sciences, 275*, 119352. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119352

Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J.-P., Clarys, P. et Clijsen, R. (2015). The effect of post-exercise cryotherapy on recovery characteristics: A systematic review and meta-analysis. *PloS One, 10*(9), e0139028. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139028

Hung, T.-C., Liao, Y.-H., Tsai, Y.-S., Ferguson-Stegall, L., Kuo, C.-H. et Chen, C.-Y. (2018). Hot water bathing impairs training adaptation in elite teen archers. *The Chinese Journal of Physiology, 61*(2), 118-123. https://doi.org/10.4077/CJP.2018.BAG560

Ihsan, M., Watson, G. et Abbiss, C. R. (2016). What are the physiological mechanisms for

post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and intermittent exercise? *Sports Medicine*, *46*(8), 1095-1109. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0483-3

Kuligowski, L. A., Lephart, S. M., Giannantonio, F. P. et Blanc, R.O. (1998). Effect of whirlpool therapy on the signs and symptoms of delayed-onset muscle soreness. *J. Athl. Train., 33*, 222-228.

Malta, E. S., Dutra, Y. M., Broatch, J. R., Bishop, D. J. et Zagatto, A. M. (2020). The effects of regular cold-water immersion use on training-induced changes in strength and endurance performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01362-0

Méline, T., Watier, T. et Sanchez, A. M. (2017). Cold water immersion after exercise : Recent data and perspectives on "kaumatherapy." *The Journal of Physiology, 595*(9), 2783-2784. https://doi.org/10.1113/JP274169

Méline, T., Solsona, R., Antonietti, J.-P., Borrani, F., Candau, R. et Sanchez, A. M. J. (2021). Influence of post-exercise hot-water therapy on adaptations to training over 4 weeks in elite short-track speed skaters. *Journal of Exercise Science & Fitness*, *19*(2), 134-142. https://doi.org/10.1016/j.jesf.2021.01.001

Méline, T., Solsona, R., Deriaz, R., Lacroix, J., Candau, R., Borrani, F., Racinais, S. et Sanchez, A. M. J. (Soumis à expertise). Active recovery, versus hot- or cold-water immersion for repeated sprint recovery between twice-daily training sessions in elite athletes.

Moore, E., Fuller, J. T., Buckley, J. D., Saunders, S., Halson, S. L., Broatch, J. R. et Bellenger, C. R. (2022). Impact of cold-water immersion compared with passive recovery following a single bout of strenuous exercise on athletic performance in physically active participants: A systematic review with meta-analysis and meta-regression. *Sports Medicine*, *52*(7), 1667-1688. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01644-9

Roberts, L. A., Nosaka, K., Coombes, J. S. et Peake, J. M. (2014). Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 307*(8), R998-R1008. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00180.2014

Roberts, L. A., Raastad, T., Markworth, J. F., Figueiredo, V. C., Egner, I. M., Shield, A., Cameron-Smith, D., Coombes, J. S. et Peake, J. M. (2015). Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training. *The Journal of Physiology, 593*(18), 4285-4301. https://doi.org/10.1113/JP270570

Scoon, G. S. M., Hopkins, W. G., Mayhew, S. et Cotter, J. D. (2007). Effect of post-exercise sauna bathing on the endurance performance of competitive male runners. *Journal of Science and Medicine in Sport, 10*(4), 259-262. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.06.009

Skurvydas, A., Kamandulis, S., Stanislovaitis, A., Streckis, V., Mamkus, G. et Drazdauskas, A. (2008). Leg immersion in warm water, stretch-shortening exercise, and exercise-induced muscle damage. *J. Athl. Train., 43*, 592-599. https://doi.org/10.4085/1062-6050-43.6.592

Tamura, Y., Matsunaga, Y., Masuda, H., Takahashi, Y., Terada, S., Hoshino, D. et Hatta, H. (2014). Postexercise whole body heat stress additively enhances endurance training-induced mitochondrial adaptations in mouse skeletal muscle. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 307*(7), R931-943. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00525.2013

Vaile, J., Halson, S., Gill, N. et Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *Int. J. Sports Med., 29*(7), 539-544. https://doi.org/10.1055/s-2007-989267

Versey, N. G., Halson, S. L. etDawson, B. T. (2013). Water immersion recovery for athletes: effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Med. Auckl. NZ, 43*, 1101-1130. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0063-8

MINISTÈRE
DES SPORTS
ET DES JEUX OLYMPIQUES
ET PARALYMPIQUES
Liberté
Égalité
Fraternité

INSEP

**INSTITUT NATIONAL DU SPORT,
DE L'EXPERTISE ET DE LA PERFORMANCE**

11, avenue du Tremblay - 75012 PARIS
Tél. 01 41 74 41 00
www.insep.fr

adidas
TOP PARTENAIRE

TOYOTA
PARTENAIRE OFFICIEL