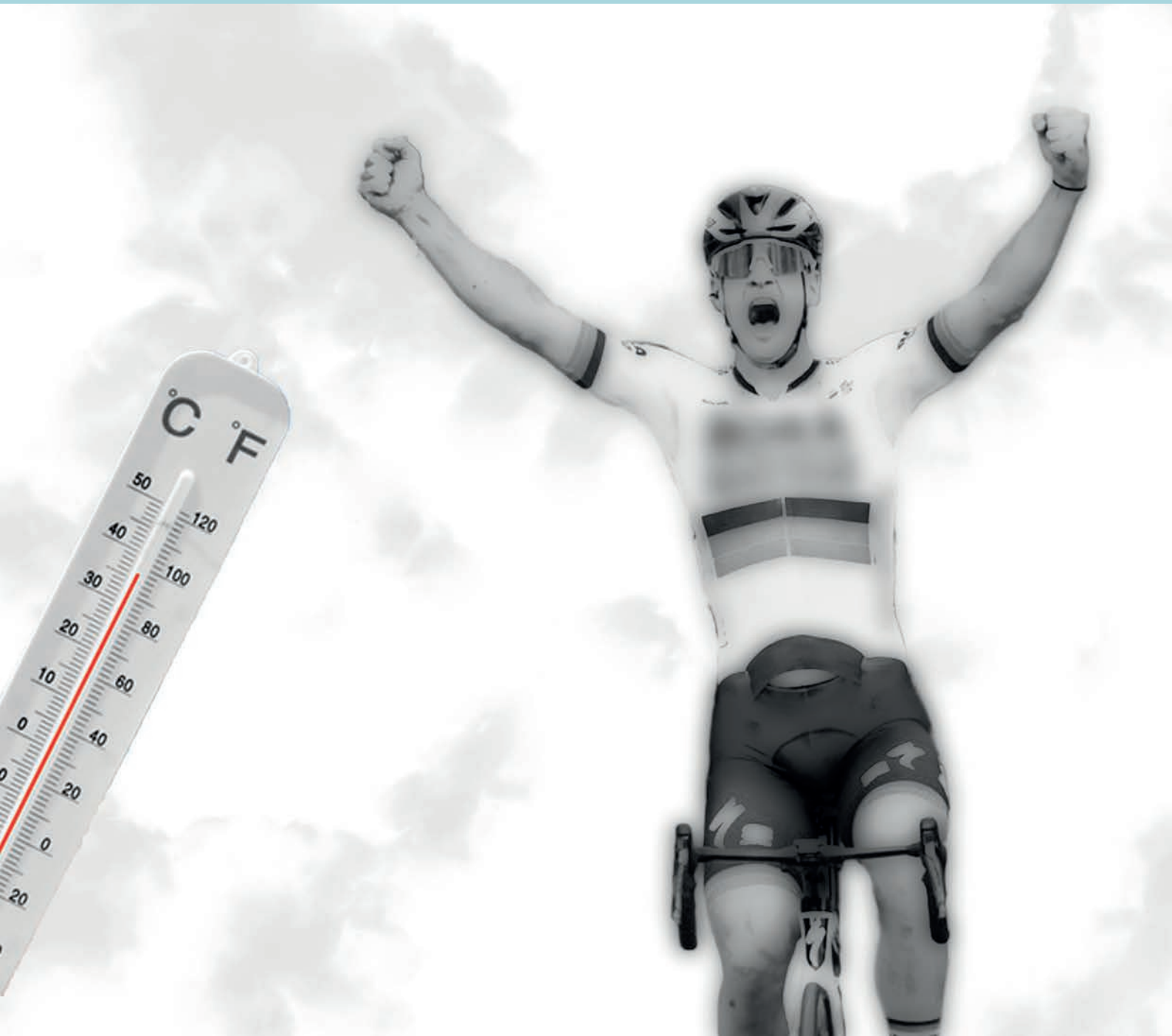


Bénéfices de la technologie SNØ-B sur les réponses physiologiques, biologiques et la performance en ambiance chaude chez des cyclistes entraînés

Rapport rédigé par Christophe Hausswirth, PhD et Xavier Nesi, PhD



SOMMAIRE

1. introduction	3
1.1. Contexte	3
1.2. Stratégies d'intervention	3
1.2.1. Le cooling pré-exercice.....	4
1.2.2. Le cooling post-exercice	5
1.3. Cooling et vestes réfrigérantes	6
1.3.1. Les différents types de veste.....	6
1.3.2. La conception des vestes glacées	6
1.3.3. Limites des vestes réfrigérantes.....	8
1.3.4. Recommandations sur l'utilisation des vestes réfrigérantes	8
1.3.5. Recommandations sur la conception de vestes réfrigérantes	9
1.4. Objectifs de l'étude.....	9
2. Matériels et méthode.....	9
2.1. Population de l'étude.....	9
2.2. Design de l'étude	10
2.2.1. Test progressif jusqu'à épuisement.....	10
2.2.2. test en ambiance chaude.....	10
2.2.3. Analyse statistique.....	12
3. Résultats	13
3.1. Test progressif jusqu'à épuisement	13
3.2. test en ambiance chaude	13
3.2.1. Test de performance	13
3.2.2. Réponse cardiaque.....	13
3.2.3. Évolution de la température corporelle.....	14
3.2.4. Évolution de la température cutanée.....	15
3.2.5. Évolution de la lactatémie	16
3.2.6. Difficulté d'effort perçue	16
3.2.7. Confort thermique	17
3.2.8. Volume plasmatique et masse corporelle	18
4. Ce qu'il faut retenir	18
5. Bibliographie	19

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

Au cours de l'exercice, le fonctionnement des différents systèmes physiologiques implique une augmentation importante de la température corporelle interne, pouvant conduire à une réduction de la performance et accroître le risque de stress thermique (Armstrong *et al.* 2007 ; Wendt *et al.* 2007). L'atteinte d'une température critique pour l'organisme est accélérée lorsque l'exercice est réalisé en conditions chaudes et humides. Dans ces conditions, l'évaporation de la sueur à la surface de la peau requise pour maintenir une température corporelle stable peut alors dépasser la capacité maximale d'évaporation autorisée par l'environnement, créant un stress thermique de plus en plus important et néfaste pour la santé. Dans ces conditions, la chaleur métabolique produite par les muscles en activité, associée à la chaleur de l'environnement, entraînent une augmentation progressive de la température corporelle. De plus, l'augmentation du flux sanguin cutané pour accentuer la sudation entraîne aussi une augmentation de l'activité cardiovasculaire (i.e., fréquence cardiaque, débit cardiaque) et métabolique (i.e., consommation énergétique).

Alors que le fonctionnement homéostatique normal agit pour restreindre la montée excessive de la température corporelle centrale (Maughan et Shirreffs 2004), des interventions externes sont de plus en plus proposées afin de réduire la charge de thermorégulation avant et après l'exercice, favorisant la performance et la récupération (Quod *et al.* 2006 ; Duffield 2008). Par conséquent, les interventions de refroidissement pré et post exercice (cooling pré et post-exercice) font l'objet d'études scientifiques et sont couramment utilisées dans le domaine de la recherche (Reilly *et al.* 2006 ; Duffield *et al.* 2009a).

L'utilisation des techniques de refroidissement comprend généralement l'utilisation d'une gamme d'interventions mises en place pour réduire la température de la peau, du muscle et/ou la température corporelle centrale et les fonctions physiologiques associées (Marino 2002). Les techniques de refroidissement peuvent être classées selon des interventions sur le corps entier (immersion en eau froide, douches, chambres froides) ou une partie du corps (vestes glacées, serviettes froides, poches glacées) (Duffield 2008). Alors que le refroidissement du corps entier est présenté comme la meilleure stratégie d'intervention, il est le plus difficile à mettre en place au niveau logistique. Plus pratique, le port d'une veste réfrigérante serait la stratégie de refroidissement la plus adaptée au milieu sportif. En effet, ce type de vêtement peut être porté directement sur le terrain de l'entraînement, avant ou après une activité physique et même au cours de la période d'échauffement. De cette façon, il est possible d'abaisser la température corporelle (cutanée et centrale) dans l'objectif de reculer l'atteinte d'une température critique à partir de

laquelle les capacités physiques sont dégradées, et ainsi d'augmenter la capacité de travail au cours de l'exercice suivant.

Dans une étude méta-analyse récente, regroupant les principales études sur le sujet, Wegmann *et al.* (2012) annonçaient un effet général bénéfique des vestes réfrigérantes sur la performance physique (+4,8% en moyenne). Ces résultats ont été enregistrés principalement dans les sports d'endurance avec une augmentation des temps limites en course à pied (Uckert and Joch 2007) et cyclisme (Hasegawa *et al.* 2005; Hausswirth *et al.* 2012). Le port d'une veste réfrigérante est également possible dans les disciplines sportives impliquant une répétition d'efforts entrecoupées de périodes de récupération au cours de la même journée, tels que le BMX, les sports de combats ou les sports collectifs (Duffield *et al.* 2010). Portée au cours des périodes de récupération, telles que les mi-temps des sports collectifs, la veste réfrigérante permettrait ainsi d'accélérer la récupération afin d'aborder l'exercice suivant dans les meilleures conditions.

1.2. STRATÉGIES D'INTERVENTION

Le cooling pré-exercice est généralement utilisé dans des conditions environnementales chaudes, et est considéré comme ergogène quand la charge thermorégulatrice de l'exercice est importante (Marino 2002 ; Wendt *et al.* 2007 ; Duffield 2008). La majorité des études portant sur le pré-cooling à l'aide d'une veste réfrigérante a été réalisée avant des exercices d'endurance sollicitant principalement la filière aérobie, en particulier la course à pied et le cyclisme en laboratoire (Arngrimsson *et al.* 2004; Hausswirth *et al.* 2012; Hornery *et al.* 2005; Webster *et al.* 2005).

Par ailleurs, le cooling post-exercice est devenu une stratégie de récupération populaire dans de nombreux sports, et est utilisée dans différentes conditions environnementales, sans se soucier de la charge thermorégulatrice ou environnementale (Vaile *et al.* 2008 ; King et Duffield 2009).

Une partie grandissante de la littérature scientifique souligne les bénéfices ergogéniques potentiels du cooling pré et post-exercice, particulièrement dans des conditions environnementales chaudes. Selon ces résultats, le cooling pré-exercice utilisé aussi bien avant les exercices d'endurance que intermittents, semble être bénéfique dans des températures chaudes, en particulier pour des exercices réalisés à allure libre (Kay *et al.* 1999 ; Arngrimsson *et al.* 2005). Alors que l'intérêt du cooling post-exercice pour accélérer la récupération est plus équivoque (Barnett 2006), des études récentes rapportent des bénéfices de cette stratégie au niveau physiologique et sur la performance, en particulier dans la chaleur (Lane et Wenger 2004 ; Vaile *et al.* 2008).

1.2.1. LE COOLING PRÉ-EXERCICE

Les bénéfices du cooling pré-exercice sur la performance semblent dépendre du type et de la durée de l'exercice effectué. En général, les performances ne sont pas améliorées au cours d'exercices de courte durée et d'intensité maximale réalisés suite à un refroidissement, alors que les performances au cours d'exercices prolongés continus et intermittents peuvent être améliorées (Duffield 2008). Si une exposition initiale suffisante au cooling pré-exercice est assurée, les réponses physiologiques induites par le froid tendent à perdurer pendant 30 min (Marino 2002 ; Duffield et al. 2010). Les recherches impliquant des exercices prolongés supérieurs à 5 min dans des conditions chaudes rapportent aussi une amélioration des performances (Marino 2002 ; Quod et al. 2006). Que l'exercice soit effectué à intensité constante ou à allure libre (Lee et Haymes 1995 ; Kay et al. 1999), jusqu'à épuisement, sur une distance fixée ou libre (Booth et al. 1997 ; Arngrimsson et al. 2003), le cooling pré-exercice est généralement ergogène dans la chaleur. Les bénéfices les plus importants du pré-cooling sur les capacités de thermorégulation de l'organisme sont enregistrés lorsque la veste de froid est portée pendant une durée suffisamment importante (20 à 65-min) et pendant l'échauffement. En effet, le contact de la veste avec la peau entraîne un refroidissement localisé de la peau (Arngrimsson et al. 2004). La réalisation additionnelle d'un exercice de faible intensité augmente le flux sanguin du corps entier, permettant ainsi de rediriger le sang plus froid des régions refroidies vers le corps entier. Arngrimsson et al. (2004) ont rapporté une diminution des valeurs de température cutanée et centrale grâce au port d'une veste de froid pendant la période d'échauffement comparativement à un groupe contrôle sans veste, confirmant le fait que la veste absorbe l'excès de chaleur produite au cours de l'échauffement. Au cours cette étude, Arngrimsson et al. (2004) enregistraient également une amélioration de la performance en course à pied (une épreuve de 5-km) de 13-sec dans un environnement chaud et humide (32°C et 50% d'humidité) grâce au port de la veste réfrigérante durant l'échauffement.

Les premières études sur les méthodes de cooling pré-exercice utilisaient souvent des protocoles à intensité fixe sur des durées définies ou jusqu'à l'épuisement volontaire, rapportant soit les réponses physiologiques pendant au moins 20-min pour atteindre les intensités fixées (Hessemer et al. 1984), soit pendant des durées d'exercice supérieures jusqu'à l'épuisement du sujet (Lee et Haymes 1995). L'importance de l'augmentation de la durée jusqu'à épuisement suite au cooling pré-exercice semble dépendre de l'intensité de l'exercice et du type d'intervention utilisée. Cependant, des améliorations de 1 à 15% ont été rapportées (Olschewski et Brück 1988 ; Quod et al. 2006). Des études plus récentes ont incorporé des protocoles d'exercice à allure libre, démontrant une amélioration des performances

dans la chaleur suite au cooling pré-exercice (Booth et al. 1997 ; Kay et al. 1999 ; Arngrimsson et al. 2003). Les données de la littérature indiquent des gains de performances de l'ordre de 1 à 6% pour des protocoles d'exercice à allure libre réalisés après une période de refroidissement (Kay et al. 1999 ; Quod et al. 2006). Ces améliorations de performance sont classiquement liées à une réduction de la charge cardio-vasculaire et à une amélioration de la fourniture en oxygène (Hessemer et al. 1984 ; Olschewski and Brück 1988).

Par ailleurs, le cooling pré-exercice n'améliore pas la performance de courte durée d'intensité maximale (moins de 3 min) et pourrait même être nuisible (Crowley et al. 1991 ; Sleivert et al. 2001 ; Figure 1). Le cooling pré-exercice pourrait ralentir la conduction nerveuse, ralentir le fonctionnement des enzymes glycolytiques et augmenter la résistance muscle-tendon (Bishop 2003). Selon ces données, et en prenant en compte les mécanismes principaux responsables des bénéfices du cooling pré-exercice tels que l'amélioration de la fonction thermorégulatrice, une réduction de la charge cardio-vasculaire et de l'inhibition du système nerveux central, il n'est pas surprenant que les effets du cooling pré-exercice sur les efforts d'intensité maximale soient négligeables. Ainsi, l'effet du cooling pré-exercice pour les exercices maximaux de courte durée peut ne pas être garanti, et même pour des exercices de durée prolongée, un échauffement suffisant doit être mis en place en parallèle de toute méthode de cooling pré-exercice (Duffield et Lovell 2009).

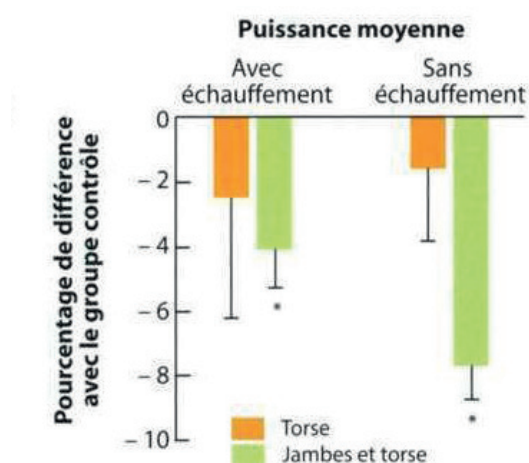


Figure 1. Changements moyens, par rapport à la situation contrôlée, des valeurs des puissances moyennes enregistrées lors du sprint de 45-sec sur ergocycle, avec ou sans échauffement préalable, et après un cooling pré-exercice du torse ou des jambes et du torse.

En résumé, les données de laboratoire et de terrain supportent l'utilisation du cooling pré-exercice pour améliorer la performance et limiter la montée de la température corporelle durant des exercices continus et intermittents de durée prolongée effectués dans la chaleur. Alors que réduire la température d'un muscle actif est connu pour réduire la capacité de production de force, cette

théorie semble être renversée par la suppression bénéfique de toute sous-régulation des muscles actifs liée à la chaleur au cours de l'exercice. Par ailleurs, cette contradiction explique probablement pourquoi le cooling pré-exercice a des effets négatifs sur les efforts maximaux de courte durée, mais est ergogénique pour les exercices de longue durée. Ainsi, les méthodes incluant le corps entier ou les méthodes associées semblent efficaces pour réduire l'effort de thermorégulation et améliorer les performances au cours d'exercices réalisés dans la chaleur.

1.2.2. LE COOLING POST-EXERCICE

Le refroidissement effectué post-exercice (cooling post-exercice), en particulier à travers l'immersion en eau froide est une méthode de récupération populaire pour beaucoup de sportifs et de scientifiques (Barnett 2006). Alors que les données de la recherche restent quelques peu équivoques, assez de données existent pour suggérer des bénéfices liés à cette intervention. Vaile et al. (2008) ont rapporté une réduction de 4% de la performance au cours d'un second exercice de 30 min de cyclisme réalisé après une période de récupération active, alors que l'immersion en eau froide maintenait la performance suite à une récupération effectuée dans la chaleur (34°C). En accord, Lane et Wegner (2004) ont rapporté une petite augmentation du travail réalisé suite à un refroidissement, au cours d'une seconde session maximale de 18 min de cyclisme réalisée 24h après la première. Cette petite amélioration contrastait avec les réductions significatives notées lorsque la récupération passive était employée suite au premier exercice de cyclisme. Ainsi, actuellement, une position mitigée existe quant à l'efficacité du cooling post-exercice pour améliorer la récupération et la performance.

En dépit de résultats mitigés sur les effets sur la performance, l'immersion en eau froide et le cooling post-exercice semblent réduire plus efficacement la température corporelle moyenne et la fréquence cardiaque (Vaile et al. 2008) ; cependant, sans différences au niveau des marqueurs sanguins du métabolisme (Halsen et al. 2008). Ceci a conduit au postulat suivant : l'immersion en eau froide engendrerait un ajustement de la distribution circulatoire, qui pourrait favoriser la performance au cours de l'exercice suivant (Vaile et al. 2008). De plus, les bénéfices du cooling post-exercice semble les plus apparents suite à un exercice réalisé dans la chaleur (Halsen et al. 2008 ; Duffield et al. 2009b). Une forte charge thermique interne peut engendrer un déclin immédiat de la performance et ralentir la récupération d'un fonctionnement optimal (Wendt et al. 2007). Ainsi, le degré de stress thermique induit par l'exercice ou l'incapacité de tolérer la charge imposée peut engendrer une baisse prolongée de la performance. Des recherches précédentes ont souligné la réduction de l'activation volontaire suite à un exercice épuisant à cause d'une hyperthermie du corps entier, impliquant une réduction sélective

par le système nerveux central des muscles actifs suite à l'exercice (Martin et al. 2004 ; Thomas et al. 2006). Selon ces données, la réduction de la force maximale peut être le résultat d'une réduction de la commande du système nerveux central vers les muscles actifs, agissant comme un mécanisme de protection visant à réduire la production de chaleur métabolique et à limiter la montée de la température corporelle (Tucker et al. 2004 ; Martin et al. 2004). Par ailleurs, ceci souligne que le maintien d'une forte charge thermique interne peut affecter la performance dans les exercices suivants. Alors que des résultats contradictoires existent, le cooling post-exercice est certainement bénéfique pour réduire la charge thermique interne, et peut améliorer la performance au cours d'exercices d'endurance ou prolongés d'intensité élevée.

À notre connaissance, seules quatre études ont étudié les réponses physiologiques induites par le port d'une veste réfrigérante comme stratégie de post-cooling (Brade et al. 2010; Lopez et al. 2008; Minett et al. 2013; Webster et al. 2005). Les résultats principaux de ces quatre études n'indiquent pas d'effet bénéfique significatif de la veste sur la réduction de la contrainte thermique après un exercice de cyclisme de 30-min à 75% de $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Brade et al. 2010), après 2 x 35-min de sprints intermittents en course à pied (Minett et al. 2013), après 30-min de course à pied à 70% de $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Webster et al. 2005) ou après 60-min de course à pied à 60% de FC_{max} (Lopez et al. 2008). Les protocoles précédents étaient tous réalisés dans des conditions climatiques difficiles (température moyenne : $34,2 \pm 2,2^{\circ}\text{C}$, humidité relative moyenne : $49,7 \pm 5,5\%$), et entraînaient une augmentation importante de la température cutanée et centrale (Figure 2).

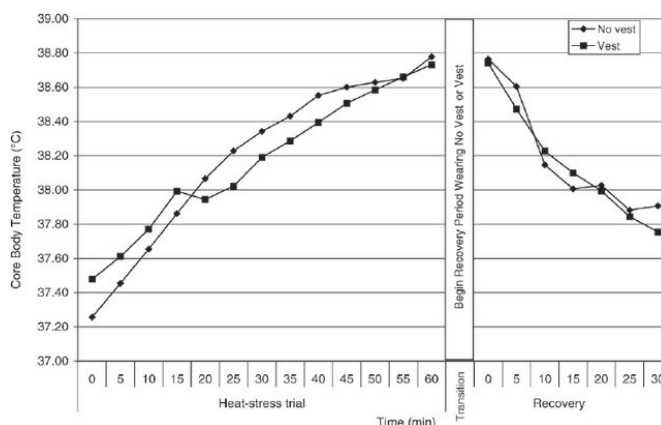


Figure 2. Evolution de la température centrale au cours d'un exercice de course à pied de 60-min dans des conditions climatiques difficiles (33°C, 55% RH), et au cours de la période de récupération avec ou sans veste réfrigérante (Lopez et al. 2008).

Seuls Webster et al. (2005) enregistraient une diminution plus rapide de la température cutanée après un exercice de 30min de course à pied dans la chaleur, probablement expliqué par le fait que la veste réfrigérante était aussi portée au cours de la période d'échauffement qui précédait l'exercice.

Néanmoins, le refroidissement plus rapide après l'exercice n'était pas suffisant pour accélérer significativement le retour à une fréquence cardiaque de base.

Un autre domaine d'importance pratique est l'aide à la récupération psychologique suite à l'exercice. Les données de la littérature indiquent que le cooling post-exercice est bénéfique à la perception d'un état de récupération optimale (Ingram et al. 2009 ; Duffield et al. 2009b). Les données récentes indiquent une réduction de la perception de l'effort et du niveau de douleur musculaire suite au cooling post-exercice ou à une récupération effectuée en ambiance froide (Duffield et al. 2009b ; King et Duffield 2009).

1.3. COOLING ET VESTES RÉFRIGÉRANTES

1.3.1. LES DIFFÉRENTS TYPES DE VESTE

Une veste réfrigérante se présente généralement sous la forme d'un gilet (avec ou sans manches) semblable à un gilet pare-balles, et muni d'un système de refroidissement. On retrouve ainsi différentes appellations, avec parmi les plus répandues « veste réfrigérante, gilet refroidissant, veste de froid ». Différents types de vestes sont actuellement sur le marché, et diffèrent en fonction de leur système de refroidissement. Il s'agit soit de packs de glaces positionnés dans la veste (i), soit d'un tuyau parcourant l'intérieur de la veste (ii), soit de matériaux à changement de phase positionnés dans la veste (iii) (*Image 1*). Chacune de ces trois technologies a pour objectif de fournir rapidement une source de froid permettant à la personne de mieux supporter l'environnement dans lequel elle se trouve.

i) les vestes glacées contiennent généralement plusieurs packs de glace à une température moyenne de 0-4°C, positionnés dans la veste (au niveau du torse et du dos) le plus tard possible avant l'exposition à la chaleur.

ii) les vestes disposant d'un système de refroidissement par un liquide circulant. Dans cette configuration, un tuyau rempli d'eau parcourt l'ensemble de la veste ou du vêtement (gilet, pantalon), relié à une cuve réfrigérante. L'eau froide parcourt ainsi le tuyau dans toute la veste, en circuit fermé pendant une durée choisie. Cette méthode est efficace car elle permet de créer un « microclimat » à température constante autour du corps, mais est peu pratique en raison de la cuve refroidissante à transporter en plus de la veste. Par ailleurs, ce type de veste nécessite une alimentation électrique ou sous forme de batterie.

iii) les vestes avec matériaux à changement de phase (vestes MCP), contiennent comme pour les vestes à packs de glace, des packs de matériaux à changement de phase (principalement des additifs de sulfate de sodium mélangés à de l'eau) c'est-à-dire capables de changer d'état physique à partir d'une

certaine température. Les matériaux à changement de phase ont généralement une température de fusion autour de 30°C ; ils passent de l'état solide à liquide lorsque la température de l'environnement dans lequel ils se trouvent atteint cette température de fusion. Ainsi, de nombreux facteurs peuvent influencer l'efficacité d'une veste MCP ; le gradient de température entre la température cutanée et la température de fusion de la veste MCP, la quantité de MCP, et comme pour les autres types de vestes, le type de vêtement porté entre la veste et la peau, et le pourcentage de graisse sous-cutanée (Gao et al. 2011).



Image 1. Vestes réfrigérantes incluant différentes techniques de refroidissement ; i) des packs de glace, ii) un liquide circulant, iii) des packs de matériaux à changement de phase.

1.3.2. LA CONCEPTION DES VESTES GLACÉES

Dans le domaine sportif, les principales vestes réfrigérantes utilisées sont les vestes glacées, contenant des packs de glace positionnés dans les doublures de la veste aussi bien au niveau du torse que du dos. Outre les caractéristiques techniques des matériaux refroidissants, d'autres facteurs conditionnent l'efficacité d'une veste réfrigérante, tels que la surface couverte par les matériaux refroidissants, et leur isolement au sein de la veste.

Les matériaux constituant les doublures et le procédé de fabrication des vestes (e.g. nombre de couches d'isolants entre la glace et le corps) influencent le refroidissement du corps. La comparaison de l'efficacité de 2 vestes réfrigérantes destinées au monde sportif, mais de fabrication différente (Artic-heat® et Cryovest®), a été étudiée lors d'un protocole réalisé dans une chambre climatique à 30°C et 80% d'humidité relative, au sein d'une même population (Castagna et al. 2013). La veste Artic-heat® était composée de quatre bandes horizontales sur les faces antérieure et postérieure, couvrant une surface totale de 0,1039 m², alors que le modèle Cryovest® était composé de huit poches (quatre à l'avant et quatre dans le dos) couvrant une surface de 0,1800 m² (*Image 2*).

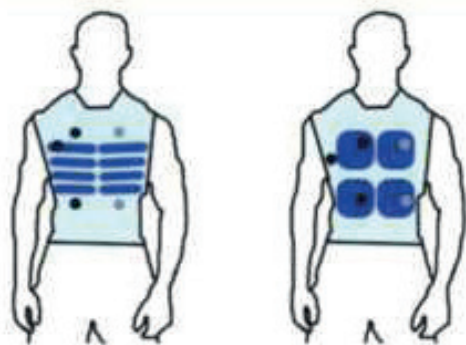


Image 2. Représentation schématique des deux vestes refroidissantes: Arctic-heat® à gauche et Cryovest® à droite. En bleu clair sont représentées les formes générales des vestes, en bleu foncé sont représentées les zones refroidissantes des vestes. Pour les deux vestes prises séparément, les faces antérieures et postérieures étant identiques, seules les faces antérieures sont représentées.

La principale différence technique entre les deux vestes résidait dans le degré d'isolement des packs de glace au sein du tissu. La veste offrant le plus grand isolement des packs de glace (Cryovest®) permettait de maintenir plus longtemps le refroidissement de l'organisme au cours de l'exercice et durant la phase de récupération (*Image 3*). Elle permettait de mettre en place un microclimat au sein de la veste, abaissant la température cutanée aux alentours de 20°C. Le gradient de température entre la face interne de la veste et la peau était maintenu pendant 85-min. A l'inverse, l'autre veste (Arctic-heat®) pour laquelle les packs de glace étaient quasiment directement en contact avec la peau entraînait la plus forte diminution de température cutanée (entre 5 et 9°C) mais se réchauffait plus rapidement, puisque le gradient de température entre la face interne de la veste et la peau disparaissait au bout de 10-min. En conséquence, l'augmentation de la fréquence cardiaque (FC), de la consommation en oxygène (VO_2), de la sudation, de la température cutanée et centrale était moindre suite au port du modèle Cryovest® comparativement au modèle Arctic-heat®.

La surface corporelle refroidie serait également importante dans la réduction de la charge thermique. En effet, Minett et al. (2011) montraient une relation proportionnelle entre la surface corporelle refroidie et la capacité de performance en course à pied. Le port d'une veste de froid (Arctic-Heat®) associée au placement d'un linge froid sur la tête et la nuque et d'une immersion des mains dans l'eau froide, permettait d'obtenir les meilleurs résultats comparativement au refroidissement unique de la tête, et au refroidissement de la tête et des mains. La stratégie de refroidissement couvrant la plus large surface corporelle permettait d'augmenter la capacité de sprint de 12% par rapport à une condition contrôle, et de 6 et 7% par rapport aux stratégies de refroidissement de la tête uniquement, et des mains associées à la tête.

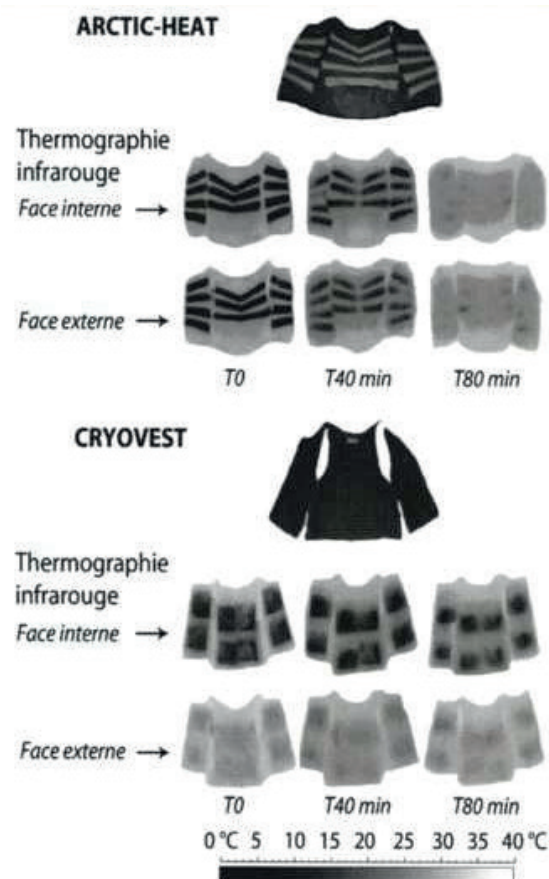


Image 3. Thermographie infrarouge des faces internes et externes des deux gilets refroidissants suspendus à un cintre durant 80-min dans une chambre climatique (température de l'air : 30°C, humidité relative de l'air : 80 %). Plus les zones sont sombres, plus elles sont froides.

Récemment, Tyler et Sunderland (2011) rapportaient aussi un effet bénéfique du refroidissement unique de la nuque sur la performance en cyclisme au cours d'un exercice de temps limite réalisé à 70% de VO_2 max dans une chambre climatique (32°C, 53% HR). Au cours de cette étude, un même groupe de participants effectuait l'exercice de cyclisme avec et sans un collier refroidissant contenant 5 poches de gel réfrigérant préalablement placées au congélateur. Le port du collier refroidissant permettait d'augmenter le temps jusqu'à épuisement de 13,5%. La température rectale et la FC enregistrées en fin d'exercice étaient supérieures pour le groupe ayant porté le collier durant l'exercice, comparativement au groupe contrôle. En revanche, les sensations thermiques et l'effort perçu enregistrés n'étaient pas différents entre les groupes, suggérant une meilleure tolérance à la contrainte thermique lorsque le cou est refroidi. Cette étude apporte des informations supplémentaires sur les effets du refroidissement de l'organisme au cours de l'effort. Le cou, au même titre que la tête, étant une zone hautement thermosensible, son refroidissement serait particulièrement important pour diminuer la charge thermique de l'organisme (Cotter and Taylor 2005). La nuque serait une zone optimale à refroidir en raison de sa proximité avec les centres de thermorégulation, localisés à la base du cerveau et recevant les signaux provenant de nombreux thermorécepteurs profonds et périphériques. Suite

cette étude, on peut s'attendre à des résultats encore plus bénéfiques sur la capacité de performance des sportifs dans la chaleur grâce à une veste de froid disposant d'un système de refroidissement intégré dans le col.

Enfin, dans une méta-analyse récente sur les stratégies de pré-cooling, Ross et al. (2013) se proposaient de classer les vestes de froid en 3 catégories principales en fonction de leur utilisation :

- (i) les vestes très près de corps afin d'augmenter la surface de contact entre la veste et la peau,
- (ii) les vestes humides afin d'augmenter le taux de transfert de la chaleur entre le corps et la veste,
- (iii) les vestes contenant du gel refroidissant à base de silice, favorisant le refroidissement du corps par évaporation.

Malheureusement, l'absence d'informations et de comparaisons entre ces différents types de veste ne permet pas de statuer clairement sur les bénéfices supérieurs d'une technologie par rapport à une autre.

1.3.3. LIMITES DES VESTES RÉFRIGÉRANTES

De manière générale, la majorité des études rapporte une amélioration des performances en endurance, en course à pied et en cyclisme, suite au port d'une veste réfrigérante avant et/ou pendant la période d'échauffement précédent l'exercice. Néanmoins, certaines études récentes présentent des résultats mitigés lorsque ce type de veste est porté dans les conditions suivantes :

- lorsque la veste est portée durant de courtes périodes. En effet, Duffield et al. (2003) n'enregistraient aucun bénéfice lié au port d'une veste réfrigérante au cours des courtes périodes de récupération (4 x 5-min et 10-min) qui séparaient des sprints intermittents en cyclisme. Selon ces données, davantage de temps serait nécessaire pour diminuer la contrainte thermique imposée à l'organisme. Une autre solution serait d'accentuer le refroidissement en associant un refroidissement de la nuque, de la tête et ou des jambes.
- lorsque la veste est portée avant des exercices de sprints intermittents en cyclisme ou en course à pied (Duffield et al. 2003; Duffield and Marino 2007; Duffield et al. 2009a). En effet au cours de leurs études sur les sports collectifs impliquant des efforts intermittents, Duffield et al. n'enregistraient pas d'effets positifs marqués sur les performances maximales en sprint de joueurs de rugby et hockey sur gazon. Seule la capacité de performance à intensité sous-maximale serait améliorée grâce au port d'une veste réfrigérante avant l'effort. Dans l'étude de Cheung et Robinson (2004), 30 minutes de pré-cooling par une veste réfrigérante ne permettaient pas non plus d'améliorer les puissances maximales et moyennes enregistrées au cours de sprints maximaux de 10s en cyclisme effectués toutes les 5 minutes d'un exercice de 30min à 50% de $\dot{V}O_{2max}$

dans des conditions tempérées (22°C, 40% HR). En revanche, la température cutanée et la fréquence cardiaque au cours de périodes d'exercice sous-maximal étaient inférieurs grâce au pré-cooling comparativement à un groupe contrôle, renforçant les bénéfices liés au port d'une veste réfrigérante pour les exercices d'endurance.

- lorsque la veste est portée trop loin du début de l'exercice physique et/ou avant l'échauffement. Plusieurs études ont rapporté une moindre diminution de la température centrale lorsque le port d'une veste de froid n'était pas accompagné d'un échauffement (Bogerd et al. 2010; Duffield et al. 2010; Quod et al. 2008; Ross et al. 2011). Dans cette dernière condition, des diminutions de température cutanée (Quod et al. 2008; Uckert and Joch 2007) et de flux sanguin cutané (Bogerd et al. 2010) sont généralement enregistrées, sans diminution de la température centrale (Bogerd et al. 2010; Minett et al. 2011), indiquant que le transfert de chaleur entre la veste et le corps se fait principalement à partir de la peau et moins à partir des territoires centraux. De plus, lorsque le port d'une veste de froid est trop éloigné de l'exercice, les bénéfices liés au refroidissement de l'organisme semblent s'annuler. Quod et al. (2008) n'ont rapporté aucun effet du port d'une veste réfrigérante pendant 40min avant un échauffement, sur la performance chronométrique au cours d'un exercice de contre la montre de 40min en cyclisme, réalisé dans la chaleur (34°C, 41% HR).

1.3.4. RECOMMANDATIONS SUR L'UTILISATION DES VESTES RÉFRIGÉRANTES

- Le port des vestes réfrigérantes est conseillé pour tous les athlètes des disciplines d'endurance.
- Peu d'études ont étudié les effets du port d'une veste réfrigérante dans le cadre de sports intermittents, avec des résultats mitigés. Les vestes permettraient d'améliorer uniquement la performance lors des phases de jeu à faible intensité.
- Les vestes réfrigérantes sont recommandées principalement comme stratégie de pré-cooling avant l'activité physique, et en particulier lorsque la contrainte thermique est importante.
- Les vestes réfrigérantes sont également efficaces lorsqu'elles sont portées entre deux exercices consécutifs.
- Le port d'une veste réfrigérante après un exercice (stratégie de post-cooling) ne semble pas efficace pour accélérer la récupération, en particulier si l'exercice a été réalisé en conditions chaudes. Le refroidissement obtenu ne serait pas assez intense, comparativement à une stratégie d'immersion en eau froide.
- Il n'existe pas de température idéale à maintenir pour les vestes réfrigérantes. En toute logique, la température la plus froide offre le refroidissement le plus important. Les vestes permettant de créer un microclimat en leur sein (~20°C), grâce à un isolement des matériaux refroidissants sont à privilégier afin d'obtenir un refroidissement stable et durable.

- L'effet refroidissant des vestes est supérieur lorsqu'elles sont portées au cours de la période d'échauffement précédant un exercice physique. Elles doivent être retirées le plus tard possible avant le début de l'exercice.
- Les vestes doivent être légères (<3kg), et faciles à utiliser pour les sportifs.
- Les vestes doivent être portées pendant une durée suffisamment longue pour réduire la contrainte thermique (entre 20 et 65min).
- Une stratégie de refroidissement combinée, utilisant une veste réfrigérante, l'immersion des membres inférieurs et/ou le refroidissement de la tête et de la nuque, ainsi qu'une hydratation régulière, peut être envisagée dans le cas de conditions climatiques très difficiles (chaleur et hygrométrie très élevées).

1.3.5. RECOMMANDATIONS SUR LA CONCEPTION DE VESTES RÉFRIGÉRANTES

L'utilisation d'une veste réfrigérante sur le terrain de l'entraînement et/ou de la compétition doit permettre de refroidir efficacement l'organisme tout en répondant à des questions pratiques et logistiques afin de ne pas perturber les conditions de pratique du sportif. Selon les données de la littérature, l'efficacité d'une veste réfrigérante dépend principalement de trois facteurs :

- (i) l'intensité du refroidissement (i.e. le nombre de blocs de glace ou quantité de liquide refroidissant en son sein),
- (ii) la surface corporelle couverte par les matériaux refroidissants (le refroidissement de la nuque serait important),
- (iii) l'isolation des matériaux refroidissants par rapport à l'environnement extérieur (création d'un micro climat qui maintient longtemps la sensation de fraîcheur).

Enfin, les précédents éléments doivent être combinés, tout en prenant en compte la masse de la veste qui doit restée limitée afin de conserver ses qualités pratiques et de ne pas gêner le sportif dans ses déplacements.

1.4. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Cette présente étude a été réalisée pour quantifier les bénéfices potentiels d'une nouvelle technologie de production de froid pouvant s'intégrer dans une veste à usage professionnel et sportif. Cette nouvelle technologie (SNØ-B) repose sur un ensemble de module à effet Peltier (*Image 4*). Le dispositif est constitué 6 modules (*Image 5*) : 4 modules pour la face antérieure du tronc et 2 sur la face postérieure du tronc.

Plus précisément, l'objectif était d'évaluer l'efficacité de la technologie SNØ-B sur la tolérance à l'exercice et la performance lors d'une épreuve sous-maximale suivie d'un test de temps limite à intensité élevée

réalisé en ambiance chaude Le protocole de l'étude a été construit de façon à pouvoir comparer les réponses physiologiques, biologiques, thermiques et perceptuelles entre une situation contrôle et 2 situations incluant des périodes de pré- et post-cooling réalisées avec soit le dispositif électronique SNØ-B, soit la veste refroidissante CryoVest®.

Comparativement à la CryoVest®, la valeur ajoutée de la technologie SNØ-B réside notamment dans sa capacité à produire un niveau de froid relativement constant sur une durée prolongée Cet avantage potentiel pourrait conduire à une meilleure réduction de la charge thermique et à une amélioration de la performance en ambiance chaude.

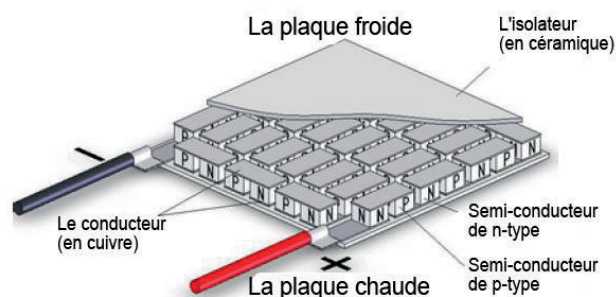


Image 4. Module Peltier, ou module à refroidissement thermoélectrique

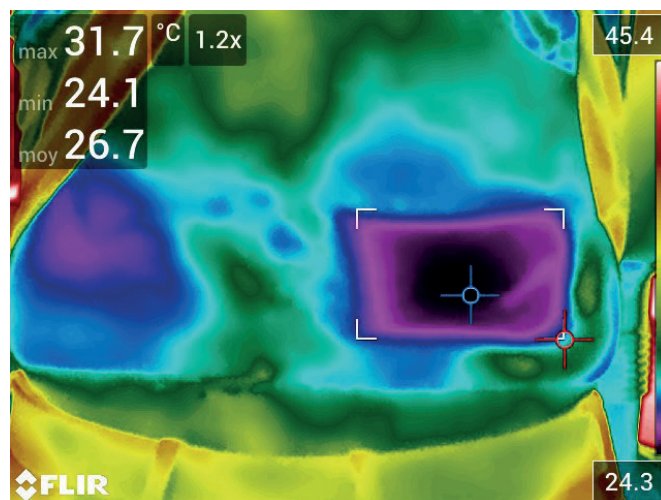


Image 5. Exemple de thermographie infrarouge réalisée sur un module SNØ-B.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1. POPULATION DE L'ÉTUDE

Un groupe de 16 hommes entraînés en cyclisme ont volontairement participé à l'étude. Cette population est composée de triathètes amateurs et élites s'entraînant en moyenne de 10 à 12 heures par semaine en cyclisme. Aucun participant n'a réalisé de période d'acclimatation à la chaleur dans les semaines précédant l'étude. Les caractéristiques

antropométriques des participants sont présentées au **Tableau 1**.

Il a été demandé aux participants d'adapter leur programme d'entraînement afin d'y inclure les tests de cette présente étude et réduire leur charge d'entraînement 48 heures avant chaque test.

Les sujets ont été pleinement informés par écrit et par oral sur le but de l'étude, et ont signé un consentement éclairé en présence d'un cardiologue.

Tableau 1. Valeur moyenne $\pm$ écart-type des caractéristiques anthropométriques de la population.

Participants (N)	16
Age (années)	36,9 $\pm$ 8,6
Taille (cm)	176,4 $\pm$ 7,0
Masse corporelle (kg)	68,3 $\pm$ 10,3
Indice de Masse Corporelle (kg/m ²)	21,8 $\pm$ 1,8
Masse grasse (%)	10,1 $\pm$ 4,1

2.2. DESIGN DE L'ÉTUDE

Chaque participant réalise 4 tests sur vélo réalisés dans des conditions de laboratoire :

- Un test progressif jusqu'à épuisement ;
- Trois tests en ambiance chaude (36°C) selon différentes conditions expérimentales : 1- condition contrôle (C) ; 2- avec une veste de froid classique (CryoVest, CV) ; 3- avec un dispositif électronique de froid (SNØ-B, SB)

Les tests sont réalisés sur un ergomètre Monark LC6 Novo (MONARK EXERCISE AB, Vansbro, Suède) réglé aux côtes du sujet et équipé avec ses pédales automatiques personnelles. Sur l'ensemble des tests, la fréquence de pédalage est librement choisie par le sujet.

2.2.1. TEST PROGRESSIF JUSQU'À ÉPUISEMENT

La semaine précédant la période dédiée aux épreuves en ambiance chaude, un test progressif jusqu'à épuisement, supervisé par un cardiologue (ECG de repos, ECG d'effort, tension artérielle), a permis la détermination de la consommation maximale d'oxygène (VO₂max), des seuils ventilatoires et de la Puissance Maximale Aérobie (PMA).

À la suite d'une période de repos de 1-min, le premier palier est fixé à 100W pendant 3-min, puis la puissance est augmentée de 25W toutes les 2-min. La PMA est calculée à partir du temps réalisé dans le dernier palier du test à partir de l'équation

$$PMA (W) = Ls + 25 * (t / 120),$$

où Ls est le dernier palier de puissance terminée complètement ; 25 est l'incrément de puissance ; t est le temps, en seconde, réalisé dans le dernier palier ; et 120 est la durée en seconde d'un palier.

Les échanges gazeux sont mesurés en cycle à cycle (Cosmed Quark RMR, Rome, Italie), puis moyennés sur 30-sec. La plus haute valeur de consommation d'oxygène moyennée est retenue comme étant la consommation maximale d'oxygène (VO₂max). La fréquence cardiaque (FC) est obtenue à partir d'une ceinture thoracique permettant une mesure de l'activité électrique du cœur (Polar H10, Kempele, Finland) et la plus haute de valeur est retenue comme étant la fréquence cardiaque maximale (FCmax).

Les critères de maximalité du test sont, un plateau de VO₂ malgré l'augmentation de la puissance, un quotient respiratoire (QR ; VCO₂/VO₂) supérieur à 1,15, et une fréquence cardiaque supérieure à 90% de la fréquence cardiaque théorique.

Le premier et le second seuils ventilatoires (SV₁ et SV₂, respectivement) sont définis de manière graphique à partir de la cinétique du débit ventilatoire (VE) et des équivalents respiratoires en O₂ (VE/VO₂) et CO₂ (VE/VCO₂).

2.2.2. TEST EN AMBIANCE CHAUDE

Les tests en ambiance chaude sont réalisés sur ergomètre dans une chambre thermique (Thermo Training Room, CREPS PACA, Antibes, France) . La Thermo Training Room est réglée pour de façon à ce que chaque test soit réalisé à une température ambiance de 36 $\pm$ 1°C.

Les participants sont installés dans la Thermo Training Room pour la totalité du test. Le test est divisé en 4 phases (**Figure 16**) :

- Phase 1 : Après une période de repos, assis pendant 20-min, les participants réalisent un échauffement de 10-min fixé à 30% de PMA (i.e., 98 $\pm$ 18 W) ;
- Phase 2 : Les participants enchaînent avec un exercice de 20-min réalisé à 80% de SV₁ (i.e., 182 $\pm$ 31 W) ;
- Phase 3 : Un repos de 20-min, assis ;
- Phase 4 : Une épreuve de temps limite (Tlim) réalisée à 90% de SV₂ (i.e., 251 $\pm$ 45 W)

Chaque participant réalise le test en ambiance chaude dans chacune des 3 conditions expérimentales :

- Condition contrôle (CT) : aucune phase de cooling lors du test
- Condition CryoVest (CV) : port d'une veste de froid classique (CryoVest®, SM Europe, La Mézière, France) lors de la phase 1 (i.e., pré-cooling) et de la phase 3 (i.e., un post-cooling)
- Condition SNØ-B (SB) : port d'un dispositif électronique de froid (SNØ-B) lors de la phase 1 (i.e., pré-cooling) et de la phase 3 (i.e., un post-cooling)

Pour chacun des participants, ces 3 conditions expérimentales sont planifiées selon un ordre aléatoire et séparées par au moins 5 jours de repos ou d'entraînement de faible intensité. Chaque test est réalisé dans les mêmes conditions et à la même

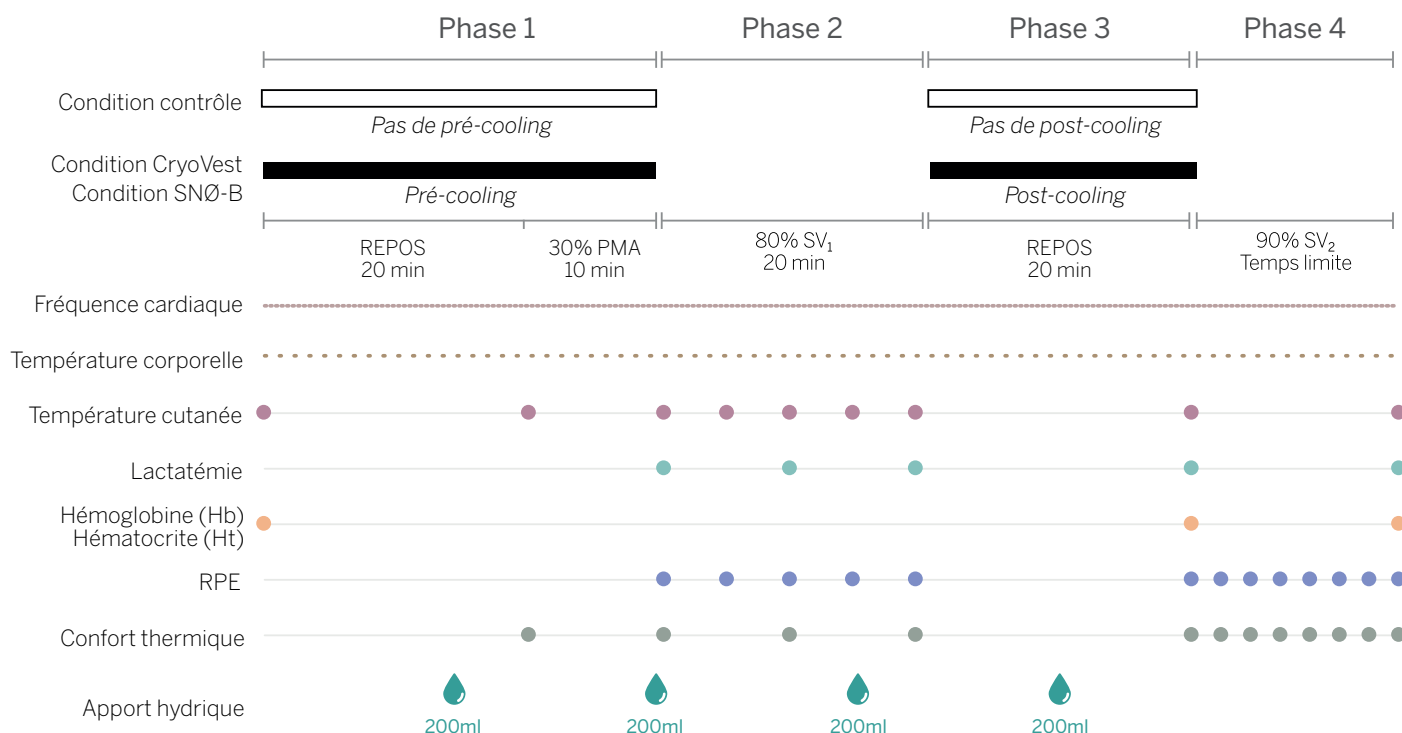


Figure 16. Représentation du design expérimental, illustrant les 4 phases du test et les différentes mesures réalisées. Chaque participant réalise le test dans les 3 conditions expérimentales : condition contrôle (CT), sans pré- et post-cooling ; conditions Cryovest (CV) et SNØ-B (SB) avec pré-cooling en phase 1 et post-cooling en phase 3.

heure de façon à limiter l'influence des variations circadiennes sur les différents paramètres mesurés.

Pendant toute la durée du test, la fréquence cardiaque est mesurée toutes les secondes par pléthysmographie optique au niveau de l'avant-bras (Polar OH1, Kempele, Finland ; Schubert et al. 2018 ; Image 6).



Image 6. Capteur optique de fréquence cardiaque Polar OH1.

La température corporelle (T_{CORE}) est enregistrée à partir d'une capsule ingérable e-Celsius et du récepteur e-Viewer (BodyCap, Caen, France ; Image 7). La capsule est fournie au participant lors de son précédent test et il lui est demandé de l'avaler 6 à 8 heures avant son test. Les données de température (précision $0,1^{\circ}C$, enregistrement toutes les minutes) sont stockées dans la capsule et téléchargées directement à la fin de l'épreuve. Une étude comparative de Bongers et al. (2018)

a démontré que le système BodyCap est un outil de mesure de la température corporelle valide et reproductible.

La température cutanée est mesurée via une caméra infrarouge thermique (FLIR T540, FLIR® Systems, Inc., Wilsonville, OR, USA). La chaleur captée par caméra infrarouge est quantifiée de façon à pouvoir mesurer avec précision ($\pm 2\%$) la température de surface. La caméra thermique est positionnée sur un trépied placé à 1 mètre devant l'ergocycle, de telle sorte qu'elle soit face au participant. La hauteur du trépied, l'angle de vue de la caméra et la zone d'analyse sont définis pour chaque test de façon à obtenir les valeurs de température au niveau de la poitrine des participants. Les valeurs de température cutanée de la zone (T_{AREA}) et minimale (T_{COLD}) sont mesurées en début de test (Image 8), à la fin de chaque période de repos ou d'exercice, et toutes les 5 minutes pendant la phase 2.



Image 7. Système BodyCap composé des capsules ingérables e-Celsius et du récepteur e-Viewer.

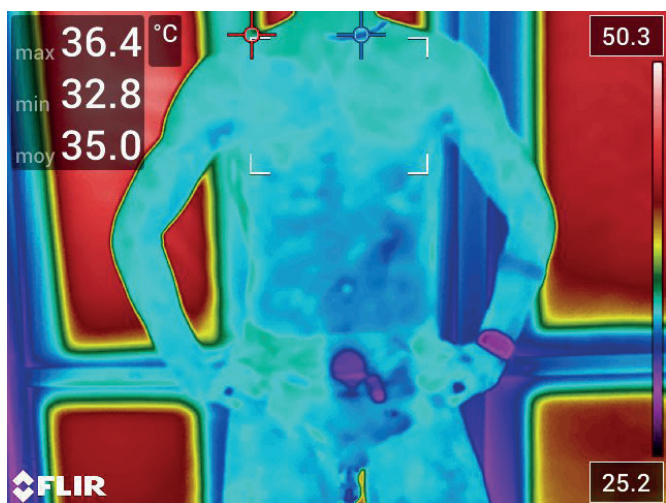


Image 8. Thermographie infrarouge réalisée en début de test. La température moyenne de la zone (T_{AREA}) est de 35,8°C et le point le plus froid de la zone (T_{COLD}) est de 32,8°C.

Dans les conditions expérimentales CV et SB (i.e., avec des phases de cooling), la thermographie est réalisée immédiatement après que le participant ait ouvert sa CryoVest® ou retiré le dispositif SNØ-B.

La concentration de lactates sanguins est mesurée à partir d'un échantillon de sang (3 µl) pris au niveau de la pulpe du doigt (Lactate Pro 2, Arkray, Japon). Le Lactate Pro2 a fait l'objet d'une récente étude de validation et est recommandé pour les tests physiques réalisés chez les athlètes (Bonaventura et al., 2015). La lactatémie est mesurée en début, milieu (i.e., à 10min) et fin de la phase 2 ; puis en début et fin de phase 4 (Image 9).

Les taux d'hémoglobine (Hb) et d'hématocrite (Ht) sont également mesurés à partir d'un échantillon de sang (10 µl) pris au niveau de la pulpe du doigt (Hémoglobinomètre Mission Hb, ACON® Laboratories, Inc., San Diego, CA, USA). Le pourcentage de variation du volume plasmatique (%VP) induit par la réalisation du test a été calculé à partir des taux d'hémoglobine et d'hématocrite mesurés en début de phase 1 (Hb_0 et Ht_0 , respectivement), en fin de la phase 3 (Hb_3 et Ht_3 , respectivement), et en fin de phase 4 (Hb_4 et Ht_4 , respectivement).



Image 9. Mesure de la lactatémie pendant le test dans la Thermo Training Room.

Le volume plasmatique en début de phase 1 (VP_0), en fin de phase 3 (VP_3) et en fin de phase 4 (VP_4) est calculé par les équations proposées par Dill et Costill (1974) :

$$VP_0 = 100 - (100 \times Ht_0)$$

$$VP_3 = (100 \times (Hb_0/Hb_3)) - ((100 \times (Hb_0/Hb_3)) \times Ht_3)$$

$$VP_4 = (100 \times (Hb_0/Hb_4)) - ((100 \times (Hb_0/Hb_4)) \times Ht_4)$$

Les variations de volume plasmatique entre le début du test et avant l'épreuve de Tlim (% VP_{INIT}), lors du Tlim à 90% SV_2 (% VP_{Tlim}), et entre le début et la fin du test (% VP_{TEST}) sont calculées par :

$$\%VP_{INIT} = (VP_3 - VP_0) / VP_0$$

$$\%VP_{Tlim} = (VP_4 - VP_3) / VP_3$$

$$\%VP_{TEST} = (VP_4 - VP_0) / VP_0$$

Pendant le test, la difficulté d'effort perçue est évaluée au début et toutes les 5-min lors de la phase 2 à partir de l'échelle 6-20 de Borg (RPE ; Borg, 1982). De la même façon, la RPE est évaluée au début (i.e. dès la 15^{ème} seconde du Tlim) et toutes les 2 à 3-min lors de la phase 4.

Le confort thermique est évalué à partir d'une échelle de satisfaction du confort à 9 échelons (Smolander et al., 2004) : -4 (Très inconfortable), 0 (Neutre), +4 (Très confortable). Il est demandé au participant d'évaluer le confort thermique à la fin de la période de repos lors de la phase 1 ; en début, milieu (i.e., à 10min) et fin de la phase 2 ; puis au début et toutes les 2 à 3-min lors de la phase 4.

Lors du test, les apports hydriques sont identiques pour tous les participants dans les 3 conditions expérimentales, et définis à 200 ml d'eau minérale toutes les 15 minutes, soit 4 prises à 15, 30, 45 et 60-min.

La performance est définie par la valeur de temps limite à 90% de SV_2 , c'est-à-dire par le temps de maintien de la puissance imposée. Lorsque le cycliste n'arrive plus à maintenir une cadence de pédalage supérieure à 60 tours/min, ou lorsqu'il n'arrive plus à développer la puissance imposée, le temps d'exercice à 90% de SV_2 est enregistré (i.e., le Tlim).

Les participants sont pesés, avec leur cuissard uniquement, avant d'entrer dans la Thermo Training Room et au terme de l'épreuve de temps limite afin d'évaluer la variation de la masse corporelle.

2.2.3. ANALYSE STATISTIQUE

Les résultats sont exprimés sous la forme de moyenne $\pm$ écart-type. Les valeurs de FC mesurées lors des tests en ambiance chaude sont exprimées en valeur absolue (bpm) et en % de FC max (i.e., obtenue lors du test progressif jusqu'à épuisement). Les données enregistrées de FC (1-sec) et de température corporelle (1-min) sont moyennées sur 15-sec et 3-min, respectivement. De la phase 1 à la phase 3 (soit 1h10 de test), les données de FC et température corporelle sont analysées par intervalle

de 5-min. Pour la phase 4, l'analyse des résultats est réalisée en fonction du temps limite exprimé en quartiles (i.e., Q0 : valeur calculée à 0% du Tlim, Q1 : valeur calculée à 25% du Tlim, Q2 : valeur calculée à 50% du Tlim, Q3 : valeur calculée à 75% du Tlim, Q4 : valeur calculée à 100% du Tlim). Les valeurs de RPE et de confort thermique sont modélisées par un polynôme de 3^{ème} degré et extrapolées pour chaque quartile du temps limite à 90%SV₂.

La taille de l'effet définie à partir du d de Cohen est calculée entre chaque condition expérimentale et interprétée comme étant faible ou petite (>0,2), moyenne ou modérée (>0,5), grande ou importante (>0,8) et très grande ou très importante (>1,3).

3. RÉSULTATS

3.1. TEST PROGRESSIF JUSQU'À ÉPUISEMENT

La PMA, la VO₂max, la FCmax et les valeurs maximales de VE et de quotient respiratoire (QR) calculées en fin de test sont respectivement de 336,2 ± 57,2 W, 65,1 ± 3,0 ml/min/kg, 175 ± 8 bpm, 169,7 ± 24,4 l/min et 1,06 ± 0,05.

La puissance du premier seuil ventilatoire est de 225,2 ± 40,7 W, soit, 67,1 ± 2,8% PMA. La FC est 144 ± 9 bpm, soit 82,2 ± 2,4% FCmax. La VO₂, le VE et le QR associés au SV₁ sont respectivement de 50,9 ± 4,1 ml/min/kg, 80,4 ± 12,4 l/min et 0,90 ± 0,06.

Au SV₂, la puissance est de 282,3 ± 51,7 W, soit 83,9 ± 3,4% PMA, et le FC est de 160 ± 9 bpm, soit 91,4 ± 2,0% FCmax. La VO₂, le VE et le QR associés au SV₁ sont respectivement de 58,5 ± 3,7 ml/min/kg, 108,0 ± 13,8 l/min et 0,98 ± 0,05.

3.2. TEST EN AMBIANCE CHAUDE

3.2.1. TEST DE PERFORMANCE

Le test limite d'exercice (Tlim) à 90% SV₂ est 12min38 ± 03min54 dans la condition contrôle. Avec le port de la Cryovest® et de la SNØ-B lors des phases 1 et 3, le Tlim est respectivement de 14min48 ± 04min10 et 19min09 ± 04min19.

Dans les 2 conditions incluant du cooling, la performance est améliorée par rapport à la condition contrôle (CV : + 02min10, soit +17,1%, ES = 0,54 - Moyen ; SB : +06min31, soit +51,6%, ES = 1,59 - Très grand). De plus, le Tlim est supérieur en condition SB comparativement à la condition CV (+04min22, soit +29,5%, ES = 1,03 - Grand).

3.2.2. RÉPONSE CARDIAQUE

Les cinétiques de %FCmax dans les 3 conditions lors des phases 1, 2 et 3 sont présentées dans la **Figure 3** et la **Figure 4**. Lors de la phase 1, la réponse de FC à

5, 10 et 15 min n'est pas significativement différente entre les 3 conditions.

À la 20^{ème} minute, à la fin du repos, la FC est inférieure de 8,0 bpm dans la condition SB. Le %FCmax correspond à 37,3 ± 5,3% en SB, à 41,7 ± 3,6% en CT (vs SB, ES = 0,97 - Grand), 42,2 ± 4,1% en CV (vs SB, ES = 1,04 - Grand).

Lors de l'échauffement à 30% PMA, le %FCmax est plus petit en SB vs CT (à 30 min, respectivement 55,5 ± 5,6% et 58,4 ± 3,1%, ES = 0,64 - Moyen), et plus petit en CT vs CV (à 30 min, respectivement 58,4 ± 3,1% et 60,8 ± 1,4%, ES = 0,97 - Grand).

Lors de la phase 2, le %FCmax n'est pas différent entre CT et CV. Dans la condition SB, la FC est en moyenne plus faible de 7,9 bpm. À la 50^{ème} minute, en fin d'exercice à 80% SV₁, le %FCmax correspond à 78,7 ± 2,3% en SB, à 84,5 ± 4,9% en CT (vs SB, ES = 1,55 - Très grand), 83,9 ± 4,2% en CV (vs SB, ES = 1,50 - Très grand).

Lors de la phase 3, la FC redescend à 90,8 ± 6,4 bpm en CT. Avec le port de veste froide, la FC redescend à 85,8 ± 12,8 bpm en CV et à 71,2 ± 9,5 bpm en SB. À la fin de la période de repos, le %FC max correspond à 40,7 ± 5,6% en SB, à 52,6 ± 3,8% en CT (vs SB, ES = 2,49 - Très grand), 53,5 ± 7,4% en CV (vs SB, ES = 1,96 - Très grand).

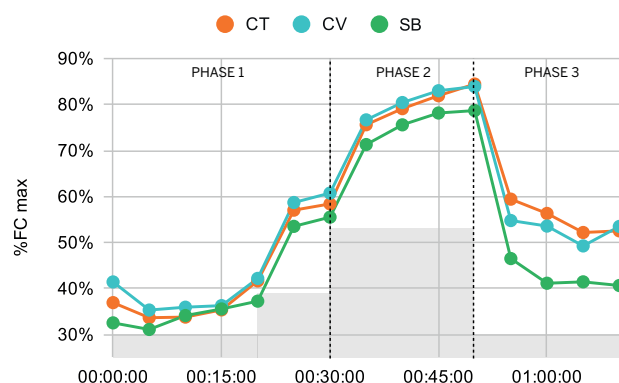


Figure 3. Évolution du %FCmax dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) de la phase 1 à la phase 3.

Lors du test de performance, le %FC max calculé au premier quartile de Tlim est plus faible en SB (85,9 ± 2,3%), comparativement aux conditions CT et CV (respectivement, 87,6 ± 1,9% et 89,1 ± 3,3%). Aux second, troisième et quatrième quartiles, les valeurs de FC et %FCmax sont identiques entre les 3 conditions. En fin de Tlim, le %FCmax est de 99,8 ± 3,8% en CT, 99,8 ± 3,8% en CV, et 98,7 ± 3,2% en SB.

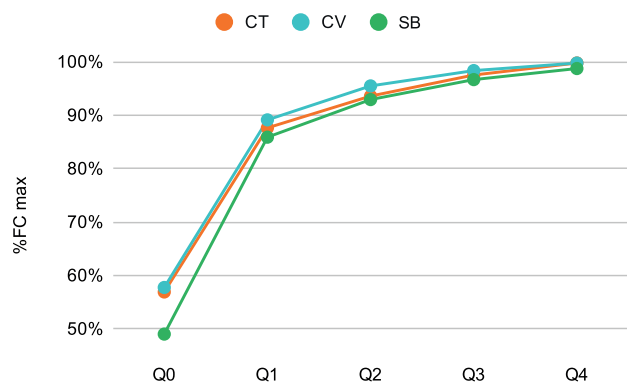


Figure 4. Évolution du %FCmax dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) lors du test de performance (Tlim à 90% SV₂).

3.2.3. ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE CORPORELLE

Sur la totalité du test, la température corporelle (T_{CORE}) est de $37,6 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, $37,3 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ et $37,0 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ dans les conditions CT, CV, et SB, respectivement. L'écart de T_{CORE} entre CT et SB est grand ($-0,6^{\circ}\text{C}$, ES = 0,98 - Grand), et cet écart est faible entre les autres conditions (CT vs CV : $-0,2^{\circ}\text{C}$, ES = 0,45 ; CV vs SB = $-0,4^{\circ}\text{C}$, ES = 0,49).

3.2.3.1. Phase 1 : 20-min au repos

Sur les 5 premières minutes de repos, les valeurs de T_{CORE} sont stables et identiques entre les différentes conditions expérimentales (Figure 5). A partir de la 10^{ème} minute, les T_{CORE} présentent des écarts entre les 3 conditions expérimentales.

Lors de cette période de repos, T_{CORE} reste stable à $37,2 \pm 0,0^{\circ}\text{C}$ dans la condition CT, et baisse progressivement dans les 2 conditions incluant du cooling.

A la fin de la période de repos, l'écart de T_{CORE} entre CT et CV est de $-0,3^{\circ}\text{C}$ ($37,1 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ et $36,8 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ respectivement ; ES = 0,77 - Moyen). Cet écart est deux fois plus grand entre CT et SB ($36,5 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$; ES = 0,72 - Moyen). Une petite différence est observée entre CV et SB (ES = 0,38 - Petit).

3.2.3.2. Phase 1 : 10-min à 30%PMA

Dans les conditions CT et SB, T_{CORE} augmente $0,2^{\circ}\text{C}$ et $0,8^{\circ}\text{C}$ respectivement (ES > 0,57 - Moyen). En revanche, T_{CORE} baisse de $0,1^{\circ}\text{C}$ dans la condition CV (ES = 0,27 - Petit).

A la fin de la phase 1, il n'y a pas d'écart de T_{CORE} entre les 2 conditions incluant du cooling (CV : $36,8 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$; SB : $36,7 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$; ES = 0,10 - Aucun effet). T_{CORE} est plus élevée dans la condition CT ($37,4 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$) comparativement aux 2 autres conditions (ES > 0,82 - Grand).

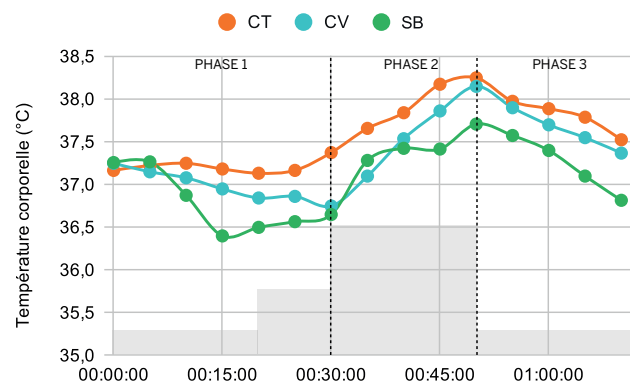


Figure 5. Évolution de la température corporelle (T_{CORE}) lors des phases 1 à 3 dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB).

3.2.3.3. Phase 2 : 20-min à 80% SV₁

T_{CORE} augmente dans les 3 conditions lors de la phase 2 (CT : $+0,9^{\circ}\text{C}$; CV : $+1,4^{\circ}\text{C}$; SB : $+1,1^{\circ}\text{C}$). A la fin de l'exercice, T_{CORE} est identique entre CT et CV ($38,3 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ et $38,2 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, respectivement ; ES = 0,16 - Aucun effet). Dans la condition SB, T_{CORE} est de $37,7 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ et l'écart de température avec les 2 autres conditions est important (ES > 0,82 - Grand).

3.2.3.4. Phase 3 : 20-min au repos

Dans les 3 conditions, T_{CORE} diminue progressivement lors de la seconde phase de repos. La baisse de T_{CORE} est de $0,7^{\circ}\text{C}$ dans la condition CT. Cette réduction de T_{CORE} est plus importante dans les conditions incluant du cooling (CV : $-0,8^{\circ}\text{C}$, ES = 0,30 - Petit ; SB : $-0,9^{\circ}\text{C}$, ES = 0,87 - Grand), particulièrement dans la condition SB (vs CV, ES = 0,54 - Moyen).

3.2.3.5. Phase 4 : Tlim à 90% de SV₂

Au démarrage de l'épreuve de Tlim (i.e. 70^{ème} minute du test), la T_{CORE} est plus faible dans la condition SB ($36,8 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$) comparativement aux 2 autres conditions (CT : $37,5 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$; CV : $37,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$; ES > 0,95 - Grand). Par ailleurs, la T_{CORE} mesurée dans la condition CV est identique à celle de la condition CT (ES = 0,25 - Petit).

Au cours de l'épreuve de Tlim, la T_{CORE} augmente régulièrement dans les 3 conditions (Figure 6). Cette augmentation est similaire entre CT et CV ($1,0 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ et $0,8 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ respectivement, ES = 0,40 - Petit). En revanche, l'augmentation de T_{CORE} est grandement inférieure dans la condition SB ($0,5 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, ES > 0,90 - Grand). La T_{CORE} atteinte à l'arrêt de l'épreuve de Tlim est différente entre les 3 conditions expérimentales (Tableau 2), la T_{CORE} dans la condition SB ($37,3 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$) étant plus basse de $1,2^{\circ}\text{C}$ et de $0,9^{\circ}\text{C}$, comparativement à celles atteintes dans les conditions CT et CV ($38,5 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$ et $38,2 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, respectivement).

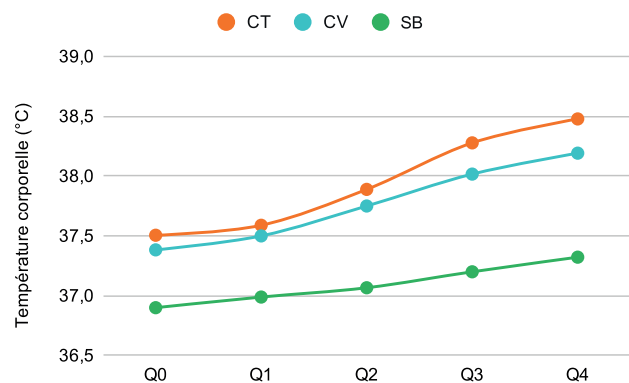


Figure 6. Évolution de la température corporelle (T_{CORE}) lors de la phase 4 dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB).

Tableau 2. Valeur et interprétation de la taille de l'effet (ES) calculée pour la T_{CORE} entre les différentes conditions expérimentales au cours de l'épreuve de Tlim à 90% SV₂.

	CT vs CV	CT vs SB	CV vs SB
ES à Q0	0,25 (Petit)	1,19 (Grand)	0,95 (Grand)
ES à Q1	0,15 (Aucun effet)	1,00 (Grand)	1,15 (Grand)
ES à Q2	0,23 (Petit)	0,17 (Grand)	1,61 (Très grand)
ES à Q3	0,34 (Petit)	1,19 (Grand)	1,53 (Très grand)
ES à Q4	0,33 (Petit)	1,10 (Grand)	1,37 (Très grand)

3.2.4. ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE CUTANÉE

Sur l'ensemble du test, la température cutanée est en moyenne de $35,3 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ pour T_{AREA} et de $33,8 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ pour T_{COLD} dans la condition CT (Tableau 3).

La valeur moyenne calculée pour T_{AREA} est plus faible dans la condition CV comparativement aux conditions CT et SB ($ES > 0,85$ - Grand). Entre les conditions CT et SB, l'écart des valeurs moyennes de T_{AREA} est modéré ($ES = 0,54$ - Moyen).

La valeur moyenne calculée pour T_{COLD} est plus faible dans les conditions incluant du cooling (i.e. CV et SB) comparativement à CT ($ES > 1,27$ - Grand). Entre CV et SB, les valeurs moyennes de T_{COLD} sont similaires ($ES = 0,23$ - Petit).

Tableau 3. Valeur moyenne $\pm$ écart-type calculée sur la durée totale du test pour T_{AREA} et T_{COLD} en fonction des 3 conditions expérimentales.

	CT	CV	SB
T_{AREA}	$35,3 \pm 0,8$	$32,8 \pm 3,3$	$34,9 \pm 0,9$
T_{COLD}	$33,8 \pm 0,8$	$27,9 \pm 6,5$	$29,2 \pm 5,1$

La Figure 7 et la Figure 8 illustrent respectivement l'évolution des valeurs de T_{AREA} et de T_{COLD} dans les 3 conditions expérimentales pendant le test.

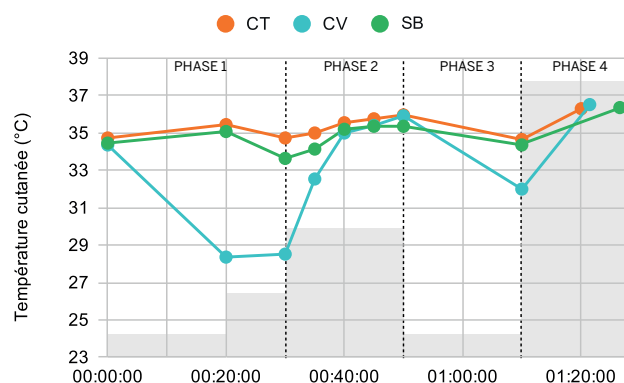


Figure 7. Évolution des valeurs de température cutanée de zone (T_{AREA}) dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) lors l'ensemble du test.

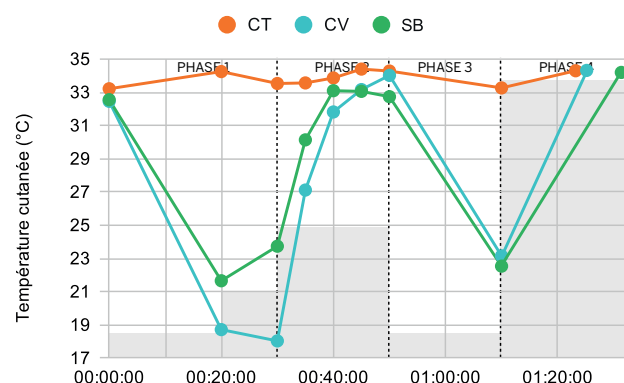


Figure 8. Évolution des valeurs de température cutanée minimale (T_{COLD}) dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) lors l'ensemble du test.

3.2.4.1. Phase 1: 20-min au repos

T_{AREA} diminue de façon importante dans la condition CV ($-6,0^{\circ}\text{C}$), alors qu'elle augmente dans les conditions CT et SB ($+0,6^{\circ}\text{C}$ et $+0,8^{\circ}\text{C}$ respectivement).

T_{COLD} diminue fortement dans les conditions CV et SB ($-13,7^{\circ}\text{C}$ et $-10,9^{\circ}\text{C}$ respectivement), et augmente dans la condition CT ($+1,0^{\circ}\text{C}$).

A la 20^{ème} minute, T_{AREA} est plus basse dans la condition CV ($28,4 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$) comparativement aux conditions CT et SB ($35,5 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ et $35,1 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ respectivement, $ES > 8,0$ - Très grand). T_{COLD} est plus basse dans les 2 conditions incluant du cooling (CV : $18,7 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$; SB : $21,7 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$), que dans la condition CT ($34,3 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$; $ES > 14,1$ - Très grand).

3.2.4.2. Phase 1: 10-min à 30%PMA

T_{AREA} diminue dans les conditions CT et SB ($-0,8^{\circ}\text{C}$ et $-1,5^{\circ}\text{C}$, respectivement), et reste stable pour CV. Une augmentation de T_{COLD} ($+2,1^{\circ}\text{C}$) est observée uniquement en condition SB.

A la 30^{ème} minute, les valeurs de T_{AREA} et T_{COLD} dans la condition CV sont plus basses que celles des conditions CT et SB ($ES > 2,33$ - Très grand ; **Tableau 4**). T_{AREA} et T_{COLD} sont également inférieures dans la condition SB que dans la condition CT ($ES > 2,07$ - Très grand).

Tableau 4. Valeur moyenne $\pm$ écart-type des T_{AREA} et T_{COLD} à la fin de la phase 1 (10-min à 30%PMA) en fonction des 3 conditions expérimentales.

	CT	CV	SB
T_{AREA}	$34,7 \pm 0,6$	$28,5 \pm 1,4$	$33,6 \pm 0,5$
T_{COLD}	$33,5 \pm 0,6$	$18,0 \pm 1,6$	$23,7 \pm 3,1$

3.2.4.3. Phase 2 : 20-min à 80% SV_1

T_{AREA} et T_{COLD} augmentent régulièrement dans les 3 conditions. A la 50^{ème} minute du test, T_{AREA} et T_{COLD} ne sont pas différentes entre CT et CV, et sont plus basses dans la condition SB (**Tableau 5**). L'écart de température entre SB et les 2 autres conditions est de $-0,6^\circ\text{C}$ pour T_{AREA} ($ES > 1,29$ - Grand) et de $-1,3^\circ\text{C}$ pour T_{COLD} ($ES > 0,90$ - Grand).

Tableau 5. Valeur moyenne $\pm$ écart-type des T_{AREA} et T_{COLD} à la fin de la phase 2 (20-min à 80% SV_1) en fonction des 3 conditions expérimentales.

	CT	CV	SB
T_{AREA}	$36,0 \pm 0,5$	$35,9 \pm 0,4$	$35,4 \pm 0,5$
T_{COLD}	$34,3 \pm 0,6$	$34,0 \pm 1,0$	$32,7 \pm 1,7$

3.2.4.4. Phase 3 : 20-min au repos

Les valeurs T_{AREA} et T_{COLD} diminuent dans les 3 conditions lors de la seconde période de repos.

Dans la condition CV, T_{AREA} diminue de $3,9^\circ\text{C}$ entre la 50^{ème} et la 70^{ème} minute du test ($35,9 \pm 0,4^\circ\text{C}$ et $32,0 \pm 1,3^\circ\text{C}$ respectivement, $ES = 4,81$ - Très grand). Cette diminution est de $1,3^\circ\text{C}$ et $1,0^\circ\text{C}$ dans les conditions CT ($36,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ et $34,7 \pm 0,2^\circ\text{C}$ respectivement, $ES = 3,73$ - Très grand) et SB ($35,4 \pm 0,5^\circ\text{C}$ et $34,4 \pm 0,9^\circ\text{C}$ respectivement, $ES = 1,35$ - Très grand).

Dans les conditions incluant du cooling, une diminution supérieure à 10°C des valeurs de T_{COLD} est observée entre la 50^{ème} et la 70^{ème} minute (CV : $34,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$ et $23,2 \pm 2,7^\circ\text{C}$ respectivement, $ES = 5,31$ - Très grand) (SB : $32,7 \pm 1,7^\circ\text{C}$ et $22,5 \pm 1,0^\circ\text{C}$ respectivement, $ES = 7,23$ - Très grand). Dans la condition CT, T_{COLD} diminue de $1,0^\circ\text{C}$ sur cette même durée ($34,3 \pm 0,6^\circ\text{C}$ et $33,3 \pm 0,4^\circ\text{C}$ respectivement, $ES = 2,05$ - Très grand).

3.2.4.5. Phase 4 : Tlim à 90% de SV_2

Au début du test de performance, la T_{AREA} est plus basse dans la condition SB que dans la condition CT ($34,4 \pm 0,9^\circ\text{C}$ et $34,7 \pm 0,2^\circ\text{C}$ respectivement, $ES = 0,43$ - Petit), et T_{AREA} est très grandement plus basse

dans la condition CV ($32,0 \pm 1,3^\circ\text{C}$) que dans les 2 autres conditions ($ES > 2,03$ - Très grand).

Les valeurs de T_{COLD} ne sont pas différentes entre les 2 conditions incluant du cooling (CV : $23,2 \pm 2,7^\circ\text{C}$; SB : $22,5 \pm 1,0^\circ\text{C}$) et sont très grandement inférieures à la valeur observée en condition CT ($33,3 \pm 0,4^\circ\text{C}$, $ES > 5,2$ - Très grand).

A l'arrêt du test, les valeurs de T_{AREA} et T_{COLD} sont identiques entre les 3 conditions (**Tableau 6**).

Tableau 6. Valeur moyenne $\pm$ écart-type des T_{AREA} et T_{COLD} à la fin du test en fonction des 3 conditions expérimentales.

	CT	CV	SB
T_{AREA}	$36,3 \pm 0,9$	$36,5 \pm 0,6$	$36,4 \pm 0,7$
T_{COLD}	$34,3 \pm 1,0$	$34,3 \pm 0,5$	$34,2 \pm 0,8$

3.2.5. ÉVOLUTION DE LA LACTATÉMIE

Au début de la phase 2 (i.e., 20-min à 80% SV_1), la lactatémie est légèrement plus basse dans la condition SB ($2,80 \pm 1,38$ mmol/l), comparativement aux conditions CT ($3,30 \pm 2,09$ mmol/l, $ES = 0,28$ - Petit) et CV ($3,20 \pm 2,07$ mmol/l, $ES = 0,23$ - Petit).

Pour toutes les autres mesures réalisées lors du test (au milieu et à la fin de la phase 2 ; au début et à la fin du Tlim à 90% de SV_2), les valeurs de lactatémie mesurées dans les conditions incluant du cooling (CV et SB) ne sont pas différentes entre elles, et sont plus faibles que celles de la condition CT (**Figure 9**).

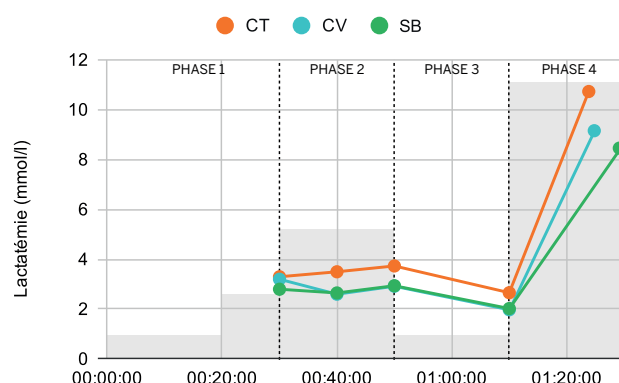


Figure 9. Évolution des valeurs de lactatémie dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) lors l'ensemble du test.

3.2.6. DIFFICULTÉ D'EFFORT PERÇUE

3.2.6.1. Phase 2 : 20-min à 80% SV_1

Lors de l'exercice à 80% SV_1 , les valeurs de RPE augmentent régulièrement dans les 3 conditions expérimentales (**Figure 10**).

La perception de la difficulté de l'effort est systématique plus faible dans la condition CV comparativement à la condition CT ($ES > 0,78$ - Moyen). Dans la condition SB, les valeurs de RPE

sont identiques à celles de la condition CT sur la première moitié de la phase 2, puis deviennent inférieures à la 45^{ème} (CT : $14,0 \pm 1,3$; SB : $13,2 \pm 0,4$, ES = 0,84 - Grand) et 50^{ème} minute (CT : $14,5 \pm 1,4$; SB : $13,6 \pm 0,5$, ES = 0,86 - Grand). A la fin des 20 minutes à 80%SV₁, la difficulté d'effort perçue est identique entre les conditions CV et SB ($13,5 \pm 1,0$ et $13,6 \pm 0,5$ respectivement, ES = 0,12 - Aucun effet).

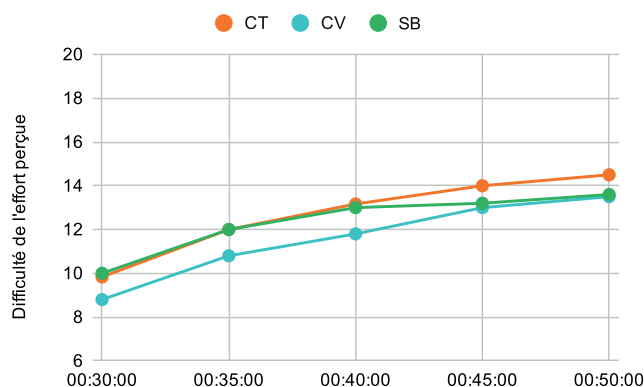


Figure 10. Évolution des valeurs de RPE dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) lors de la phase 2.

3.2.6.2. Phase 4 : Tlim à 90% de SV₂

Dès le début de l'épreuve de Tlim (i.e. 15^{ème} seconde), la difficulté d'effort perçue est légèrement supérieure dans la condition SB ($13,7 \pm 1,6$) comparativement aux conditions CT et CV ($13,3 \pm 2,4$, ES = 0,24 et $13,0 \pm 1,7$, ES = 0,47 respectivement).

Ensuite, à 25% et 50% de la valeur de Tlim mesurée pour chaque condition expérimentale, les valeurs de RPE calculées ne sont pas différentes (Figure 11).

Sur le dernier quart de l'épreuve, la perception de la difficulté de l'effort est moindre dans les conditions incluant du cooling comparativement à la condition CT. A l'arrêt du test, les valeurs de RPE sont de $20,0 \pm 0,1$ pour CT, $19,4 \pm 1,0$ pour CV (vs CT, ES = 0,82 - Grand) et $19,4 \pm 0,4$ pour SB (vs CT, ES = 1,98 - Très grand).

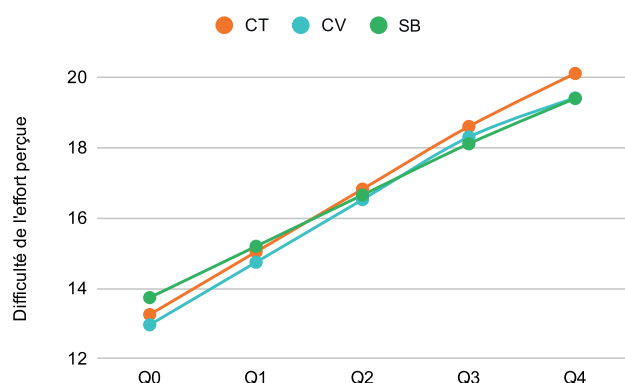


Figure 11. Évolution des valeurs de RPE dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) lors de la phase 4.

3.2.7. CONFORT THERMIQUE

3.2.7.1. Phase 2 : 20-min à 80% SV₁

Au terme de l'échauffement de 10-min à 30% PMA, le confort thermique est moindre dans la condition CT ($1,12 \pm 1,21$) comparativement aux conditions CV ($1,60 \pm 1,88$, ES = 0,30 - Petit) et SB ($1,92 \pm 1,45$, 0,60 - Moyen). Aucun écart de confort thermique n'est observé au début de la phase 2 entre les conditions incluant du cooling (ES = 0,19 - Aucun effet).

Comme présente à la Figure 12, le niveau de confort thermique perçu par les participants diminue au cours de la phase 2. Les valeurs de confort thermique sont plus élevées dans la condition SB comparativement aux 2 autres conditions, et celles de la condition CV sont plus supérieures à celles de la condition CT (à l'exception de la 30^{ème} minute).

3.2.7.2. Phase 4 : Tlim à 90% de SV₂

En réponse à la seconde période de repos, le niveau de confort thermique s'est amélioré dans les 3 conditions expérimentales. Au début de l'épreuve de Tlim, le confort thermique est similaire entre les conditions CV et SB ($1,78 \pm 0,90$ et $2,14 \pm 1,26$ respectivement, ES = 0,32 - Petit), et inférieur dans la condition CT ($1,09 \pm 0,78$; ES > 0,83 - Grand).

Le confort thermique diminue très fortement dès le début de l'épreuve (Figure 13) pour atteindre un niveau "inconfortable" dès 25% du Tlim (CT : $-2,58 \pm 0,54$; CV : $-2,36 \pm 0,71$; SB : $-2,46 \pm 0,89$). Ensuite, les valeurs de confort thermique continuent de diminuer progressivement jusqu'à l'arrêt de l'exercice pour atteindre le niveau "très inconfortable" (CT : $-3,98 \pm 0,05$; CV : $-3,97 \pm 0,07$; SB : $-3,97 \pm 0,06$). Sur l'ensemble de l'épreuve de Tlim, les valeurs de confort thermique ne sont pas différentes entre les 3 conditions expérimentales.

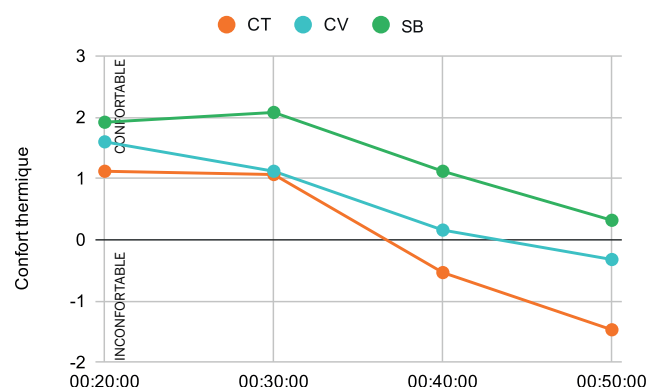


Figure 12. Évolution des valeurs de confort thermique dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) lors de la phase 2.

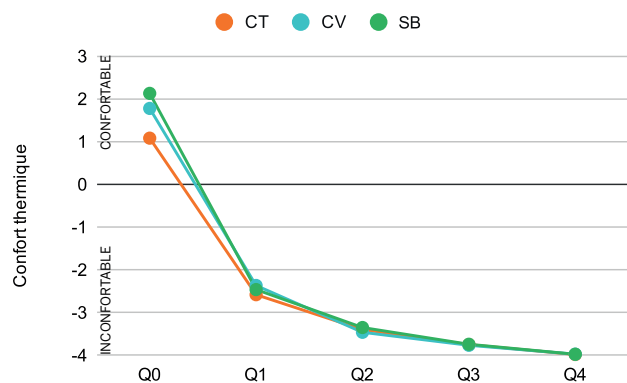


Figure 13. Évolution des valeurs de confort thermique dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB) lors de la phase 4.

3.2.8. VOLUME PLASMATIQUE ET MASSE CORPORELLE

Sur les phases 1 à 3, le volume plasmatique diminue uniquement dans la condition CT (Figure 14). La variation du volume plasmatique (%VP_{INIT}) dans la condition CT (-6,7 ± 10,9%, ES > 0,68 - Moyen) est différente de celles calculées aux conditions CV et SB (0,9 ± 10,0% et 2,8 ± 16,5%, respectivement). La valeur de %VP_{INIT} est identique entre les 2 conditions incluant du cooling (ES = 0,14 - Aucun effet).

La variation de volume plasmatique lors de l'épreuve de Tlim (%VP_{Tlim}) est plus importante dans la condition SB comparativement à la condition CT (-13,4 ± 6,1% et -11,4 ± 6,2% respectivement, ES = 0,33 - Petit). Aucun effet n'est observé sur l'écart de %VP_{Tlim} calculé entre les autres conditions expérimentales.

Sur la totalité du test, la variation de volume plasmatique (%VP_{TEST}) n'est pas différente entre les conditions CV et SB (-11,4 ± 5,7% et -11,0 ± 9,7% respectivement, ES = 0,06 - Aucun effet). En revanche, la valeur de %VP_{TEST} est grandement plus importante dans la condition CT comparativement aux conditions incluant du cooling (-17,1 ± 4,6%, ES > 0,81 - Grand).

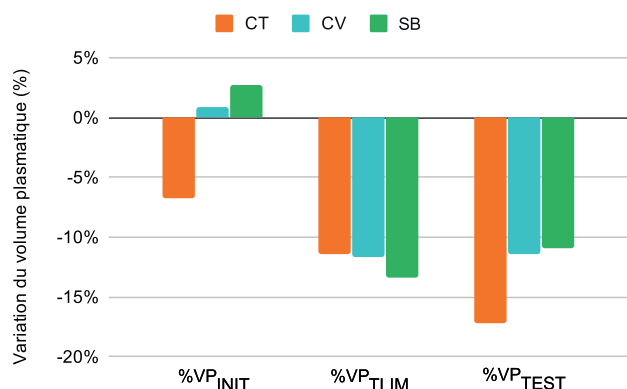


Figure 14. Variation du volume plasmatique sur les phases 1 à 3 (%VP_{INIT}), sur l'épreuve de Tlim (%VP_{Tlim}) et sur la totalité du test (%VP_{TEST}) dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB).

Les valeurs de masse corporelle mesurées au début ou à la fin de test ne sont pas différentes entre

les 3 conditions (Figure 15). La perte de masse corporelle observée entre le début et la fin du test est légèrement plus faible dans la condition SB (-0,56 ± 0,40 kg) comparativement à la condition CT (-0,65 ± 0,36 kg, ES = 0,24 - Petit). Entre les autres conditions expérimentales, la perte de masse corporelle est similaire.



Figure 15. Masse corporelle avant et après le test, et variation de la masse corporelle en réponse au test dans les conditions contrôle (CT), CryoVest (CV) et SNØ-B (SB).

4. CE QU'IL FAUT RETENIR

Le cooling ou refroidissement pré et post-exercice est devenu depuis une quinzaine d'années une stratégie populaire de récupération sportive, notamment lorsque l'exercice se déroule en ambiance chaude. Différentes technologies ont été élaborées afin de pouvoir permettre un accès à une meilleure performance en compétition.

La présente étude démontre l'efficacité du port d'une nouvelle technologie de refroidissement ne nécessitant plus l'usage de packs de froid contraignants pour les équipes et les athlètes. Voici en résumé ce qu'il nous faut retenir de cette étude conduite sur une population de triathlètes entraînés et de bon niveau :

- La performance sportive est améliorée de +29,5% avec la technologie SNØ-B comparativement à la CryoVest® ; et de +51,6% comparativement à une performance sans cooling.
- La réponse cardiaque à l'effort modéré est plus faible de près de 8 bpm avec la technologie SNØ-B comparée aux 2 autres situations (CryoVest® et sans cooling).
- A l'issue d'une période de 20 min de repos ou d'effort modéré, la température corporelle enregistrée est plus faible d'environ 0,5°C comparée aux 2 autres situations (CryoVest® et sans cooling).
- A l'effort modéré, l'usage de la technologie SNØ-B et de la CryoVest® permet de réduire la lactatémie comparativement à une situation sans cooling. Aucune différence n'est observée entre les 2 conditions réalisées avec cooling.
- Le confort thermique est amélioré avec l'usage de la technologie SNØ-B lors de l'effort modéré comparé à aux 2 autres situations (CryoVest® et

sans cooling). Au cours d'un effort intense, le confort thermique est amélioré de façon identique dans les 2 conditions avec cooling.

- La déshydratation (i.e. réduction du volume plasmatique) est réduite de 35% avec l'usage de la technologie SNØ-B ou de la CryoVest® lors d'un exercice réalisé à 36°C.

5. BIBLIOGRAPHIE

Arngrímsson SA, Petitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, Cureton KJ (2004) Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *J Appl Physiol* 96min1876–1874.

Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW, Roberts WO (2007) American College of Sports Medicine position Stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Ex* 39;556-572.

Barnett A (2006) Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. Does it help? *Sports Med* 36min781-796.

Bishop D (2003) Warm Up I. Potential mechanisms and the effects of passive warm-up on exercise performance. *Sports Med* 33,439-454.

Bongers CCWG, Daanen HAM, Bogerd CP, Hopman MTE, Eijvogels TMH. Validity, Reliability, and Inertia of Four Different Temperature Capsule Systems. *Med Sci Sports Exerc.* 2018 Jan;50(1):169-175. doi: 10.1249/MSS.0000000000001403.

Booth J, Marino F, Ward JJ (1997) Improved running performance in hot humid conditions following whole body precooling. *Med Sci Sports Ex* 29min943-949.

Castle PC, Macdonald AL, Philip A, Webb A, Watt PW, Maxwell NS (2006) Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *J Appl Physiol* 100min1377-1384.

Castagna O, Nesi X, Brisswalter J, Hausswirth C (2013) Comparaison entre deux gilets refroidissants : effets sur le rendement énergétique lors d'un exercice de pédalage en condition chaude et humide, et lors de la période de récupération. In Hausswirth, C. (Ed.), *Améliorer sa récupération en sport*. INSEP-Éditions: 239-250. doi :10.4000/books.insep.1368

Cotter JD, Taylor NA (2005) The distribution of cutaneous sudomotor and alliesthesial thermosensitivity in mildly heat-stressed humans: an open-loop approach. *J Physiol* 565min 335-45

Crowley GC, Garg A, Lohn MS, Van Someren S, Wade AJ (1991) Effects of cooling the legs on performance in a standard Wingate anaerobic power test. *Br J Sports Med* 25min200-203.

Dawson B, Gow S, Modra S, Bishop D, Stewart G (2005) Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours. *J Sci Med Sport* 8(2):210-221

Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol.* 1974 Aug;37(2):247-8.

Duffield R (2008) Cooling interventions for the protection and recovery of exercise performance from exercise-induced heat stress. In *Thermoregulation and Human Performance. Physiological and Biological Aspects.* Med Sports Sci 53min89-103.

Duffield R, Steinbacher G and Fairchild TJ (2009a) The use

of mixed-method, part-body pre-cooling procedures for team-sport athletes training in the heat. *J Strength Cond Res* 23(9):2524-2534.

Duffield R, King M and Skein M (2009b) Recovery of voluntary and evoked muscle performance following intermittent-sprint exercise in the heat. *Int J Sports Physiol Perform.* 4min 254-268.

Duffield R and Lovell R (2009) To warm up or to pre-cool? The paradox of optimal strategies to undertake prior to exercise in the heat. In *Body Temperature Regulation.* Ed Cisneros AB and Goins BL. Nova Science Publishers. 209-225.

Duffield R, Green R, Castle P and Maxwell N (2010) Pre-cooling can prevent the reduction of self-paced exercise intensity in the heat. *Med Sci Sports Ex.* In press.

Gagge AP, Fobelets AP, and Berglund L. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions* 1986, 92(2B), 709-731.

Gao C, Kuklane K, Holmer I (2011) Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment. *Eur J Appl Physiol* 111min 1207-16

Halsen SL, Quod MJ, Martin DT, Gardner AS, Ebert SB, Laursen PB (2008) Physiological responses to cold water immersion following cycling in the heat. *Int J Sports Physiol Perform* 3(3):331-346.

Hasegawa H, Takatori T, Komura T, Yamasaki M (2005) Wearing a cooling jacket during exercise reduces thermal strain and improves endurance exercise performance in a warm environment. *J Strength Cond Res* 19min 122-8

Hausswirth C, Duffield R, Pournot H, Bieuzen F, Louis J, Brisswalter J, Castagna O (2012) Postexercise cooling interventions and the effects on exercise-induced heat stress in a temperate environment. *Appl Physiol Nutr Metab* 37min 965-75

Hessemer V, Langusch D, Bruck K (1984) Effect of slightly lowered temperatures on endurance performance in humans. *J Appl Physiol* 57min1731-1737.

Hornery DJ, Papalia S, Mujika I, Hahn A (2005) Physiological and performance benefits of halftime cooling. *J Sci Med Sport* 8min 15-25

Ingram J, Dawson B, Goodman C, Wallman K, Beilby J. (2009) Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci Med Sports* 12(3):417-421.

Kay D, Taaffe DR, Marino FE (1999) Whole-body pre-cooling and heat storage during self paced cycling performance in warm humid conditions. *J Sports Sci* 17min937-944.

King MP and Duffield R (2009) The effects of recovery interventions on consecutive days of high-intensity, intermittent-sprint exercise. *J Strength Cond Res* 23(6): 1795-1802.

Lane KN and Wegner HA (2004) Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *J Strength Cond Res* 18min855-860.

Lee D and Haymes E (1995) Exercise duration and thermoregulatory responses after whole body precooling. *J Appl Physiol* 79min1971-1976.

Lopez RM, Cleary MA, Jones LC, Zuri RE (2008) Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes. *J Athl Train* 43min 55-61

Marino FE (2002) Methods, advantages and limitations of

- body cooling for exercise performance. *Br J Sports Med* 36min89-94.
- Martin PG, Marino FE, Rattey J, Kay D, Cannon J (2004) Reduced voluntary activation of human skeletal muscle during shortening and lengthening contractions in whole body hyperthermia. 90min225-236.
- Maughan R and Shirreffs S (2004) Exercise in the heat: challenges and opportunities. *J Sports Sci* 22min917-927.
- Minett GM, Duffield R, Billaut F, Cannon J, Portus MR, Marino FE (2013) Cold-water immersion decreases cerebral oxygenation but improves recovery after intermittent-sprint exercise in the heat. *Scand J Med Sci Sports*
- Minett GM, Duffield R, Marino FE, Portus M (2011) Volume-dependent response of precooling for intermittent-sprint exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 43min 1760-9
- Olschewski H and Brück K (1988) Thermoregulatory, cardiovascular, and muscular factors related to exercise after precooling. *J Appl Physiol* 64min803-811.
- Quod MJ, Martin DT, Laursen PB (2006) Cooling athletes before competition in the heat. Comparison of techniques and practical considerations. *Sports Med* 36min371- 382.
- Reilly T, Drust B, Gregson W (2006) Thermoregulation in elite athletes. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 9min666–671.
- Ross M, Abbiss C, Laursen P, Martin D, Burke L (2013) Precooling methods and their effects on athletic performance : a systematic review and practical applications. *Sports Med* 43min 207-25
- Ross ML, Garvican LA, Jeacocke NA, Laursen PB, Abbiss CR, Martin DT, Burke LM (2011) Novel precooling strategy enhances time trial cycling in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 43min 123-33
- Schniepp J, Campbell TS, Powell KL, Pincivero DM (2002) The effects of cold-water immersion on power output and heart rate in elite cyclists. *J Strength Cond Res* 16min561-566.
- Schubert MM, Clark A, De La Rosa AB. The Polar® OH1 Optical Heart Rate Sensor is Valid during Moderate-Vigorous Exercise. *Sports Med Int Open*. 2018 Jun 17;2(3):E67-E70. doi: 10.1055/a-0631-0920. eCollection 2018 Jun.
- Sleivert, GG, Cotter JD, Roberts WS, Febbraio MA (2001). The influence of whole-body vs torso precooling on physiological strain and performance of high intensity exercise in the heat. *Comp Biochem Physiol* 128min657-666.
- Smolander, J, Mikkelsen, M, Oksa, J, Westerlund, T, Leppäluoto, J, Huttunen, P. (2004). Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water. *Physiology & behavior*. 82. 691-5. 10.1016/j.physbeh.2004.06.007.
- Thomas MM, Cheung SS, Elder GC, Sleivert GG (2006) Voluntary muscle activation is impaired by core temperature rather than local muscle temperature. *J Appl Physiol* 100min1361-1369.
- Tucker R, Rauch L, Harley YX, Noakes TD (2004) Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle activation. *Pflugers Archives* 448,422-430.
- Uckert S, Joch W (2007) Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat. *Br J Sports Med* 41min 380-4
- Vaile J, Halson S, Gill N, Dawson B (2008) Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and Thermoregulation in the heat. *J Sports Sci*;26min431-440.
- Webster J, Holland EJ, Sleivert G, Laing RM, Niven BE (2005) A light-weight cooling vest enhances performance of athletes in the heat. *Ergonomics* 48min 821-37
- Wegmann M, Faude O, Poppendieck W, Hecksteden A, Frohlich M, Meyer T (2012) Pre-cooling and sports performance: a meta-analytical review. *Sports Med* 42min 545-64
- Wendt D, van Loon LJC, van Marken Lichtenbelt WD (2007) Thermoregulation during exercise in the heat. *Sports Med* 37min669-682.



BESCORED INSTITUTE

Adresse :

**535 Route des Lucioles
06560 Valbonne**

Contact :

christophe@bescored.institute