

## Prévention des blessures au froid à l'exercice

Cet énoncé a été rédigé pour l'American College of Sports Medicine par John W. Castellani, Ph.D., FACSM (co-président); Andrew J. Young, Ph.D., FACSM (co-président); Michel B. Ducharme, Ph.D.; Gordon G. Giesbrecht, Ph.D.; Ellen Glickman, Ph.D., FACSM; et Robert E. Sallis, M.D., FACSM.  
Adaptation française par François Trudeau, Ph.D. FACSM

**Cet énoncé a été publié dans le *Medicine & Science in Sports & Exercise* de novembre 2006, pages 2012-2029,.**

L'American College of Sports and Medicine est d'avis qu'il est possible de faire de l'exercice de façon sécuritaire dans la plupart des environnements froids, et ce, sans subir de blessures dues au froid. La clé de la prévention serait d'utiliser des stratégies de gestion de risque qui: a) identifient/évaluent les dangers du froid; b) identifient/évaluent les facteurs contribuant au blessures au froid; c) développent des méthodes de contrôle pour diminuer le stress et la contrainte du froid; d) implanter des mécanismes de contrôle dans les plans d'urgence; et e) utiliser une surveillance administrative pour s'assurer que les mesures de contrôle soient appliquées ou modifiées. L'American College of Sports Medicine recommande que: 1) les entraîneurs/athlètes/ personnel médical connaissent les signes/symptômes et facteurs de risque de l'hypothermie, des engelures, et les blessures au froid sans engelures afin qu'ils soient en mesure d'identifier les individus susceptibles aux blessures au froid et qu'ils possèdent les informations les plus à jour sur les conditions météorologiques actuelles et à venir, avant de conduire des séances d'entraînement ou des compétitions; 2) l'habillement pour se protéger du froid soit choisi selon les exigences individuelles et les exigences vestimentaires, adaptées à chacun des membres d'une équipe ou d'un groupe; 3) que l'indice de refroidissement éolien température soit utilisé pour estimer le risque relatif d'engelure et qu'une surveillance accrue des personnes faisant de l'exercice soient appliquée à des indices de refroidissement éolien sous  $\sim 27^{\circ}\text{C}$  ( $\sim 18^{\circ}\text{F}$ ); et enfin 4) les individus souffrant d'asthme et de maladies cardiovasculaires pouvant faire de l'exercice au froid, devraient être étroitement surveillés.

### INTRODUCTION

Plusieurs individus font de l'exercice et travaillent dans une variété d'environnements avec une température froide (basse température, vents forts, faibles radiations solaires, exposition à la pluie ou à l'eau). De façon générale, la température froide n'est pas une barrière à l'activité physique. Des explorations réussies et sans victimes aux Pôles Nord et Sud, et des traversées de la Manche de plusieurs heures en natation indiquent clairement que l'être humain peut fonctionner dans un froid extrême. De nombreux facteurs, incluant l'environnement, l'habillement, les facteurs anthropométriques, l'état de santé, l'âge et l'intensité de l'exercice, interagissent pour déterminer si l'exercice au froid amène une contrainte physiologique additionnelle et un risque de blessure supplémentaire, et ce, comparé au même exercice, dans des conditions tempérées.

Dans plusieurs cas, l'exercice au froid n'augmente pas les contraintes ou le risque de blessure. David Bass, le célèbre physiologiste environnemental, a déjà affirmé: "*L'homme au froid n'est pas nécessairement un homme froid.*" (6). Cependant, il y a des situations

(immersion, pluie, faible température ambiante accompagnée de vent) où l'équilibre thermique du corps entier ou local ne peut être maintenu durant le stress de l'exercice au froid. Ces situations contribuent à causer des blessures lors des températures froides et à diminuer la capacité et la performance d'exercice. De plus, le stress de l'exercice au froid peut augmenter le risque de morbidité et de mortalité chez certaines populations susceptibles (45, 84, 98).

Cet énoncé de position fournit des directives qui permettront aux individus concernés de faire de l'exercice au froid, en évitant les blessures des températures froides. Les objectifs de l'énoncé de position sont de: 1) définir les blessures les plus susceptibles de se produire durant le stress de l'exercice au froid, 2) présenter les facteurs qui augmentent le risque de subir des blessures des températures froides, et 3) fournir des directives appropriées pour prévenir ou amener à une plus faible susceptibilité aux blessures des températures froides. Les blessures associées au froid incluent l'hypothermie, l'engelure, l'urticaire au froid ainsi que des blessures au froid sans engelure. Aussi, dans les conséquences secondaires à l'exposition au froid, on y retrouve l'asthme induit par le froid et les accidents cardiovasculaires aigus comme l'infarctus du myocarde. Le stress au froid fait référence aux conditions environnementales ou personnelles qui ont pour effets d'enlever la chaleur corporelle et ainsi diminuer la température du corps. Les contraintes au froid réfèrent aux conséquences physiologiques ou psychologiques du stress au froid. Cet énoncé de position est applicable à toutes les activités sportives au froid incluant celles de courte (jogging, course à pied, ski, biathlon, patinage de vitesse, hockey extérieur), moyenne (course d'aventure, triathlon, marathons, natation de longue distance) et longue durée (alpinisme et expéditions).

### **CLASSIFICATION DES ÉVIDENCES**

Cet énoncé de position présente une revue des évidences basée sur une échelle de critères proposée par l'American Academy of Family Physicians. Cette échelle est appelée Taxonomie des forces de recommandations ou SORT (Strength of recommendations taxonomy). Le tableau 1 présente la taxonomie des forces de recommandations. Les recommandations sont présentées sous forme de grade A, B, ou C, en fonction des conséquences sur le patient ou des conséquences de la maladie.

**TABEAU 1.** Taxonomie des forces de recommandation.

Force de recommandation	Définition
A	Recommandation basée sur des évidences orientées sur le patient constantes et de bonne qualité (morbidité, mortalité, amélioration des symptômes, réduction des coûts, et qualité de vie).
B	Recommandation basée sur des évidences orientées sur le patient, incohérentes ou de faible qualité.
C	Recommandation basée sur un consensus, une pratique habituelle, des opinions, des évidences spécifiques à la maladie (mesures des intermédiaires, physiologiques, ou d'indicateurs indirects qui peuvent ou non refléter des améliorations des indicateurs du patient), ou une série de cas pour l'étude du diagnostic, du traitement, de la prévention, ou du dépistage.

Les SORT peuvent être consultées sur le site web de l'American Family Physician, [www.aafp.org](http://www.aafp.org). Le lecteur doit être au courant que de classifier les évidences en utilisant cette taxonomie met une emphase importante sur les traitements basés sur les résultats. Cependant, la recherche basée sur les conséquences des effets médicaux de l'exposition au froid est limitée par des contraintes éthiques qui empêchent la réalisation d'études qui utilisent l'engelure ou l'hypothermie grave comme résultat chez des sujets humains volontaires.

## RÉPONSES PHYSIOLOGIQUES AU FROID

**Exposition aiguë au froid.** L'humain démontre une vasoconstriction périphérique lors de l'exposition au froid. La diminution résultante du débit sanguin périphérique réduit le transfert convectif de chaleur entre le noyau et la surface corporelle (peau, graisse sous-cutanée et muscle squelettique), augmente efficacement l'isolation par l'enveloppe corporelle (39, 168,178). La chaleur sera ensuite perdue plus rapidement qu'elle ne sera remplacée, en fonction de la surface corporelle exposée. Ainsi, la température de la peau et des tissus sous-jacents diminuera (168). Lors d'une exposition corporelle complète au froid, la réponse vasoconstrictrice se produit efficacement dans toute l'enveloppe corporelle périphérique et les membres viennent en quelque sorte à faire partie de l'enveloppe. La vasoconstriction commence lorsque la température moyenne pondérée de la peau baisse sous 34–35°C (159). Elle devient maximale lorsque la température moyenne de la peau atteint environ 31°C ou moins, lors de l'immersion du corps entier dans l'eau (185) ou lors d'un refroidissement local de 26-28°C (22). Ainsi, la réponse vasoconstrictrice due à l'exposition au froid aide à retarder les pertes de chaleur et à atténuer la baisse de température centrale, mais cela au détriment de la température de la peau et du muscle.

La réduction du débit sanguin par la vasoconstriction et la baisse de température de la peau contribuent probablement à l'étiologie des blessures périphériques au froid. La vasoconstriction induite par le froid (VIF) a des effets prononcés sur les mains et les doigts les rendant particulièrement susceptibles à des blessures au froid et à une perte de dextérité manuelle (13). Dans ces régions, une autre réponse vasomotrice, la vasodilatation induite par le froid (VIF), module les effets de la vasoconstriction (114,133). Des oscillations périodiques de la température de la peau suivent la baisse initiale lors de l'exposition au froid, résultant en une augmentation du débit sanguin aux doigts refroidis. Une VIF se produit aussi dans l'avant-bras, reflétant probablement la VIF des extrémités (40). On considère que la VIF joue un rôle substantiel dans la réduction du risque local de blessures au froid (86) et pourrait être bénéfique pour améliorer la dextérité et la sensibilité tactile lors de l'exposition au froid (25).

Les réponses de VIF sont plus prononcées lorsque la température du noyau central et de la peau est chaude (état hyperthermique) et au contraire, sont supprimées lorsque ces températures sont froides (état hypothermique), lorsque comparé à un état de normothermie (26, 27, 135). L'exposition au froid déclenche aussi une augmentation de la production de chaleur métabolique chez l'humain, ce qui peut compenser pour les pertes de chaleur.

Chez l'humain, la thermogénèse induite par le froid est attribuable à l'activité contractile du muscle squelettique (168). L'humain initie cette thermogénèse par le frisson involontaire ou

en modifiant volontairement le comportement, i.e., en augmentant l'activité physique (exercice, agitation, etc.). Certains animaux montrent une augmentation de production de chaleur métabolique par des tissus non-contractiles (tissu adipeux brun) en réponse à l'exposition au froid, i.e., thermogénèse sans frisson. Cependant, les évidences expérimentales n'attribuent pas un rôle important de la thermogénèse induite par les graisses brunes chez les humains d'âge adulte (4,18).

Le frisson, qui consiste en des contractions musculaires involontaires, répétées, rythmiques, peut démarrer immédiatement ou après plusieurs minutes d'exposition au froid, débutant habituellement dans les muscles du thorax, s'étendant vers les membres (8). L'intensité et la distribution du frisson varient selon la gravité du stress au froid. À mesure que l'intensité du frisson augmente et que plus de muscles sont impliqués dans le frisson, la consommation d'oxygène de tout l'organisme augmente, atteignant environ 600–700 mL·min<sup>-1</sup>, au repos, lors de l'exposition à l'air froid, mais dépassant 1000 mL·min<sup>-1</sup> lors de l'immersion dans l'eau froide, au repos (178). Le frisson maximal est difficile à quantifier.

**Types d'acclimatation au froid chez l'humain.** Les athlètes exposés à un climat froid peuvent s'y acclimater mais les ajustements physiologiques sont très limités et dépendent de la sévérité de l'exposition. L'acclimatation au froid chez les personnes exposées de façon répétitive ou prolongée montrent trois types d'ajustements thermorégulateurs: l'habituation, l'acclimatation métabolique et l'acclimatation de l'isolation (193). Le type d'acclimatation le plus fréquent est l'habituation, dans lequel les réponses physiologiques au froid deviennent moins prononcées qu'en état non acclimaté. Une atténuation du frisson et de la vasoconstriction induite par le froid est le signe caractéristique de l'habituation (193). Les personnes habitués au froid présentant une atténuation du frisson et de la vasoconstriction induite par le froid, montrent parfois une baisse plus prononcée de la température centrale, que les personnes non acclimatées. Ainsi. Ce type d'acclimatation au froid est parfois appelé habituation hypothermique, ou acclimatation hypothermique. Les observations de différentes études d'acclimatation au froid, lorsque analysées collectivement (voir (193) pour une revue détaillée), suggèrent que des expositions courtes mais à un froid intense (e.g. moins que 1 h), quelques fois par semaine amèneront l'habituation, mais que de plus longues expositions (e.g. au-delà de 8 h) à des froids plus modérés, lors de jours consécutifs sur une longue période (e.g. plus de 2 semaines) sont requises pour induire l'habituation hypothermique. L'habituation se produit aussi localement (i.e., aux mains), amenant des températures plus chaudes sur la peau des mains et une diminution de l'inconfort (1,108,161).

L'exposition chronique au froid peut amener deux autres types d'acclimatation. Une réponse thermogénique accrue au froid caractérise le patron d'acclimatation métabolique (193). Une réponse exagérée du frisson se développerait à cause d'une exposition chronique au froid, et la possibilité que l'humain développe de la thermogénèse sans frisson continue à soulever la controverse. Cependant, la littérature supportant les évidences de l'existence de ce patron d'acclimatation, ne démontre pas définitivement si cette réponse thermogénique accrue au froid serait le résultat d'un ajustement au froid chronique ou d'un effet possible causé par les différences dans l'alimentation et la composition corporelle parmi les sujets expérimentaux et témoins.

Le troisième principal genre d'acclimatation au froid, appelé acclimatation insulative au froid, est caractérisé par des mécanismes de conservation de chaleur accrus (193). Avec l'acclimatation insulative, l'exposition au froid amène un déclin plus rapide et plus prononcé de la température de la peau et une conductance thermique plus faible de la peau que chez la personne non-acclimatée, induit par une réponse vasoconstrictrice plus prononcée au froid, possiblement causée par une réponse nerveuse sympathique au froid. De plus, certaines données suggèrent que l'acclimatation insulative au froid pourrait aussi impliquer le développement de mécanismes circulatoires d'échange de chaleur contre-courant pour limiter perte de chaleur convective. Ceci aurait été démontré, avant que l'utilisation des combinaisons humides (wet-suits) soit aussi répandue. Des plongeurs coréennes s'immergeant dans l'eau froide présentaient une perte de chaleur de la partie distale de l'avant-bras inférieure à des sujets témoins, malgré le fait que le débit sanguin de l'avant-bras restait plus élevé chez les plongeurs coréennes (83). Après que l'usage des combinaisons humides se soit répandu, les plongeurs coréennes n'ont plus démontré les mêmes ajustements thermorégulateurs comparés aux sujets témoins. Ceci suggère que les différences antérieures reflétaient vraiment des ajustements à une exposition fréquente au froid, lors de leurs plongées (pour une revue de la littérature voir la référence (193)). Comparés aux effets de l'acclimatation à la chaleur, les ajustements physiologiques lors d'une exposition chronique au froid sont moins prononcés, plus lents à se développer, moins reproductible. De plus, ils sont moins efficaces pour diminuer la contrainte thermique, maintenir la température corporelle normale, et pour prévenir les blessures thermiques.

## **HYPOTHERMIE**

Cliniquement, l'hypothermie est définie par une température centrale sous 35°C (95°F), qui représente une diminution de ~2°C (3.5°F) de la température corporelle normale (143), alors que physiologiquement, l'hypothermie est une température centrale sous la valeur observée lors d'une phase active (< 36.8°C). L'hypothermie se développe lorsque la perte de chaleur excède la production de chaleur amenant le contenu de chaleur corporelle à diminuer. Le déclin de la température centrale peut éventuellement affecter la performance à l'exercice. L'hypothermie est caractérisée comme faible, modérée ou sévère (143). Le tableau 2 établit une correspondance entre les changements de température centrale et les perturbations physiologiques associées.

Les symptômes d'hypothermie sont plutôt variables d'une personne à une autre pour une même température centrale. Les premiers symptômes d'hypothermie comprennent une sensation de froid, le frisson, des signes d'apathie et un retrait social. Les entraîneurs et les athlètes devraient pouvoir identifier ces symptômes rapidement afin de pouvoir prendre des mesures préventives aussitôt que possible. Une hypothermie plus accentuée se manifeste par de la confusion, de la somnolence, une élocution difficile et un changement de comportement ou d'apparence (158). L'hypothermie grave est associée à des changements du rythme cardiaque nécessitant un traitement immédiat pour réchauffer la personne et restaurer la température normale.

Une réanimation peut être réussie même à des températures centrales aussi basses que 13.7°C (60). À ces températures, les signes vitaux sont presque impossibles à discerner et personne ne devrait être prononcé «*morte*» jusqu'à ce qu'elle n'ait été réchauffée. De là, l'adage "*une personne n'est pas morte à moins d'être réchauffée et morte*."

TABLEAU 2. Température centrale et changements physiologiques associés se produisant lorsque la température centrale chute. Les individus répondent différemment à chaque niveau de température centrale.

Stade	Température centrale		Changements physiologiques
	°F	°C	
Normothermie	98.6	<b>37.0</b>	
Légère	95.0	<b>35.0</b>	Frisson maximal, augmentation de la pression artérielle
	93.2	<b>34.0</b>	Amnésie; dysarthrie; baisse du jugement; changement de comportement
	91.4	<b>33.0</b>	Ataxie; apathie
Hypothermie modérée	89.6	<b>32.0</b>	Stupeur
	87.8	<b>31.0</b>	Arrêt du frisson; Dilatation des pupilles
	85.2	<b>30.0</b>	arythmies cardiaques; diminution du débit cardiaque
	85.2	<b>29.0</b>	Perte de conscience
Hypothermie grave	82.4	<b>28.0</b>	Fibrillation ventriculaire probable; hypoventilation
	80.6	<b>27.0</b>	Perte des réflexes et de la motricité volontaire
	78.8	<b>26.0</b>	Dérangement acido-basique; Pas de réponse à la douleur
	77.0	<b>25.0</b>	Baisse du débit sanguin cérébral
	75.2	<b>24.0</b>	Hypotension; bradycardie; oedème pulmonaire
	73.4	<b>23.0</b>	Pas de réflexes cornéens; aréflexie
	66.2	<b>19.0</b>	Silence électroencéphalographique
	64.4	<b>18.0</b>	Asystolie
	59.2	<b>15.2</b>	Taux le plus faible de survie des enfants à l'hypothermie accidentelle
	56.7	<b>13.7</b>	Taux le plus faible de survie des adultes à l'hypothermie accidentelle

Le tableau 3 présente une liste de facteurs pouvant prédisposer des individus à l'hypothermie. Les facteurs de risque important fréquemment rencontrés chez les personnes actives sont considérés en détail ci-dessous. La majorité des facteurs connus pour influencer le début de l'hypothermie ont été identifiés dans des expérimentations qui utilisent une immersion du corps entier dans l'eau froide, mais les facteurs de risque pourraient avoir une influence similaire, dans une moindre mesure, sur le déclenchement de l'hypothermie lors de l'exposition à l'air froid.

TABLEAU 3. Facteurs prédisposant à l'hypothermie selon les causes. Tableau conçu à partir des données présentées dans les références (31,143).

Diminution de la production de chaleur	Augmentation des pertes de chaleur	Thermorégulation altérée	États cliniques divers
<p><b>Facteurs d'entraînement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inactivité</li> <li>• Fatigue</li> <li>• Déplétion d'énergie</li> <li>• Manque de sommeil</li> </ul> <p><b>Facteurs hormonaux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypopituitarisme</li> <li>• Hypoadrénalisme</li> <li>• Hypothyroïdisme</li> <li>• hypoglycémie</li> <li>• Diabète</li> </ul> <p><b>Âge (âgé vs. jeune)</b></p>	<p><b>Facteurs d'entraînement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Immersion</li> <li>• Pluie</li> <li>• habillement humide de sueur</li> <li>• Vent</li> <li>• Fatigue</li> <li>• Faible % de graisse corporelle</li> </ul> <p><b>Âge (âgé vs. jeune)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Érythroderme</li> <li>• Brûlures</li> <li>• Psoriasis</li> <li>• Ichtyose</li> <li>• Dermatite exfoliante</li> <li>• Coup de soleil</li> </ul> <p><b>iatrogénique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Naissance prématurée</li> <li>• infusions froides</li> <li>• traitement de maladie hyperthermique</li> <li>• plaie ouverte</li> </ul>	<p><b>Insuffisance périphérique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traumatismes</li> <li>• Neuropathies</li> <li>• Transection aiguë de la moelle épinière</li> </ul> <p><b>Insuffisance centrale</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lésions et traumatismes du SNC</li> <li>• AVC</li> <li>• Hémorragie sous-arachnoïdienne</li> <li>• Dysfonction hypothalamique</li> <li>• sclérose en plaque</li> <li>• causes pharmacologiques</li> <li>• causes toxicologiques</li> <li>• Abus d'alcool ou de drogues</li> </ul>	<p>Infection</p> <p>Insuffisance rénale</p>

**Immersion, pluie et vent.** L'eau a une capacité thermique beaucoup plus élevée que l'air, avec un coefficient de transfert convectif de chaleur 70 fois plus élevé que l'air (54). Ainsi, les nageurs et athlètes faisant de l'exercice lors de conditions pluvieuses peuvent subir une perte considérable de chaleur corporelle, même dans des conditions de températures d'eau ou d'air relativement tièdes. L'équilibre thermique à l'exercice lors d'une immersion en eau froide ou une exposition à l'air froid dépend d'une interaction complexe avec la génération de chaleur métabolique, le type d'exercice, les facteurs anthropomorphiques, l'habillement qui isole et la magnitude du refroidissement causé par la température de l'eau, de la pluie et du vent. Les individus varient dans leur tolérance à la température de l'eau qui peut être tolérée sans subir une baisse dangereuse de la température centrale à l'exercice (178). Une diminution de la température de l'eau augmente le gradient thermique entre la personne et l'environnement et amène à une perte de chaleur significativement plus élevée par la convection et la conduction. Plus une grande partie de la surface corporelle d'un individu est immergée, plus la surface d'échange de chaleur est efficace entre la personne

et l'eau. À mesure que la surface immergée augmente, la température centrale diminuera plus rapidement (109).

Le maintien d'une température centrale normale dépend aussi de la capacité de générer assez de chaleur pour compenser les pertes de chaleur dans l'environnement. L'exercice en eau froide pourrait soit augmenter ou diminuer la température centrale à comparé au repos en eau froide (157,178,180), selon que l'exercice est réalisé avec seulement les jambes ou si une combinaison bras et jambes est utilisée. L'exercice avec bras et jambes (e.g. natation) augmente la circulation aux extrémités où la perte de chaleur périphérique est optimisée par le petit diamètre des extrémités et la faible distance de conduction pour le transfert chaleur du centre du membre vers la surface de la peau (19,181). Cependant, si l'intensité de l'exercice est assez élevée (~75%  $\text{VO}_2\text{max}$  ou  $2.75 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ), la température centrale augmentera (49), même avec un exercice combiné bras et jambes. Le muscle fournit une isolation importante au repos lors d'une immersion en eau froide (39,185), mais à l'exercice cette capacité isolante est réduite, puisque le débit sanguin augmente pour satisfaire les besoins métaboliques (178,185). Ainsi, il pourrait y avoir des bénéfices à ajouter une isolation avec de l'habillement pour couvrir les régions musculaires actives lors d'une immersion active prolongée, comme en natation de longue distance (186).

Comme pour l'immersion en eau froide, plusieurs facteurs interagissent pour déterminer si la température centrale peut être maintenue à l'exercice dans des conditions froides, humides et venteuses. À une température de l'air de  $5^\circ\text{C}$ , la perte de chaleur dans des vêtements humides peut être le double que lors de conditions sèches (97). De plus, le vent augmente la perte de chaleur convective. L'exercice à des intensités supérieures à 60%  $\text{VO}_2\text{max}$  peut maintenir la température centrale à  $37^\circ\text{C}$  ou au dessus (146,88,189) même lorsque la température ambiante est  $5^\circ\text{C}$ , avec des vêtements complètement mouillés, et que le vent atteint  $5 \text{ m s}^{-1}$ . Cependant, lorsque seulement de l'exercice léger est réalisé (< 30%  $\text{VO}_2\text{max}$ ), la perte de chaleurs excède la chaleur de production amenant à des baisses de température centrale (20,145,146,188). Aussi, l'exercice lors d'une immersion en eau froide (163) ou sous la pluie (20) amène à une baisse encore plus rapide de la température centrale, comparé à l'état de repos. **Énoncé d'évidence.** L'exercice dans l'eau ou sous la pluie augmente significativement le risque de développer de l'hypothermie.

#### **Niveau A**

**Anthropométrie et % de graisse.** La graisse corporelle sous-cutanée fournit une résistance thermique relativement élevée (178) et les personnes qui ont un % de graisse élevé ont tendance à mieux maintenir leur température centrale que les personnes maigres (64,78,99,124,145,146,178), même si cela n'a pas été toujours observé (62). Il y a aussi des évidences que l'individu avec un % supérieur à 25% ont un seuil de vasoconstriction plus élevé ce qui les rend capables de limiter la perte de chaleur (96). Les muscles non-perfusés fournissent aussi de l'isolation durant une exposition au froid au repos (148) et peut contribuer jusqu'à 85% de l'isolation du membre (39). À l'exercice, le muscle perfusé perd son potentiel d'isolation et la graisse cutanée et sous-cutanée fournit la majeure partie de l'isolation (179). Certaines études suggèrent que les personnes avec un ratio surface corporelle:masse corporelle élevé ont une chute plus rapide de la température centrale (16,165), même si dans 2 études où les sujets étaient similaires pour la graisse corporelle mais différaient en terme de masse corporelle et de ratio surface corporelle/masse corporelle, la température centrale était la même au repos et à l'exercice (63,179). **Énoncé**

**d'évidence.** Les individus avec des valeurs élevées de plis adipeux sous-cutanés, du % graisse, et de masse musculaire peuvent mieux maintenir leur température centrale que les individus avec moins de graisse et de muscle. **Niveau B**

**Sexe.** Les différences sexuelles dans les réponses thermorégulatrices lors de l'exposition à l'eau froide sont surtout attribuable à certaines caractéristiques généralement retrouvées chez les femmes : pourcentage de graisse corporelle plus élevé, graisse sous-cutanée plus épaisse, masse musculaire plus faible, et ratio surface corporelle/masse corporelle plus élevé que chez l'homme d'âge et de poids comparables (176). Cependant, chez les femmes et hommes avec une graisse sous-cutanée équivalente, les femmes ont une surface corporelle plus élevée et une masse corporelle et musculaire (générant plus de chaleur) plus faibles que les hommes. Ainsi, la perte de chaleur totale est plus élevée chez la femme que chez l'homme, à cause de la surface corporelle plus élevée qui favorise la perte de chaleur et moins d'isolation venant des muscles, et une chute de température corporelle plus rapide au repos lors de l'immersion en eau froide (124). Ainsi, à l'exercice en eau froide, les hommes et les femmes avec un pourcentage de graisse corporelle équivalent ont le même déclin de température centrale, probablement suite à la perte d'isolation du muscle davantage perfusé chez l'homme et à une distribution favorable de la graisse sous-cutanée sur la musculature active chez la femme (125). D'autres données suggèrent aussi que les hommes commencent à frissonner plus tôt et à une température corporelle moyenne supérieure que les femmes, i.e., hommes sont plus sensibles à un changement de température corporelle (69), même si Glickman-Weiss et al. n'ont pas trouvé de différences de thermosensibilité entre les hommes et les femmes (61). Des changements cycliques des hormones reproductives chez la femme peuvent aussi avoir un impact sur les réponses thermorégulatrices au froid. Les données suggèrent que le seuil de frisson apparaît plus tôt lors de la phase lutéale (80) lorsque les concentrations d'estrogène et de progestérone atteignent leur niveau maximal même si cette donnée a été contestée (68) et qu'il n'y a pas de données pour suggérer que des différences de la température centrale absolue de départ lors de l'exposition au froid placeraient la femme plus à risque d'hypothermie dans la phase folliculaire que lutéale. Les femmes aménorrhéiques ne peuvent maintenir leur température centrale à l'exercice à l'air froid aussi bien que leurs congénères euménorrhéiques, même si elles ont une composition corporelle similaire (69). **Énoncé d'évidence.** Les réponses de la température centrale lors de l'exposition au froid entre les hommes et les femmes sont surtout attribuables aux différences de la composition corporelle et de l'anthropométrie. **Niveau C**

**Age.** Les personnes de plus de 60 ans pourraient être moins tolérantes au froid que les personnes plus jeunes, à cause d'une vasoconstriction et d'une conservation de chaleur réduite par rapport à des personnes plus jeunes (48,102,166,194). Le vieillissement amène aussi une baisse de la condition physique. Lors de l'exercice à une même intensité métabolique absolue que des individus plus jeunes, la personne âgée travaillera à un % plus élevé du  $\text{VO}_2\text{max}$ , se fatiguera plus rapidement et diminuera leur production absolue de chaleur si elle se fatigue, augmentant le risque de réduction de la température centrale. Les personnes plus âgées semblent aussi avoir une sensibilité thermique au froid diminuée. Par exemple, dans les études où les sujets ont le contrôle d'un thermostat lorsque la température ambiante fluctue, les individus plus âgés laisseront la température de l'air descendre davantage avant de réajuster le thermostat (137,173). Les enfants, en comparaison avec les adultes, ont un ratio surface corporelle/ masse corporelle plus élevé

et une quantité de graisse sous-cutanée **plus faible** qui amène à une chute substantielle de température centrale lors de la natation en eau froide (20°C) (165). Ainsi, chez des garçons de 11–12-ans qui ont une quantité de graisse sous-cutanée similaire à des hommes de 19–34 ans, la température centrale était la même au repos et à l'exercice à une température de l'air de 5°C, mais les mécanismes pour ce maintien était différent chez les garçons avec une vasoconstriction et une réponse métabolique plus prononcée que les hommes (167). Les filles préménarchales ne maintiennent pas leur température centrale aussi bien que les filles euménorrhéiques lors de l'exercice au froid, à cause d'une réponse vasoconstrictrice diminuée (105). **Énoncé d'évidence.** Les individus plus âgés (> 60 ans) ont un risque accru d'hypothermie à cause de réponses physiologiques et comportementales moindres au froid. Les enfants sont plus à risque d'hypothermie que les adultes à cause de différences de composition corporelle et d'anthropométrie. **Niveau B**

**Hypoglycémie et jeûne.** De récentes évidences indiquent que le frisson, tout comme l'exercice de faible intensité, dépend des lipides comme substrat métabolique prédominant chez les individus bien nourris, mais le glucose sanguin, le glycogène musculaire et même des protéines sont aussi métabolisés (72,73). La malnutrition peut amener l'hypoglycémie, et l'hypoglycémie aiguë diminue le frisson par un effet induit par le système nerveux central (55,140). De plus, une baisse des réserves périphérique de glucides contribue probablement à une incapacité à maintenir la thermogenèse à l'exercice suffisante durant l'exposition au froid (141). Lors de l'immersion en eau froide, la déplétion de glycogène, par elle-même, soit diminue le taux initial de frisson (121) ou n'a pas d'effet sur la thermogenèse induite par le frisson (196). La déplétion de glycogène musculaire est plus prononcée à faible intensité (e.g. sous 25% de la consommation maximale d'oxygène), le stress de l'exercice au froid en comparaison avec des conditions tempérées, mais des différences entre les conditions environnementales ne sont pas observées lorsque des périodes d'exercice de haute intensité sont comparées (162). Des bouffées de frisson affectent aussi le niveau de glycogène musculaire, plus de bouffées amènent une plus grande utilisation de glycogène (71). Une restriction alimentaire complète de 48h, même en l'absence d'hypoglycémie, diminue le frisson et causes une diminution plus rapide de la température centrale corporelle (116,120). **Énoncé d'évidence.** L'hypoglycémie nuit au frisson et augmente le risque d'hypothermie. **Niveau B**

**Condition physique et entraînement.** De façon générale, l'entraînement physique et le niveau de condition physique semblent n'avoir qu'une influence mineure sur les réponses thermorégulatrices au froid (48). Des comparaisons transversales de personnes en bonne condition physique vs. des personnes en moins bonne condition physique aérobie montrent une relation entre la puissance aérobie maximale et la thermorégulation au froid (9,90), mais dans ces études, les différences de thermorégulation semble plus probablement attribuables à des différences anthropométriques entre les individus en bonne et en moins bonne condition physique aérobie, plutôt qu'à un effet du niveau de condition physique, de l'entraînement, ou du niveau de la puissance aérobie maximale *per se* (9). Dans une étude récente comparant des nageurs débutants et experts (115), les nageurs experts peuvent nager plus loin mais pas plus longtemps avant de perdre leur capacité de fonctionner en eau froide comparé aux nageurs débutants. C'est probablement parce que la fatigue des bras causé par le refroidissement musculaire est la principale cause de l'incapacité de continuer à nager. Les études longitudinales ont montré que l'entraînement en intervalle n'a pas d'effets mesurables sur la réponse thermorégulatrice au froid (160), et alors que

l'entraînement en endurance semble augmenter la réponse vasoconstrictrice cutanée au froid, cet effet a peu d'impact sur les changements de température centrale vécus lors de l'exposition au froid (195). Les effets des programmes d'entraînement en résistance sur les réponses thermorégulatrices au froid n'ont pas été documentés, mais il semble que ces effets seraient surtout attribuables aux changements de composition corporelle associés à l'entraînement. Le principal avantage thermorégulateur amené par une augmentation de la force et de la puissance aérobie maximale secondaire à l'entraînement physique est que l'individu en meilleure condition physique peut maintenir une activité physique volontaire à une intensité plus élevée, et peut maintenir un taux de production de chaleur métabolique lors de l'exposition au froid supérieur à une personne en moins bonne condition physique. **Énoncé d'évidence.** La condition physique et l'entraînement, en eux-mêmes, n'améliorent pas les réponses thermorégulatrices au froid. Une meilleure condition physique ne permet pas à quelqu'un de faire de l'exercice pendant plus longtemps à un taux métabolique plus élevé, mais pourrait contribuer à maintenir une température centrale normale. **Niveau C**

### **Stratégies de prévention de l'hypothermie**

**Gestion des risques.** L'hypothermie est prévenue de façon optimale en évaluant tout d'abord la charge du froid, en mesurant la température, le vent, la charge solaire, la pluie, la profondeur de l'immersion et l'altitude (34). Ensuite les dangers de l'exercice au froid sont évalués en analysant le type d'exercice réalisé, l'habillement disponible et en identifiant ceux qui sont plus à risque de tomber en hypothermie. Des facteurs spécifiques pourraient être évalués incluant l'intensité de l'exercice, sa durée, l'expérience de l'athlète, l'état de l'athlète (en bonne condition physique ou non, reposé ou fatigué), son état de santé général et son état nutritionnel. La gestion des risques consiste à effectuer un processus d'identification des dangers potentiels avant de performer en ambiance froide et à prendre les moyens nécessaires pour contrôler ces dangers (34), parce que l'hypothermie peut se produire lors d'épreuves sportives (93,149). La Figure 1 décrit un processus de gestion des risques lors de contrainte du froid pour prévenir les blessures au froid. Un de ces aspects importants est de reconnaître les changements de conditions météorologiques pour que les personnes soient averties lors de modifications potentielles. Cela pourrait être nécessaire pour réduire l'exposition et la susceptibilité aux blessures au froid. Ainsi, la gestion des risques doit être constamment réévaluée à mesure que les informations nouvelles sont fournies. Une bonne planification serait d'amener des habillements additionnels, de diminuer la durée d'une épreuve, de changer les lieux de compétition, d'offrir des installations pour se réchauffer ou même d'annuler un événement. La plus grande incidence d'hypothermie se produit lorsque les personnes ne sont pas préparées à affronter le froid, i.e., lorsqu'elles ne s'y attendent pas (température pluvieuse au printemps/été/automne; pendant la natation en océan ou en lac lors d'une chaude journée au printemps ou au début de l'été). Comme indiqué ci-haut, le climat froid, humide et venteux pose un plus grand risque si l'intensité de l'exercice n'est pas assez élevée pour compenser la perte de chaleur (123,146,189) due à la fatigue ou si la fatigue apparaît avant l'exposition au froid (20,21), un individu peut être plus susceptible à l'hypothermie.

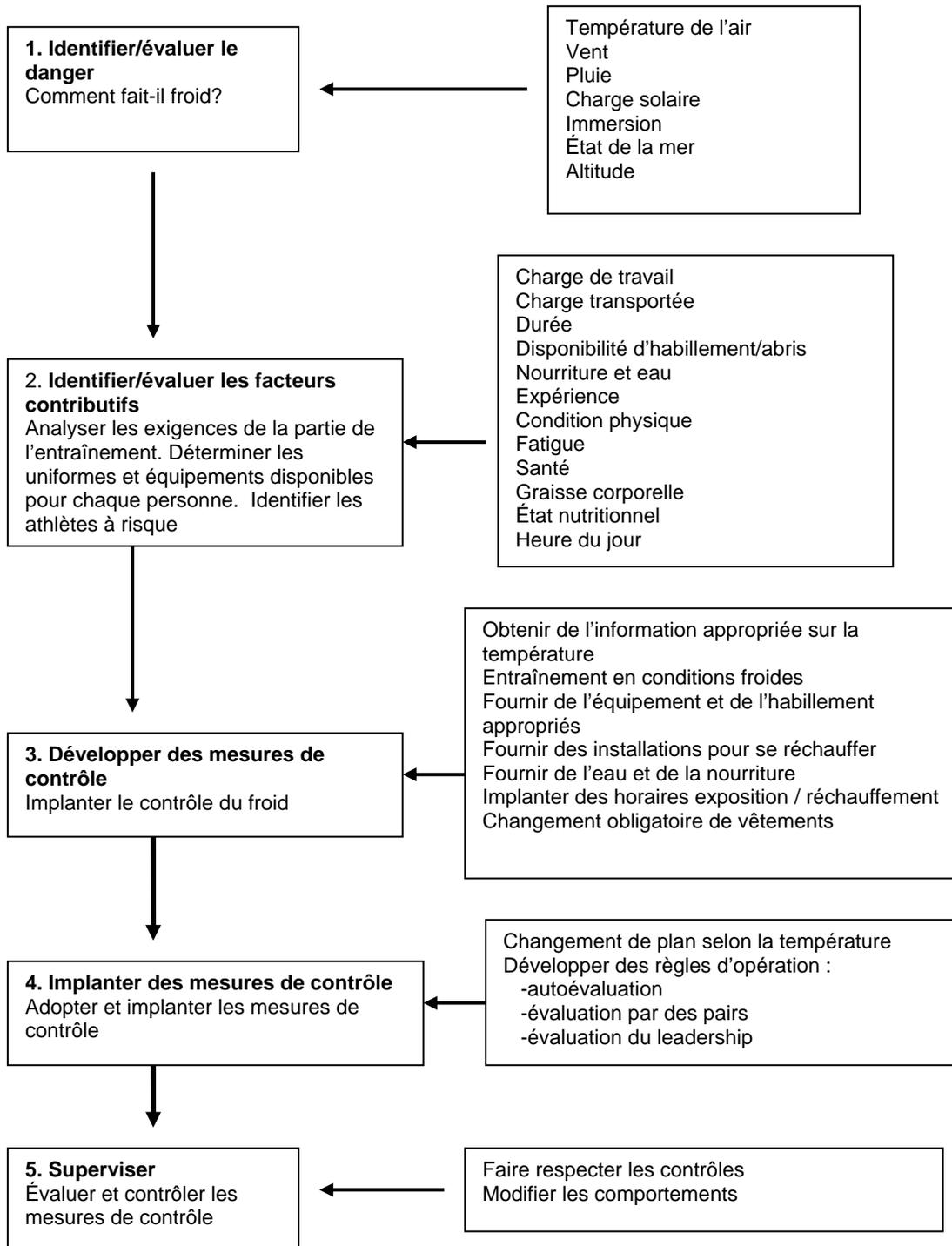


FIGURE 1. Processus de gestion des risques pour évaluer le stress et la contrainte au froid.

**Habillement.** L'habillement en ambiance froide protège contre l'hypothermie et les blessures périphériques au froid en réduisant la perte de chaleur grâce à l'isolation fournie par l'habillement et l'air emprisonné à l'intérieur du tissu et entre les couches d'habillement (7). Un habillement typique pour la température froide consiste en 3 couches: une couche interne (polyester léger ou polypropylène) lequel est en contact direct avec la peau et n'absorbe pas l'humidité et la dirige vers les couches externes où elle peut s'évaporer, une couche intermédiaire (laine polar polyester ou laine) qui fournit l'isolation principale, et une couche externe, conçue pour permettre un transfert de l'humidité à l'air ambiant, tout en protégeant du vent et de la pluie. La sudation peut facilement excéder le taux de transfert vers les couches externes, causant une accumulation d'humidité à l'intérieur, même si la couche externe possède une ventilation substantielle (e.g. fermeture à glissière sous les aisselles) pour faciliter la sortie de l'humidité. La couche externe ne devrait normalement pas être portée à l'exercice (sauf lors de pluie ou de temps très venteux), mais doit être portée lors de périodes de repos subséquentes. Les besoins d'isolation de l'habillement lors de l'activité physique peuvent varier avec les changements de la température ambiante et de l'intensité de l'exercice. La figure 2 illustre l'isolation nécessaire pour maintenir l'équilibre thermique lors de différentes températures ambiantes et intensités d'exercice (7,66,82,88). Le tableau 4 présente la capacité isolante de différents habillements (89). À mesure que l'intensité de l'exercice augmente la quantité d'isolation par l'habillement nécessaire pour maintenir l'équilibre thermique diminue pour une température donnée (par exemple pour le

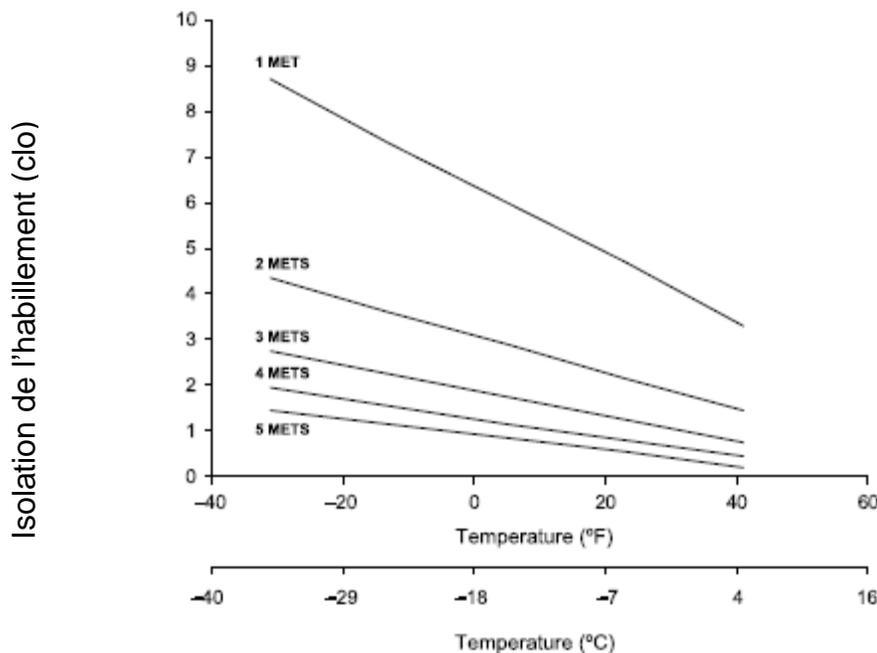


FIGURE 2. Quantité approximative d'isolation de l'habillement nécessaire à différentes températures de l'air et intensité d'activité physique. La vitesse du vent est de moins de 5 mph ( $2.2 \text{ m s}^{-1}$ ). Un MET fait référence à la dépense énergétique au repos. Un clo d'isolation est l'habillement nécessaire pour permettre à une personne au repos d'être confortable lorsque la température de l'air est  $21^\circ\text{C}$  ( $70^\circ\text{F}$ ) (7). Se référer au Tableau 4 pour une liste d'habillements typiques et leur valeur respective en clo afin de trouver l'isolation nécessaire de l'habillement pour maintenir la chaleur corporelle et l'équilibre thermique à des températures données.

jogging et le ski). Consultez la référence (2) pour une liste complète d'activités et de leur exigence métabolique.

L'imposition d'un seul type d'habillement pour un groupe complet à l'exercice pourrait amener une surchauffe et trop de sudation chez certains, alors que d'autres auraient de la difficulté à se garder au chaud. Ainsi, chaque individu doit ajuster son habillement en fonction de ses besoins. Un problème fréquent est que souvent les individus portent à l'exercice des vêtements adéquats pour le corps au repos, et sont ainsi trop habillés après avoir commencé l'exercice. Si la combinaison des conditions environnementales, de l'intensité de travail, et de l'habillement disponible suggèrent que la chaleur corporelle ne peut pas être maintenue (e.g. lors d'un exercice d'intensité faible dans des conditions pluvieuses), une supervision directe ou par un pair des personnes à l'exercice doit être encouragée.

TABLEAU 4. Liste d'habillements typiques pouvant être portés en ambiance froide (89). Les valeurs sont obtenues à partir de mesures effectuées sur des mannequins de cuivre (89). Valeur d'isolation respective en clo et selon le SI.

Habillement	Habillement Isolation (Icl)	
	clo	$m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$
Chemise, pantalon léger, chaussettes, souliers, caleçon court	0.6	0.095
Chemise, pantalon, chaussettes, souliers, caleçon court	1	0.155
Vêtement de jogging (haut et bas) coupe-vent, imperméable, t-shirt, caleçon court, short de course, chaussettes et souliers de sport	1.03	0.160
Chemise à manche longue et pantalon en laine polaire, caleçon court, chaussettes et souliers de sport	1.19	0.184
Veste légère, sous-vêtements thermaux longs haut et bas, caleçon court, pantalon coupe-vent épais, chaussettes et souliers de sport	1.24	0.192
Veste légère, chemise à manche longue et pantalon en laine polaire, caleçon court, pantalon coupe-vent épais, chaussettes et souliers de sport	1.67	0.259
Veste de ski avec doublure détachable en fibre synthétique, sous-vêtements thermal longs haut et bas, col roulé en tricot, chandail, pantalons en fibres synthétiques, tuque en tricot, lunettes de ski, mitaines doublées, chaussettes au genou, bottes isolées imperméables	2.3	0.357
Anorak en duvet avec capuchon, pantalon coupe-vent, doublure en fibres synthétiques, sous-vêtements thermaux longs haut et bas, chandail en coton ouaté, mitaines doublées en laine polaire, chaussettes épaisses, bottes isolées imperméables	3.28	0.508
Combinaison une pièce en duvet avec capuchon, sous-vêtements thermal longs haut et bas, chandail en coton ouaté, mitaines doublées en laine polaire, chaussettes épaisses, bottes isolées imperméables	3.67	0.569

Toutes les personnes qui font de l'exercice doivent savoir que le risque d'hypothermie augmente si la température est humide et que des vêtements résistants à l'humidité et avec assez d'isolation ne sont pas disponibles afin de maintenir la chaleur corporelle et empêcher la diminution de l'équilibre thermique à une température donnée de l'air. L'imposition d'une norme d'habillement pour un groupe d'individus pourrait amener une surchauffe et de la sudation exagérée à l'exercice chez certains alors que d'autres personnes seraient incapables de se garder au chaud. Ainsi, chacun doit ajuster son habillement selon ses propres besoins. Un problème fréquent est que les individus commencent à faire de l'exercice avec un habillement approprié pour le repos, et sont alors trop habillés après avoir commencé l'exercice. Si la combinaison des conditions environnementales, de l'intensité du travail, et d'habillement disponible suggère que la chaleur corporelle pourrait ne pas être maintenue (e.g. faible intensité de l'exercice en condition pluvieuse), la supervision du participant ou le système du copain doivent être encouragés. Tous les participants doivent être mis au courant des risques accrus d'hypothermie lorsque la température est humide, lorsque l'habillement pour temps humide n'est pas disponible et que l'intensité de l'exercice est faible (e.g. lorsque le participant arrête de courir ou se met à marcher). Rester au sec, surtout pour ceux faisant de l'exercice en zones éloignées, est extrêmement important et demande d'amener des habillements supplémentaires imperméables et des rechanges secs. Le port de combinaisons humides (wet suit) devient de plus en plus répandu, surtout lors des compétitions de triathlon. Ces combinaisons sont principalement utilisées en plongée récréative et chez les pêcheurs commerciaux pour maintenir la température centrale et augmenter le temps de survie lors de l'immersion (177). La Fédération internationale de natation amateur (FINA) a adopté des lignes directrices pour permettre l'utilisation de combinaisons humides lors de triathlons pour favoriser la protection thermique ([www.fina.org](http://www.fina.org)). Ces lignes sont basées sur le niveau sportif de l'athlète (élite ou non), la durée de la natation et la température de l'eau. Par exemple, un triathlète élite qui nage un parcours entre 1500 et 3000 m ne peut pas utiliser une combinaison humide si la température de l'eau est au-dessus de 23°C, mais doit en porter une si la température de l'eau est sous 15°C. Des études ont montré que la combinaison humide diminue la résistance (182), augmente la flottaison et diminue la consommation d'oxygène à toutes les vitesses de nage (183). Ainsi, leur utilisation lors de compétitions de natation est avant tout un aide ergogène. Pour cette raison, leur utilisation a été interdite lors des compétitions en bassin libre (e.g., traversée de la Manche ou du Lac St-Jean). La température centrale augmente légèrement à la natation avec une combinaison humide dans une eau à 20°C (184). La combinaison humide n'a pas d'effets négatifs sur la performance lors d'épreuves subséquentes du triathlon (vélo, course) après la natation dans une eau à 25°C (103). À des températures de l'eau plus basse, une combinaison humide avec protection des bras peut apporter la meilleure protection lors de la natation (132) puisque l'exercice avec les bras cause un refroidissement plus important qu'un exercice avec jambes seulement ou avec jambes et bras combinés (181). Les pertes de chaleur de la tête atteignent jusqu'à 50% de la production totale de chaleur de repos chez une personne portant des vêtements d'hiver et assise à une température de l'air de 4°C (25°F) (53). Une tuque ou un balaclava peuvent diminuer cette perte de chaleur substantiellement. Un bandeau peut être utilisé pour couvrir les oreilles, mais permet la perte de chaleur par la tête. Les chaussettes ne doivent pas être trop ajustées ils peuvent nuire au débit sanguin. Les souliers devraient être un point plus grand pour permettre le port de chaussettes épaisses. Les pieds transpirent

même au froid, particulièrement dans de lourdes bottes d'hiver. Cela nécessite de changer ses chaussettes au moins 2 fois par jour, et peut-être même plus souvent si les intensités d'activité physique sont élevées. **Énoncé d'évidence.** Les besoins d'habillement isolant à l'exercice sont fonction du taux métabolique et de la température ambiante. L'utilisation de multicouches fournit le plus de flexibilité pour ajuster l'isolation afin de prévenir la sudation, la surchauffe, le manque d'habillement, et afin de demeurer sec dans des conditions humides. **Niveau C.**

**Ingestion alimentaire et liquidienne.** Les athlètes peuvent dépenser plus d'énergie en ambiance froide (de 10 à 40%, (52)) par la combinaison d'un habillement et d'équipements plus lourds et par l'augmentation de la dépense énergétique requise pour travailler ou marcher dans la boue ou la neige (139). L'organisme peut aussi dépenser plus d'énergie à conserver la chaleur par le frisson lorsque la température est froide, mais cela dépend comment l'individu s'est protégé avec un choix approprié d'habillement. Si la température centrale reste au-dessus des valeurs de repos, à l'exercice, l'exposition au froid n'augmentera pas la consommation d'oxygène ou les besoins caloriques au-dessus de la normale (188,189). Dans la plupart des cas, les individus n'ont pas besoin de changer leur régime alimentaire habituel pour combler leurs besoins caloriques, en température froide, puisqu'ils ne font pas d'exercice continuellement pendant des jours et des semaines (e.g comme alpinisme). Si les besoins caloriques sont quand même plus élevés, les 10 à 40% de calories supplémentaires de plus par jour peuvent être obtenues en mangeant un déjeuner, un dîner et un souper "normal", et ensuite en ajoutant des collations fréquentes durant la journée. Pour la majorité des personnes actives qui ne subissent pas une baisse de températures centrale et musculaire, la fatigue est davantage associée à la disponibilité des glucides plutôt qu'à des limites thermorégulatrices (56,141). La durée et la puissance de l'exercice peuvent être soutenues en ingérant des boissons contenant 6–12% de glucides (56,57). De plus, puisque la disponibilité des glucides semble être une limite à l'effort, la surcompensation en glucide afin de maximiser les réserves musculaires en glycogène avant l'exercice au froid, est bénéfique (141). Ainsi, comme durant l'exercice en ambiance tempérée, la majorité des individus qui font de l'exercice au froid, pour de très longues périodes (skieurs de fond, marathoniens), maintiendront leur performance en mangeant des aliments riches en glucides comme des craquelins, des pommes de terre, des céréales, du pain et des pâtes. L'équilibre liquidien peut être affecté par l'exercice en ambiance froide. L'exercice peut augmenter les pertes liquidiennes provoquées par la sudation autant au froid qu'avec des ambiances amenant une augmentation de la température centrale à l'exercice et augmentant la sudation (52). Les pertes dues à la sudation se produisent si les activités s'effectuent à haute intensité, lors du port d'un habillement lourd pour la température froide et lors de déplacements dans la neige, ce qui provoque une très grande élévation du taux métabolique (139). Dans ces conditions, une personne pourrait devenir déshydratée si l'apport liquidien devenait beaucoup plus faible que la perte liquidienne. De plus, si la température de la peau chutait significativement, la soif serait moins perceptible au froid qu'en ambiance chaude (101). L'exposition à l'air froid ou l'immersion en eau froide peut aussi augmenter le débit urinaire, connue aussi sous le nom de diurèse induite par le froid (DIF). Cette réponse est tout probablement causée par la redistribution des liquides corporels de la périphérie vers la circulation centrale puisque de la vasoconstriction périphérique se produit (52). La DIF est auto-limitée parce que la réponse diminue à mesure que le contenu en eau diminue. La DIF est aussi évitée par de l'exercice à intensité moyenne (112). Une perte modérée de fluides pourrait ne pas être

aussi importante dans la performance à l'exercice au froid que dans des ambiances tempérées ou chaudes. De récentes données (23) indiquent que si la température de la peau est basse, une déshydratation de 4% n'a pas d'effet sur la performance en cyclisme au froid. Mais si la contrainte au froid est minimisée par un habillement adéquat et le maintien des températures centrales et de la peau près de ce qui est observé dans des ambiances tempérées et même chaudes, la déshydratation pourrait dégrader la performance (52). La déshydratation n'altère pas la conservation de la chaleur, la production de la chaleur ou les réponses de la VIF (134,136), et ne semble pas favoriser les blessures au froid. Une simple solution serait d'assurer une hydratation adéquate avant et pendant l'exercice. Avant l'exercice, les athlètes peuvent suivre leur état d'hydratation en notant la couleur et le volume de leur urine ainsi que leur poids corporel. Une urine foncée, de faible volume et une miction peu fréquente indiquent que l'apport de fluides devrait être augmenté. Aussi, des volumes élevés d'urine, une urine claire et de la miction fréquente indiquent que le remplacement des fluides est adéquat. Le poids corporel peut être évalué quotidiennement. Les individus boivent habituellement la plupart de leur eau avec les repas et l'ingestion d'aliments amène à augmenter la consommation de fluides (87,170). Lors des repas, les individus peuvent boire une variété de fluides (lait, jus, thé, boissons pour le sport, café), qui seront également efficaces pour le remplacement de l'eau corporelle (87). De plus, les repas fournissent l'apport de sodium nécessaire à la rétention de l'eau corporelle. Les boissons contenant du sodium aident davantage à la rétention des fluides (~ 1 kg de fluide de plus est retenu si la boisson contient du Na<sup>+</sup>) que l'eau pure, sur une période de plusieurs jours, lors d'une simulation d'une survie en ambiance froide (150). Cependant, peu d'informations sont disponibles sur leur efficacité, lors de courtes périodes d'exercice, en température froide. L'ingestion de neige, dans la plupart des cas, devrait être évitée. Elle peut potentiellement diminuer la température corporelle, contenir de la saleté et d'autres sources de pollution. De plus, la neige fournit relativement peu d'eau par volume pour contrer la déshydratation. Cependant chez une personne ayant une température corporelle normale ou élevée, la neige n'est pas contre-indiquée si c'est la seule source disponible d'eau. À l'exercice, un apport fréquent de fluide peut être une stratégie efficace pour maintenir l'hydratation. **Énoncé d'évidence.** Les environnements froids peuvent augmenter la dépense énergétique et peuvent causer des pertes liquidiennes; la déshydratation ne nuit pas à la vasoconstriction ou au frisson, donc, la déshydratation n'augmente pas la susceptibilité des blessures au froid. **Niveau C**

## ENGELURES.

Les engelures se produisent lorsque la température des tissus chute sous 0°C. Le point de congélation de la peau est légèrement sous le point de congélation de l'eau à cause des électrolytes contenus dans les cellules, le fluide extracellulaire et avec la surface de la peau pouvant geler entre -3.7 et -4.8°C (30,129,192). Une peau humide gèlera plus rapidement (129), atteindra une température plus basse (12) et aura un seuil de gel à une température plus élevée (~0.6°C, (100)). L'engelure est plus fréquente lorsque la peau est plus exposée (nez, oreilles, joue, poignet exposé), mais se produit aussi aux mains et aux pieds parce que la vasoconstriction périphérique diminue significativement les températures des tissus périphériques (33). Une engelure instantanée peut se produire lorsque la peau entre contact avec des liquides super refroidis, comme des dérivés du pétrole, l'huile, les combustibles, l'antigel et l'alcool. Ces substances demeurent liquides à des températures inférieures à ~40°C. Les engelures par contact peuvent se produire en touchant des objets froids avec la peau exposée (particulièrement les métaux ou des minéraux hautement

conducteurs), laquelle causes une rapide perte de chaleur. Habituellement, le premier signe d'engelure est l'engourdissement. En périphérie, la sensation initiale de refroidissement commence à une température de la peau à 28°C (~82°F; (81) tandis que la douleur apparaît à ~ 20°C (68°F; (42,81). Mais lorsque la température de la peau chute sous 10°C (50°F) ces sensations sont remplacées par de l'engourdissement (144). Les individus rapportent une sensation comme si la région touchée était faite de bois ou insensible. Après le réchauffement, la douleur est significative. La sensation initiale est une sensation inconfortable de froid, ce qui peut inclure des sensations de picotements, de brûlure, de douleur aiguë qui élance, et une diminution des sensations (128). La couleur de la peau peut au début être rougeâtre; elle devient ensuite d'un blanc cireux. Il faut noter que les températures périphériques (mains, pieds) peuvent être indicatives d'un refroidissement généralisé de tout l'organisme ce qui ultimement peut amener à une hypothermie. La chaleur corporelle est directement associée à la température de la peau des doigts et des orteils (14). Le tableau 5 présente les facteurs prédisposant des engelures. Les facteurs de risque sont séparés selon la cause : environnemental, mécanique, physiologique, et psychologique. Pour l'athlète en assez bonne santé, le plus pertinent sont les facteurs environnementaux et mécaniques puisque ceux-ci peuvent être prévenus par leur reconnaissance et en employant des mesures correctrices appropriées. Le sexe et la race sont des facteurs de risque importants qui ne peuvent être changés. Les réponses périphériques au froid semblent être différentes chez les hommes et les femmes.

TABLEAU 5. Facteurs prédisposant aux engelures et blessures dues au froid périphériques. Tableau préparé à partir des données présentées dans les références (24,32,33,44,94,106).

<b>Environnemental</b>	<b>Mécanique</b>	<b>Physiologique</b>	<b>Psychologique</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température</li> <li>• Humidité</li> <li>• durée de l'exposition</li> <li>• Altitude</li> <li>• produits du pétrole, huile et lubrifiants</li> <li>• contact avec métal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habillement serré</li> <li>• Habillement et abri inadéquat</li> <li>• Bottes serrées</li> <li>• Position regroupée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypothermie</li> <li>• Race</li> <li>• Sexe</li> <li>• Peau humide</li> <li>• Blessure périphérique au froid dans le passé</li> <li>• Traumatismes</li> <li>• Érythroderme</li> <li>• Hyperhydrose</li> <li>• Hypoxie</li> <li>• Tabagisme</li> <li>• Déplétion des réserves énergétiques</li> <li>• Mauvaise condition physique</li> <li>• Hypotension</li> <li>• Athérosclérose</li> <li>• Syndrome de Raynaud</li> <li>• Désordres vasospastiques</li> <li>• Diabète</li> <li>• Chocs</li> <li>• Médicaments vasoconstricteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stress mental grave</li> </ul>

Lors d'une exposition de la main au froid, avec le reste du corps chaud, la température des doigts est généralement plus basse chez la femme que chez l'homme (76,142,147). Les études sur le refroidissement par contact suggèrent un effet de la taille de la main (91). La prévalence des désordres vasculaires périphériques comme le syndrome de Raynaud est aussi plus élevée chez la femme, ce qui pourrait aussi la rendre plus susceptible à des blessures périphériques au froid (70). Le syndrome de Raynaud est un désordre transitoire et vasospastique qui amène les vaisseaux sanguins à se contracter plus qu'à la normale lorsqu'exposé au froid. Cela cause un débit sanguin très faible aux doigts (190). La région affectée devient blanche, bleue si elle devient cyanosée et ensuite rouge lors du réchauffement. Le syndrome de Raynaud est associé à des picotements, de l'oedème, ou des élancements douloureux. Les individus souffrant de sclérodermie, de lupus érythémateux ou d'arthrite sont plus susceptibles de souffrir du syndrome de Raynaud de même que les individus vivant dans des régions ayant des températures froides (11). Les hommes et les femmes de race moirée sont 2 à 4 fois plus susceptibles de souffrir de blessures dues au froid que les individus de race caucasiens (33). Des informations antérieures sur le risque d'engelure selon le groupe racial avaient été obtenues chez des populations militaires où des taux plus élevés d'engelures ont été observés chez des personnes de races noires (17,172). Une récente étude épidémiologique (33) ayant contrôlé le niveau d'exposition occupationnel au froid a aussi démontré un risque plus élevé pour les personnes de race noire dans différents types d'emplois. Les mécanismes physiologiques et anthropométriques expliquant le risque d'engelure plus élevé chez les personnes de race noire incluent une VIF moins prononcée, une réponse sympathique accrue à l'exposition au froid et des doigts plus minces et plus longs (17). Dans la plupart des cas, un séjour en haute altitude est synonyme à une exposition au froid. La température de l'air diminue de 2°C à chaque 310 m (1000 ft) au-dessus du site auquel la température a été mesurée. Aussi, selon le facteur de refroidissement éolien, la température sera plus basse à des altitudes plus élevées à cause de la combinaison des basses températures de l'air, des vitesses du vent plus élevées et d'un couvert d'arbres moins important en altitude. Les évidences épidémiologiques suggèrent que le risque d'engelure augmente significativement à des altitudes supérieures à 5182 m (77). La combinaison des déficits cognitifs connus causés par l'hypoxie (5) et les données préliminaires suggérant que la sensibilité cutanée au froid est moins prononcée dans les orteils (65), sont des facteurs qui peuvent potentiellement amener à faire des mauvais choix comportementaux en haute altitude et ainsi augmenter la susceptibilité individuelle à des blessures au froid. D'un point de vue physiologique, les réponses de la VIF semblent être atténuées par une exposition à l'altitude (9 4350 m) chez des sujets non acclimatés (28,122,171), avec une restauration possible de ces réponses après acclimatation à l'altitude pendant au moins 21–45 j (28,122). L'exposition à l'altitude (> 8000 ft) diminue aussi le frisson et la vasoconstriction en réponse au froid (10,92).

## **Stratégies préventives pour les engelures**

**Refroidissement éolien.** Les principaux déterminants du froid agissant comme stress lors d'activités extérieures sont la température de l'air, la vitesse du vent et l'humidité. La plus grande proportion des pertes de chaleur corporelle lors de l'exposition au froid se produit par la radiation, la conduction et la convection. Ainsi, lorsque les températures ambiantes sont plus froides que la température corporelle, le gradient thermique favorise les pertes de

chaleur de l'organisme (67). Le vent exacerbe les pertes de chaleur par convection (54) et réduit la valeur isolante de l'habillement. La température équivalente reliée aux facteurs de refroidissement éolien (Figure 3) intègre la vitesse du vent et la température de l'air pour donner un estimé de la puissance de refroidissement de l'environnement (130,138). La T(FRÉ) standardise la puissance de refroidissement de l'environnement à une température de l'air équivalente dans des conditions d'absence de vent. T(FRÉ) est spécifique si elle est appliquée correctement, estimant seulement le danger de refroidissement de la peau exposée de personnes marchant à  $1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (3 mph). Le vent n'amène pas un objet exposé à devenir plus froid que la température ambiante, mais le vent amène plutôt les objets exposés à refroidir jusqu'aux températures ambiantes plus rapidement qu'en absence de vent. La vitesse du vent obtenue des rapports météo ne tient pas compte du vent généré par les personnes. Par exemple, la course et le ski produisent un vent de même vélocité que la vitesse de déplacement du corps. Le T(FRÉ) indique le risque relatif d'engelure et donne une prédiction du temps pour geler (Fig. 3) la peau exposée du visage (38). La peau du visage a été choisie parce que cette région du corps est rarement protégée. L'engelure ne peut se produire si la température de l'air dépasse  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ). Une peau exposée au vent refroidira encore plus vite si elle est humide, la température ambiante utilisée pour le tableau de T(FRÉ) doit être  $10^{\circ}\text{C}$  plus basse que la température ambiante actuelle (12). Aussi, la température locale peut varier beaucoup en fonction de la topographie locale. Les vitesses du vent sont aussi mesurées à  $\sim 10 \text{ m}$  et l'exposition actuelle d'une personne varie avec les arbres, les édifices et la direction du vent sur la personne. La vitesse du vent est généralement plus élevée à des hautes altitudes qu'en basse altitude, où il y a davantage d'arbres. **Énoncé d'évidence.** Le risque d'engelure est de moins de 5% lorsque la température ambiante dépasse  $-15^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{F}$ ), mais une vigilance accrue des personnes faisant de l'exercice est nécessaire lorsque le T(FRÉ) chute sous  $-27^{\circ}\text{C}$  ( $-18^{\circ}\text{F}$ ). En effet, dans ces conditions, une engelure peut se produire en 30 min ou moins sur la peau exposée. **Niveau C**

**Exercice.** L'activité physique est une stratégie efficace pour augmenter la température de la peau des doigts lorsqu'il n'y a pas de vent. Par exemple, au repos, à une température de l'air de  $-10^{\circ}\text{C}$  sans vent, la température des doigts dans un gant est  $\sim 18^{\circ}\text{C}$ . À mesure que la production de chaleur métabolique augmente de 2 à 4 fois, la température des doigts augmente jusqu'à  $22\text{--}27^{\circ}\text{C}$  (118). Cependant, si les conditions sont venteuses, l'activité physique ne change pas significativement la température des doigts exposés ou couverts. L'exposition à un vent de  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (11 mph), à une température ambiante de  $-10^{\circ}\text{C}$ , durant un exercice légèrement à moyennement intense, augmente la température d'un doigt ganté de  $10^{\circ}\text{C}$  au repos à  $\sim 13^{\circ}\text{C}$  à l'exercice. Cependant, en augmentant l'intensité de l'exercice de 220 à 350 W (2.2–3.5 METs), on augmente la température de  $4.5^{\circ}\text{C}$  à  $8.9^{\circ}\text{C}$ , même avec un vent de  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (12,58) et Brajkovic et Ducharme (10) ont observé que la température de la peau du nez passe de  $9.7^{\circ}\text{C}$  au repos à  $18.1^{\circ}\text{C}$  à l'exercice.

**Vitesse  
du vent (mph)**

**Température de l'air (°C)**

	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
5	36	31	25	19	13	7	1	-5	-11	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-52	-57	-63
10	34	27	21	15	9	3	-4	-10	-16	-22	-28	-35	-41	-47	-53	-59	-66	-72
15	32	25	19	13	6	0	-7	-13	-19	-26	-32	-39	-45	-51	-58	-64	-71	-77
20	30	24	17	11	4	-2	-9	-15	-22	-29	-35	-42	-48	-55	-61	-68	-74	-81
25	29	23	16	9	3	-4	-11	-17	-24	-31	-37	-44	-51	-58	-64	-71	-78	-84
30	28	22	15	8	1	-5	-12	-19	-26	-33	-39	-46	-53	-60	-67	-73	-80	-87
35	28	21	14	7	0	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-82	-89
40	27	20	13	6	-1	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78	-84	-91
45	26	19	12	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79	-86	-93
50	26	19	12	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81	-88	-95
55	25	18	11	4	-3	-11	-18	-25	-32	-39	-46	-54	-61	-68	-75	-82	-89	-97
60	25	17	10	3	-4	-11	-19	-26	-33	-40	-48	-55	-62	-69	-76	-84	-91	-98

Temps d'engelure

Gris pâle-Engelure peut apparaître en 30 minutes  
 Gris d'intensité moyenne- Engelure peut apparaître en 10 minutes  
 Gris foncée- Engelure peut apparaître en 5 minutes

**Température de l'air (°C)**

Vent (km/h)	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-80
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81

**Guide pour engelures**

Faible risque d'engelure pour laplupart des individus
Risque élevé d'engelure pour la plupart des individus en 10-30 minutes d'exposition
Risque élevé d'engelure pour la plupart des individus en 5-10 minutes d'exposition
Risque élevé d'engelure pour la plupart des individus en 2-5 minutes d'exposition
Risque élevé d'engelure pour la plupart des individus en moins de 2 minutes d'exposition ou moins

FIGURE 3. Facteur de refroidissement éolien et température en Fahrenheit et en Celsius. Temps d'engelure pour la peau du visage. Le tableau du haut est emprunté du U.S. National Weather Service; celui du bas du Service météorologique d'Environnement Canada.

**Habillement.** Les mêmes principes d'habillement (multicouches et rester au sec) sont aussi valables pour les gants/mitaines, les chaussettes, et les couvre-têtes. Les gants et couvre tête peuvent être utilisés pour contrôler la perte de chaleur chez un individu en ajoutant ou en enlevant des items variés en fonction des sensations thermiques subjectives individuelles. Les gants et mitaines doivent être portés avant que les mains ne deviennent froides. Puis, à mesure que l'intensité de travail augmente et que les mains se réchauffent, les gants peuvent être enlevés pour éviter que la sueur s'accumule dans le tissu. L'utilisation de mitaines, comparée aux gants, fournit plus de protection contre les blessures au froid. Cependant, cette protection doit être considérée en tenant compte du déclin de dextérité manuelle avec l'utilisation de mitaines. Des doublures aux gants peuvent être utilisées pour éloigner l'humidité loin de la peau, pour permettre de la dextérité avec protection, et pour ajouter une couche d'isolation. Les individus ne doivent pas souffler de l'air chaud dans leurs mitaines ou gants parce l'humidité contenue dans l'air inspiré peut éventuellement geler et contribuer à refroidir les mains. L'utilisation sur la peau de vaseline ou d'autres émoullissants ne diminue pas le risque d'engelures (111,175). Au contraire, l'utilisation de ces produits pourrait augmenter le risque relatif d'engelures au visage (110). L'utilisation de vaseline peut augmenter ce risqué en donnant une fausse sensation de sécurité parce que les sujets perçoivent alors leur peau comme plus chaude, lorsque le visage est exposé au froid (111). Ces produits ne devraient pas être utilisés en eau froide. Les courroies sur les gants et sur d'autres équipements ne devraient pas être trop serrées, et les lacets ne devraient pas être trop serrés. Les courroies de sac-à-dos peuvent diminuer le débit sanguin vers les bras et les mains. Il est donc nécessaire d'enlever son sac-à-dos de temps à autre pour permettre une augmentation de la circulation. À ce moment, une vérification des engelures potentielles doit être faite par un pair.

### **BLESSURES AU FROID SANS ENGELURES.**

Les blessures au froid sans engelures (BFSE) les plus fréquentes sont le pied des tranchées et les engelures. Le pied des tranchées se produit habituellement lorsque les tissus sont exposés à des températures entre 0 et 15°C (32–60°F) pendant des périodes prolongées (75,174), alors que les engelures, étant des blessures plus superficielles, peuvent se produire après seulement quelques heures d'exposition de la peau nue (75). Ces blessures peuvent se produire par une immersion ou par la création d'un environnement humide, à l'intérieur des bottes et causé par des chaussettes humides de sueurs. Le diagnostic des BFSE implique une observation de symptômes cliniques différents dans le temps, des stades distincts apparaissent des jours et des mois après la blessure initiale (174). Le pied des tranchées apparaît initialement sous forme d'un pied enflé, oedémateux avec une sensation d'engourdissement. La coloration initiale est rougeâtre mais devient rapidement pâle et cyanosée, si la blessure est plus grave. Le pouls périphérique est difficile à détecter. Le pied des tranchées est accompagné de douleurs, d'une plus grande sensibilité à la douleur et aux infections (75). Le temps d'exposition nécessaire pour développer un pied des tranchées est assez variable, avec une estimation de 9 à 12 h jusqu'à 3–4 j dans un environnement froid-humide (74,174). De plus, habituellement, le pied des tranchées se développe lorsque des chaussettes et des souliers humides sont portés continuellement pendant plusieurs jours. La probabilité d'être atteint du pied des tranchées est faible dans la plupart des activités sportives, sauf en randonnée d'hiver, en camping et lors d'expéditions. L'engelure (aussi anciennement connu sous le terme érythème pernio) est une blessure au froid superficielle se produisant habituellement

après 1–5 h dans des conditions froides et humides (75), à des températures inférieures à 16°C (60°F). De petites papules érythémateuses apparaissent sur la peau, le plus souvent sur la surface dorsale des doigts. Cependant, l'atteinte aux oreilles, au visage et aux tibias exposés est aussi fréquente (75). Les lésions sont enflées, douloureuses et elles démangent. Lors du réchauffement, la peau devient enflammée, rougeâtre, chaude au toucher, enflée, avec un prurit ou une sensation de brûlure qui peut continuer pendant plusieurs heures d'exposition. Il n'y a pas d'effets durables de l'engelure. La prévention du pied des tranchées se fait en encourageant les individus à rester actifs afin d'augmenter le débit sanguin vers les pieds et en gardant les pieds au sec en changeant continuellement de chaussettes. Le changement de chaussettes de 2–3 fois durant la journée est obligatoire dans des environnements froids-humides, lors d'une exposition à long terme. Un traitement prophylactique avec des anti sudorifiques contenant de l'hydroxyde d'aluminium peut aussi diminuer la sudation des pieds. Des bottes coupe-vapeur (certains modèles pour la randonnée ou le ski) et des doublures ne permettent pas à la sueur de s'évaporer ce qui rend les changements de chaussettes encore plus importants. Ces bottes et leur doublure doivent être enlevées chaque jour, essuyées et séchées (75,174). Lorsque des bottes ordinaires sont portées, elles ont besoin de temps pour sécher afin d'empêcher l'humidité de rester dans l'isolation.

## **BLESSURES CAUSÉES PAR LE FROID.**

**Urticaire au froid.** L'urticaire au froid est caractérisée par un déclenchement rapide de prurit, de rougeur et d'œdème de la peau quelques minutes après l'exposition à un stimulus froid (75). C'est probablement la forme la plus fréquente d'urticaire. Dans les cas extrêmes, un choc anaphylactique peut se produire. Cette condition peut survenir à tout âge. Elle affecte autant les hommes que les femmes et sa prévalence est plus grande chez les jeunes adultes (18–25 ans). Il y a deux variantes à ce problème: l'urticaire au froid essentiel (acquis) et l'urticaire au froid familial (héréditaire) (75). Les symptômes de la forme acquise deviennent évidents en 2 à 5 minutes après l'exposition à la substance ou à la situation déclenchante, alors que ça prend 24 à 48 h aux symptômes de l'urticaire au froid familial avant d'apparaître. Aussi, les symptômes ont tendance à durer plus longtemps dans la forme familiale, soit environ 24 h et peuvent rester aussi longtemps que 48 h. Dans la forme acquise, les symptômes ont tendance à durer de 1 à 2 heures. Le diagnostic de l'urticaire au froid s'effectue en plaçant un cube de glace ou de l'eau glacée sur la peau. La gestion de l'urticaire au froid est possible grâce à l'éducation du patient, en évitant l'exposition au froid et en donnant au patient un auto-injecteur d'adrénaline.

**Bronchoconstriction induite par le froid.** La bronchoconstriction induite par le froid (BIF) est définie par un rétrécissement transitoire des voies aériennes causé par l'exercice (46,187) et est cliniquement démontré par une diminution de 9 à 10% du volume expiratoire maximale en 1 seconde ( $FEV_1$ ). La bronchoconstriction induite par le froid a un taux d'incidence de ~ 4–20% dans la population et de 11–50% chez les athlètes d'élite (46,154). L'exercice cause une BIF chez ~ 80% des individus souffrant d'asthme (127). L'exposition au froid a été mise en cause comme déclencheur de la bronchoconstriction et des symptômes asthmatiques. Les athlètes qui évoluent en température froide ont une prévalence accrue de bronchoconstriction induite par l'exercice (23% des athlètes des Olympiques d'hiver), les skieurs de fond ont un taux d'incidence de 33–50% (107,191). De

plus, les femmes auraient des taux supérieurs d'AIE que les hommes (187,191). Deux mécanismes ont été suggérés pour expliquer l'AIE. Une théorie (la théorie osmotique) suggère que l'assèchement des voies respiratoires causé par l'hyperventilation amène les cellules épithéliales des voies respiratoires à devenir hyper osmotiques et ainsi à tirer du fluide des cellules adjacentes. Cela amène une cascade de sécrétion de médiateurs de la bronchoconstriction (3, 46). Une deuxième théorie suggère que le refroidissement des voies respiratoires (exacerbées par l'air froid et une ventilation plus élevée) et un réchauffement subséquent causent un haut débit sanguin, un engorgement des vaisseaux sanguins, une formation d'œdème dans la vasculature des voies respiratoires provoquant l'obstruction voie respiratoire (46,156). Evans et al. (46) ont testé cette hypothèse et ont trouvé que l'air froid per se ne causait pas d'AIE, mais que l'air sec associé à l'exposition au froid est la cause probable d'AIE, suggérant que l'hyperosmolarité est un déclencheur du rétrécissement des voies respiratoires. Ainsi, l'utilisation d'air sec embouteillé lors d'une hyperventilation eucapnique volontaire est le test recommandé pour identifier l'AIE chez les athlètes (153). D'autres études rapportent aussi qu'un refroidissement facial ou du torse peut amener le FEV<sub>1</sub> à diminuer chez les personnes asthmatiques et chez les personnes contrôles (126,197). Ainsi l'AIE lors de l'exposition au froid est probablement causé par une association de la respiration d'air sec avec une réponse réflexe suite à un refroidissement de la peau ou du visage, créant une réponse inflammatoire, surtout chez les athlètes avec une ventilation minute élevée (95,169). Les personnes avec des épisodes d'AIE lorsqu'elles respirent de l'air froid lors d'un exercice intense ont une baisse de la FEV<sub>1</sub> (79,156) qui limite la ventilation maximale et en conséquence la performance maximale. De plus, même des personnes en santé peuvent présenter une augmentation du passage de sécrétions respiratoires et une diminution de la clairance mucociliaire en respirant de l'air très froid, à l'exercice. Aussi, toute congestion associée des voies respiratoires peut nuire à la mécanique et à la ventilation pulmonaire à l'exercice et ainsi, avoir un effet sur la performance (59). Une possible mesure de prévention afin de diminuer l'apparition d'AIE en température froide serait d'utiliser un échangeur buccal de chaleur et d'humidité (41,59) ou même une écharpe. Par contre, l'augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air lorsque la ventilation minute est élevée, pourrait défavoriser l'utilisation d'un échangeur d'humidité chez la plupart des athlètes compétitifs. L'AIE a une prévalence plus élevée chez les athlètes d'arénas ou de patinoires intérieures par rapport à des athlètes évoluant dans un environnement chaud (119,154,155,191). Les résultats de plusieurs chercheurs indiquent que la qualité de l'air dans l'aréna expliquerait cette plus haute incidence (113,152). Les resurfaceuses de patinoire produisent de hauts niveaux de monoxyde de carbone, de dioxyde d'azote et de particules ultrafines et fines à des niveaux aussi élevés que 20 fois l'air extérieur (152). Les particules augmentent la sensibilisation allergique et l'hyperréactivité des voies respiratoires (35) et l'exercice augmente le dépôt de particules extrafines (29), associées à une baisse de la FEV<sub>1</sub> (104). Les athlètes évoluant dans des arénas ou patinoires intérieures (patineurs artistiques, joueurs de hockey sur glace, patineurs de vitesse) et leur professionnel de la santé doivent donc savoir que l'exercice dans cet environnement peut favoriser facteur l'AIE. **Énoncé d'évidence.** Les athlètes d'hiver, surtout ceux travaillant à hautes intensités à des ventilation-minutes élevées et dans des patinoires intérieures, ont une incidence plus élevée d'AIE que la population en général. La respiration d'air sec et le refroidissement de la peau et du visage agissent en synergie pour déclencher le bronchospasme induit par l'exercice lors d'activités hivernales. Les polluants intérieurs sont aussi un déclencheur de l'AIE. **Niveau C**

**Mortalité/morbidité en hiver.** Les taux de mortalité sont plus élevés en hiver (45,98) par rapport aux mois d'été. Par contre, l'hypothermie n'est responsable que d'une faible proportion de ces décès supplémentaires. Cependant, l'hiver il y aurait une augmentation significative de la maladie coronarienne et des accidents vasculaires cérébraux (45,84). La mortalité augmente davantage dans les régions ayant des hivers relativement doux mais qui ont des épisodes de froid et chez les personnes qui sont moins actives à l'extérieur.

**Mortalité cardiaque.** Le stress de l'exercice au froid, comparé à celui de l'exercice en environnement chaud, augmente l'activité nerveuse sympathique, la résistance périphérique totale, la pression artérielle moyenne, le travail cardiaque et les besoins en oxygène du myocarde au repos ou à l'exercice (36,43,85). Par exemple, la pression artérielle moyenne augmente de ~ 17 mm Hg (18%) et le double produit (pression systolique X fréquence cardiaque) augmente de 10% (15). Le refroidissement du visage par le vent, à lui seul, peut faire baisser la fréquence cardiaque de ~ 10 bpm lors d'un exercice de faible intensité (< 35%VO<sub>2</sub>max) mais peut causer aussi une augmentation de la pression sanguine artérielle moyenne et du double produit, suite à une augmentation de la vasoconstriction périphérique et de la résistance vasculaire systémique (108). Ainsi un refroidissement de tout le corps et du visage pourrait théoriquement diminuer le seuil d'apparition de l'angine lors d'un exercice aérobic ce qui est supporté par plusieurs études (15,43,51,131,151). Le type et l'intensité du stress d'exercice au froid modifient aussi le risque pour le patient cardiaque. Les activités qui impliquent le haut du corps ou qui augmentent le métabolisme accroissent potentiellement le risque. Le pelletage de neige comporte une composante isométrique qui fait augmenter la pression sanguine systolique au-dessus de ce qui est observé lors d'un exercice avec les bras sur manivelle ergomètre seul. Le pelletage peut aussi faire augmenter la fréquence cardiaque jusqu'à 97% de la fréquence cardiaque maximale et la pression artérielle systolique jusqu'à 200 mm Hg (50). Cependant, les données sur l'influence de l'exposition au froid sur ces réponses sont limitées. Dougherty et al. (37) ont observé que la pression artérielle moyenne était plus élevée lors du pelletage statique-dynamique au froid (-8°C vs. 27°C), mais qu'il n'y avait pas de changements négatifs de l'électrocardiogramme. D'autres études suggèrent que les patients présentant une maladie coronarienne sélectionnent des intensités d'exercices sous leur seuil d'angine, lors du pelletage de neige (164). La marche dans la neige (dure ou molle) augmente significativement la dépense énergétique (139) et augmente les besoins d'oxygène du myocarde, ce qui demande aux patients coronariens de devoir ralentir leur vitesse de marche. La natation dans l'eau sous 25°C (77°F) peut être un risque pour les patients coronariens parce qu'ils peuvent être incapables de reconnaître les symptômes angineux et ainsi se placer en position de risque (117). Vingt cinq pourcent des patients ont rapportés souffrir d'angine lors de la natation dans une eau à une température de 25°C et 13% d'entre eux dans une eau tempérée à 18°C, toutefois une dépression du segment ST a été observée chez 75% des patients testés (117). **Énoncé d'évidence.** Les patients coronariens doivent être prudents lors de l'exercice ou du travail au froid et doivent être en mesure de reconnaître les symptômes angineux. La natation en eau froide n'est probablement pas un bon choix car elle a le potentiel de masquer les symptômes d'angine.

**Niveau C**

## CONCLUSIONS

L'exercice peut être pratiqué dans une variété d'environnements extrêmes, incluant l'air et l'eau froids. Puisque ce sujet touche plusieurs individus, l'ACSM a présenté une revue des données probantes sur l'exercice au froid. Un résumé des énoncés d'évidence et leur degré respectif d'évidence est présenté au Tableau 6. Puisque la recherche basée sur les données probantes sur le froid (sur le développement de l'hypothermie, les engelures, les blessures au froid sans engelures) sont limitées par des contraintes éthiques, la majorité des niveaux d'évidence sont basés sur des effets physiologiques. Cependant, cette recension d'informations permet tout de même de faire des recommandations qui aideront à prévenir des blessures au froid à l'exercice. La position de l'American College of Sports Medicine est à l'effet que l'exercice peut être pratiqué en ambiance froide si les entraîneurs, les athlètes, le personnel médical et les officiels adoptent une stratégie de gestion des risques. Une implantation réussie de cette stratégie nécessite de se poser les questions suivantes: a) Jusqu'à quel point fait-il froid?; b) quel habillement protecteur est disponible?, c) qui est à risque de blessures due aux températures froides?, d) quelle est la condition de santé de la personne qui fait de l'exercice?, e) quelle stratégies efficaces sont disponibles pour diminuer le stress au froid et le risque de blessures?, et f) y a-t-il un plan d'éventualités pour gérer les changements de conditions? L'entraînement en ambiance froide est très important, il permet aux athlètes et aux entraîneurs d'apprendre des stratégies pour ainsi prendre de bonnes décisions. L'entraînement pendant de plus courtes durées, une supervision rapprochée et des installations permettant le réchauffement sont des mesures qui aideront les athlètes lorsque la température est inférieure à la normale. Les conditions environnementales froides, dans la plupart des cas, ne devraient pas être un facteur limitant la pratique d'exercices dans des compétitions sportives, des activités récréatives, des activités de loisir, et au travail.

TABLEAU 6. Énoncé de Position de l'American College of Sports Medicine sur la prévention des blessures au froid à l'exercice

Section	Énoncé d'évidence	Niveau d'évidence
Hypothermie	L'exercice dans l'eau et sous la pluie augmente significativement le risque d'hypothermie.	A
	Les individus avec davantage de graisse sous-cutanée, un % graisse plus élevé, et plus de masse musculaire peuvent mieux maintenir leur température centrale que les individus avec moins de graisse et de muscle	B
	La réponse de la température centrale à l'exposition au froid entre la moyenne des hommes et celle des femmes est surtout attribuable aux différences de composition corporelle et anthropométriques.	C
	Les individus plus âgés (G 60 yr) sont à risque accru d'hypothermie à cause de réponses physiologiques et comportementales diminuées au froid. Les enfants ont un risque d'hypothermie plus élevée que les adultes à cause de différences de composition corporelle et anthropométriques.	B
	L'hypoglycémie nuit au frisson et augmente le risque d'hypothermie.	B
La condition physique et l'entraînement, <i>per se</i> , n'améliorent pas les réponses thermorégulatrices au froid. La condition physique permet à quelqu'un de faire de l'exercice pendant une plus période à une intensité plus élevée et peut ainsi contribuer à maintenir normale la température centrale.	C	

Stratégies de prévention contre l'hypothermie	<p>Les besoins en isolation pour l'habillement à l'exercice sont fonction de la dépense énergétique et de la température ambiante. Les multicouches fournissent le plus de flexibilité pour ajuster l'isolation afin de prévenir la sudation, la surchauffe, le manque d'habillement et pour rester sec lors de conditions humides.</p> <p>Les environnements froids peuvent augmenter la dépense énergétique et favoriser les pertes de fluides; la déshydratation ne nuit pas à la vasoconstriction ou au frisson, et ainsi n'augmente pas la susceptibilité aux blessures au froid.</p>	C  C
Stratégies de prévention des engelures	Le risque d'engelure est de moins de 5% lorsque la température ambiante dépasse 15°C (5°F), mais une surveillance accrue des personnes à l'exercice est nécessaire lorsque le T(FRÉ) descend sous ~27°C (~18°F) puisque dans ces conditions, l'engelure peut se produire en 30 minutes ou moins sur la peau exposée.	C
Blessures associées au froid	<p>Les athlètes d'hiver, surtout ceux travaillant à de intensités et ventilation minutes élevées, et dans des patinoires intérieures sont présentent une incidence plus élevée d'AIE que dans la population générale. La respiration d'air sec et le refroidissement de la peau et du visage agissent en synergie pour déclencher un bronchospasme induit par l'exercice lors d'activités d'hiver. Les polluants intérieurs sont aussi un déclencheur du BIE.</p> <p>Les patients coronariens doivent être prudents lors de l'exercice et du travail au froid et doivent être en mesure de reconnaître les symptômes d'angine. La natation en eau froide pourrait être un choix à éviter choix parce qu'elle peut masquer les symptômes d'angine.</p>	C  C

Cette opinion scientifique a été révisée pour l'American College of Sports Medicine par le Comité des opinions et par Ira Jacobs, Ph.D., FACSM; Joel B. Mitchell, Ph.D., FACSM; Timothy D. Noakes, M.D., FACSM; Kent B. Pandolf, Ph.D., FACSM; Kenneth W. Rundell, Ph.D., FACSM; et Susan M. Shirreffs, Ph.D., FACSM.

### Lexique des abréviations

BFSE :	blessures au froid sans engelures
BIE :	bronchoconstriction induite par l'exercice
T(FRÉ) :	température équivalente reliée au facteur de refroidissement éolien
SORT :	Strength of recommendations taxonomy ou Taxonomie des forces de recommandations
VIF :	vasodilation induite par le froid
MET :	la dépense énergétique au repos
AIE :	asthme induit par l'exercice
DIF :	diurèse induite par le froid

## RÉFÉRENCES

1. ADAMS, T. et R. E. SMITH. Effect of chronic local cold exposure on finger temperature responses. *J. Appl. Physiol.* 17:317–322, 1962.
2. AINSWORTH, B. E., W. L. HASKELL, A. S. LEON, et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:71–80, 1993.
3. ANDERSON, S. D. et E. DAVISKAS. Pathophysiology of exercise-induced asthma: the role of respiratory water loss. In: *Allergic and Respiratory Disease in Sports Medicine*, J. M. Weiler (Ed.). New York, NY: Marcel Dekker, pp. 87–114, 1997.
4. ASTRUP, A. Thermogenesis in human brown adipose tissue and skeletal muscle induced by sympathomimetic stimulation. *Acta Endocrinol. Suppl. (Copenh.)* 278:1–32, 1986.
5. BANDERET, L. E. et B. SHUKITT-HALE. Cognitive performance, mood et neurological status at high terrestrial elevations. In: *Medical Aspects of Harsh Environments*, K. B. Pandolf and R. E. Burr (Eds.). Falls Church, VA: Office of the Surgeon General, United States Army, pp. 729–763, 2002.
6. BASS, D. E. Metabolic and energy balances of men in a cold environment. In: *Cold Injury*, S. M. Horvath (Ed.). Montpelier, VT: Capital City Press, pp. 317–338, 1958.
7. BELDING, H. S. Protection against dry cold. In: *Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing*, L. H. Newburgh (Ed.). Philadelphia: W. B. Saunders, pp. 351–366, 1949.
8. BELL, D. G., P. TIKUISIS et I. JACOBS. Relative intensity of muscular contraction during shivering. *J. Appl. Physiol.* 72:2336–2342, 1992.
9. BITTEL, J. H. M., C. NONOTT-VARLY, G. H. LIVECCHI-GONNOT, G. SAVOUREY et A. M. HANNIQUET. Physical fitness and thermoregulatory reactions in a cold environment in men. *J. Appl. Physiol.* 65:1984–1989, 1988.
10. BLATTEIS, C. M. et L. O. LUTHERER. Effect of altitude exposure on thermoregulatory response of man to cold. *J. Appl. Physiol.* 41:848–858, 1976.
11. BLOCK, J. A. et W. SEQUEIRA. Raynaud's phenomenon. *Lancet* 357:2042–2048, 2001.
12. BRAJKOVIC, D. et M. B. DUCHARME. Facial cold-induced vasodilatation and skin temperature during exposure to cold wind. *Eur. J. Appl. Physiol.* 96:711–721, 2006.
13. BRAJKOVIC, D. et M. B. DUCHARME. Finger dexterity, skin temperature et blood flow during auxiliary heating in the cold. *J. Appl. Physiol.* 95:758–770, 2003.
14. BRAJKOVIC, D., M. B. DUCHARME et J. FRIM. Relationship between body heat content and finger temperature during cold exposure. *J. Appl. Physiol.* 90:2445–2452, 2001.
15. BROWN, C. F. et N. B. OLDRIDGE. Exercise-induced angina in the cold. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:607–612, 1985.
16. BUSKIRK, E. R., R. H. THOMPSON et G. D. WHEDON. Metabolic response to cold air in men and women in relation to total body fat content. *J. Appl. Physiol.* 18:603–612, 1963.
17. CANDLER, W. H. et H. IVEY. Cold weather injuries among U. S. soldiers in Alaska: a five-year review. *Mil. Med.* 162:788–791, 1997.
18. CANNON, B. et J. NEDERGAARD. Brown adipose tissue: function and physiological significance. *Physiol. Rev.* 84:277–359, 2004.
19. CANNON, P. et W. R. KEATINGE. The metabolic rate and heat loss of fat and thin men in heat balance in cold and warm water. *J. Physiol.* 154:329–344, 1960.
20. CASTELLANI, J. W., A. J. YOUNG, D. W. DEGROOT, et al. Thermoregulation during cold exposure after several days of exhaustive exercise. *J. Appl. Physiol.* 90:939–946, 2001.
21. CASTELLANI, J. W., A. J. YOUNG, J. E. KAIN, A. ROUSE et M. N. SAWKA. Thermoregulation during cold exposure: effects of prior exercise. *J. Appl. Physiol.* 87:247–252, 1999.
22. CHARKOUDIAN, N., D. P. STEPHENS, K. C. PIRKLE, W. A. KOSIBA et J. M. JOHNSON. Influence of female reproductive hormones on local thermal control of skin blood flow. *J. Appl. Physiol.* 87:1719–1723, 1999.
23. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER, J. W. CASTELLANI et M. N. SAWKA. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J. Appl. Physiol.* 99:1972–1976, 2005.
24. CLEOPHAS, T. J. M., J. F. M. FENNIS et A. VAN'T LAAR. Finger temperature after a finger-cooling test: influence of air temperature and smoking. *J. Appl. Physiol.* 52:1167–1171, 1982.

25. DAANEN, H. A. M. Finger cold-induced vasodilation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89:411–426, 2003.
26. DAANEN, H. A. M. et M. B. DUCHARME. Finger cold-induced vasodilation during mild hypothermia, hyperthermia and at thermoneutrality. *Aviat. Space Environ. Med.* 70:1206–1210, 1999.
27. DAANEN, H. A. M., F. J. G. VAN DE LINDE, T. T. ROMET et M. B. DUCHARME. The effect of body temperature on the hunting response of the middle finger skin temperature. *Eur. J. Appl. Physiol.* 76:538–543, 1997.
28. DAANEN, H. A. M. et H. J. A. VAN RUITEN. Cold-induced peripheral vasodilation at high altitudes - a field study. *High Alt. Med. Biol.* 1:323–329, 2000.
29. DAIGLE, C. C., D. C. CHALUPA, F. R. GIBB, et al. Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhal. Toxicol.* 15:539–552, 2003.
30. DANIELSSON, U. Windchill and the risk of tissue freezing. *J. Appl. Physiol.* 81:2666–2673, 1996.
31. DANZL, D. F. Accidental hypothermia. In: *Rosen's Emergency Medicine*, J. A. Marx (Ed.). St Louis, MO: Mosby, pp. 1979–1996, 2002.
32. DANZL, D. F. Frostbite. In: *Rosen's Emergency Medicine*, J. A. Marx (Ed.). St Louis, MO: Mosby, pp. 1972–1979, 2002.
33. DEGROOT, D. W., J. W. CASTELLANI, J. O. WILLIAMS et P. J. AMOROSO. Epidemiology of U. S. Army cold weather injuries, 1980–1999. *Aviat. Space Environ. Med.* 74:564–570, 2003.
34. DEPARTMENT OF THE ARMY. In: *Prevention and management of cold-weather injuries*, Washington, D.C.: Department of the Army, Technical Bulletin Medicine, p. 508, 2005.
35. DOCKERY, D. W., C. A. POPE, X. XU, et al. An association between air pollution and mortality in six U. S. cities. *N. Engl. J. Med.* 329:1753–1759, 1993.
36. DOUBT, T. J. Physiology of exercise in the cold. *Sports Med.* 11:367–381, 1991.
37. DOUGHERTY, S. M., L. M. SHELDAHL, N. A. WILKE, S. G. LEVANDOSKI, M. D. HOFFMAN et F. E. TRISTANI. Physiologic responses to shoveling and thermal stress in men with cardiac disease. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:790–795, 1993.
38. DUCHARME, M. B. et D. BRAJKOVIC. Guidelines on the risk and time to frostbite during exposure to cold wind. In *Proceedings of the RTO NATO Factors and Medicine Panel Specialist Meeting on Prevention of Cold Injuries*. Amsterdam: NATO, pp. 2–1–2–9, 2005.
39. DUCHARME, M. B. et P. TIKUISIS. In vivo thermal conductivity of the human forearm tissue. *J. Appl. Physiol.* 70:2682–2690, 1991.
40. DUCHARME, M. B., W. P. VANHELDER et M. W. RADOMSKI. Cyclic intramuscular temperature fluctuations in the human forearm during cold-water immersion. *Eur. J. Appl. Physiol.* 63:188–193, 1991.
41. EIKEN, O., P. KAISER, I. HOLMER et R. BAER. Physiological effects of a mouth-borne heat exchanger during heavy exercise in a cold environment. *Ergonomics* 32:645–653, 1989.
42. ENANDER, A. Perception of hand cooling during local cold air exposure at three different temperatures. *Ergonomics* 25:351–361, 1982.
43. EPSTEIN, S. E., M. STAMPFER, D. BEISER, R. E. GOLDSTEIN et E. BRAUNWALD. Effects of a reduction in environmental temperature on the circulatory response to exercise in man: implications concerning angina pectoris. *New Engl. J. Med.* 280:7–11, 1969.
44. ERVASTI, O., K. JUOPPERI, P. KETTUNEN, et al. The occurrence of frostbite and its risk factors in young men. *Int. J. Circum. Health* 63:71–80, 2004.
45. EUROWINTER GROUP. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease et all causes in warm and cold regions of Europe. *Lancet* 349:1341–1346, 1997.
46. EVANS, T. M., K. W. RUNDELL, K. C. BECK, A. M. LEVINE et J. M. BAUMANN. Cold air inhalation does not affect the severity of EIB after exercise or eucapnic voluntary hyperventilation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:544–549, 2005.
47. EYOLFSON, D. A., P. TIKUISIS, X. XU, G. WESEEN et G. G. GIESBRECHT. Measurement and prediction of peak shivering intensity in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 84:100–106, 2001.
48. FALK, B., O. BAR-OR, J. SMOLANDER et G. FROST. Response to rest and exercise in the cold: effects of age and aerobic fitness. *J. Appl. Physiol.* 76:72–78, 1994.
49. FERRETTI, G., A. VEICSTEINAS et D. W. RENNIE. Conductive and convective heat flows of exercising humans in cold water. *J. Appl. Physiol.* 67:2473–2480, 1989.
50. FRANKLIN, B. A., P. HOGAN, K. BONZHEIM, et al. Cardiac demands of heavy snow shoveling. *JAMA* 273:880–882, 1995.

51. FREEDBERG, A. S., E. D. SPIEGL et J. E. F. RISEMAN. Effect of external heat and cold on patients with angina pectoris: evidence for the existence of a reflex factor. *Am. Heart J.* 27:611–622, 1944.
52. FREUND, B. J. et M. N. SAWKA. Influence of cold stress on human fluid balance. In: *Nutritional Needs in Cold and in High-Altitude Environments*, B. M. Marriott and S. J. Carlson (Eds.). Washington, D.C.: National Academy Press, pp. 161–179, 1996.
53. FROESE, G. et A. C. BURTON. Heat losses from the human head. *J. Appl. Physiol.* 10:235–241, 1957.
54. GAGGE, A. P. et R. R. GONZALEZ. Mechanisms of heat exchange: biophysics and physiology. In: *Handbook of Physiology: Environmental Physiology*, M. J. Fregly and C. M. Blatteis (Eds.). Bethesda, MD: American Physiological Society, pp. 45–84, 1996.
55. GALE, E. A. M., T. BENNETT, J. H. GREEN et I. A. MACDONALD. Hypoglycaemia, hypothermia and shivering in man. *Clin. Sci. (Colch.)* 61:463–469, 1981.
56. GALLOWAY, S. D. R. et R. J. MAUGHAN. The effects of substrate and fluid provision on thermoregulatory, cardiorespiratory and metabolic responses to prolonged exercise in a cold environment in man. *Exp. Physiol.* 83:419–430, 1998.
57. GALLOWAY, S. D. R., S. A. WOOTTON, J. L. MURPHY et R. J. MAUGHAN. Exogenous carbohydrate oxidation from drinks ingested during prolonged exercise in a cold environment in humans. *J. Appl. Physiol.* 91:654–660, 2001.
58. GAVHED, D., T. MA" KINEN, I. HOLME 'R et H. RINTAMA" KI. Face cooling by cold wind in walking subjects. *Int. J. Biometeorol.* 47:148–155, 2003.
59. GIESBRECHT, G. G. The respiratory system in a cold environment. *Aviat. Space Environ. Med.* 66:890–902, 1995.
60. GILBERT, M., R. BUSUND, A. SKAGSETH, P. A. NILSEN et J. P. SOLBO. Resuscitation from accidental hypothermia of 13.7 degrees C with circulatory arrest. *Lancet* 355:375–376, 2000.
61. GLICKMAN-WEISS, E. L., C. CHEATHAM, N. CAINE, M. BLEGEN, J. MARCINKIEWICZ et K. D. MITTLEMAN. The influence of gender and menstrual phase on thermosensitivity during cold water immersion. *Aviat. Space Environ. Med.* 71:715–722, 2000.
62. GLICKMAN-WEISS, E. L., F. L. GOSS, R. J. ROBERTSON, K. F. METZ et D. A. CASSINELLI. Physiological and thermal responses of males with varying body compositions during immersion in moderately cold water. *Aviat. Space Environ. Med.* 62:1063–1067, 1991.
63. GLICKMAN-WEISS, E. L., A. G. NELSON, C. M. HEARON, F. L. GOSS, R. J. ROBERTSON et D. A. CASSINELLI. Effects of body morphology and mass on thermal responses to cold water: revisited. *Eur. J. Appl. Physiol.* 66:299–303, 1993.
64. GLICKMAN-WEISS, E. L., A. G. NELSON, C. M. HEARON, R. PRISBY et N. CAINE. Thermal and metabolic responses of women with high fat versus low fat body composition during exposure to 5 and 27-C for 120 min. *Aviat. Space Environ. Med.* 70:284–288, 1999.
65. GOLJA, P., A. KACIN, M. J. TIPTON, O. EIKEN et I. B. MEKJAVIC. Hypoxia increases the cutaneous threshold for the sensation of cold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92:62–68, 2004.
66. GONZALEZ, R. R. Biophysical and physiological integration of proper clothing for exercise. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 15:261–295, 1987.
67. GONZALEZ, R. R. et M. N. SAWKA. Biophysics of heat transfer and clothing considerations. In: *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*, K. B. Pandolf, M. N. Sawka et R. R. Gonzalez (Eds.). Indianapolis, IN: Benchmark, pp. 45–95, 1988.
68. GONZALEZ, R. R. et L. A. BLANCHARD. Thermoregulatory responses to cold transients: effects of menstrual cycle in resting women. *J. Appl. Physiol.* 85:543–553, 1998.
69. GRAHAM, T. E., M. VISWANATHAN, J. P. V. DIJK, A. BONEN et J. C. GEORGE. Thermal and metabolic responses to cold by men and by eumenorrhic and amenorrhic women. *J. Appl. Physiol.* 67:282–290, 1989.
70. GRISANTI, J. M. Raynaud's phenomenon. *Am. Fam. Physician* 41:134–142, 1990.
71. HAMAN, F. Shivering in the cold: from mechanisms of fuel selection to survival. *J. Appl. Physiol.* 100:1702–1708, 2006.
72. HAMAN, F., F. PERONNET, G. P. KENNY, et al. Effects of carbohydrate availability on sustained shivering I. Oxidation of plasma glucose, muscle glycogen et proteins. *J. Appl. Physiol.* 96:32–40, 2004.
73. HAMAN, F., F. PERONNET, G. P. KENNY, et al. Effect of cold exposure on fuel utilization in humans: plasma glucose, muscle glycogen et lipids. *J. Appl. Physiol.* 93:77–84, 2002.
74. HAMLET, M. P. Human cold injuries. In: *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*, K. B. Pandolf, M. N. Sawka et R. R. Gonzalez (Eds.). Indianapolis, IN: Benchmark, pp. 435–466, 1988.
75. HAMLET, M. P. Nonfreezing cold injuries. In: *Textbook of Wilderness Medicine*, P. S. Auerbach (Ed.). St. Louis, MO: Mosby, pp. 129–134, 2001.

76. HARTELINK, M. L., H. WOLLERSHEIM, E. LEESMAN, T. DE BOO et T. THIEN. A standardized finger cooling test for Raynaud's phenomenon: diagnostic value and sex differences. *Eur. Heart J.* 14:614–622, 1993.
77. HASHMI, M. A., M. RASHID, A. HALEEM, S. S. BOKHARI et T. HUSSAIN. Frostbite: epidemiology at high altitude in the Karakoram mountains. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 80:91–95, 1998.
78. HAYWARD, M. G. et W. R. KEATINGE. Roles of subcutaneous fat and thermoregulatory reflexes in determining ability to stabilize body temperature in water. *J. Physiol. (Lond.)* 320:229–251, 1981.
79. HELENIUS, I. J., H. O. TIKKANEN et T. HAAHTELA. Exercise-induced bronchospasm at low temperatures in elite runners. *Thorax* 51:628–629, 1996.
80. HESSEMER, V. et K. BRU<sup>CK</sup>. Influence of menstrual cycle on shivering, skin blood flow et sweating responses measured at night. *J. Appl. Physiol.* 59:1902–1910, 1985.
81. HEUS, R., H. A. M. DAANEN et G. HAVENITH. Physiological criteria for functioning of hands in the cold. *Appl. Ergonomics* 26:5–13, 1995.
82. HOLMER, I. Assessment of cold stress in terms of required clothing insulation-IREQ. *Int. J. Indust. Ergon.* 3:159–166, 1988.
83. HONG, S. K., D. W. RENNIE et Y. S. PARK. Humans can acclimatize to cold: a lesson from Korean women divers. *N. I. P. S.* 2:79–82, 1987.
84. HONG, Y. C., J. H. RHA, J. T. LEE, E. H. HA, H. J. KWON et H. KIM. Ischemic stroke associated with decrease in temperature. *Epidemiology* 14:473–478, 2003.
85. HORVATH, S. M. Exercise in a cold environment. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 9:221–263, 1981.
86. IIDA, T. Studies concerning vascular reaction to cold (Part I), Physiological significance of vascular reactions to cold [In Japanese]. *J. Physiol. Soc. Japan* 11:73–78, 1949.
87. INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride et Sulfate, Washington, D.C.: The National Academies Press, 2005.
88. ISO. Evaluation of cold environments - Determination of required clothing insulation (IREQ), Geneva: International Organization for Standardization, 1993. TR 11079.
89. ISO. Ergonomics of the thermal environment- Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble, Geneva: International Organization for Standardization, 2005. ISO 9920.
90. JACOBS, I., T. ROMET, J. FRIM et A. HYNES. Effects of endurance fitness on responses to cold water immersion. *Aviat. Space Environ. Med.* 55:715–720, 1984.
91. JAY, O. et G. HAVENITH. Finger skin cooling on contact with cold materials: a comparison between male and female responses during short-term exposures. *Eur. J. Appl. Physiol.* 91:373–381, 2004.
92. JOHNSTON, C. E., M. D. WHITE, W. MINGPU, G. K. BRISTOW et G. G. GIESBRECHT. Eucapnic hypoxia lowers human cold thermoregulatory response thresholds and accelerates core cooling. *J. Appl. Physiol.* 80:422–429, 1996.
93. JONES, B. H., P. B. ROCK, L. S. SMITH, et al. Medical complaints after a marathon run in cool weather. *Physician Sportsmed.* 13:103–110, 1985.
94. JUOPPERI, K., J. HASSI, O. ERVASTI, A. DREBS et S. NÄYHÄ. Incidence of frostbite and ambient temperature in Finland, 1986–1995. *Int. J. Circum. Health* 61:352–362, 2002.
95. KARJALAINEN, E., A. LAITINEN, M. SUE-CHU, A. ALTRAJA, L. BJERMER et L. LAITINEN. Evidence of airway inflammation and remodeling in ski athletes with and without bronchial hyperresponsiveness to methacholine. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 161:2086–2091, 2000.
96. KASAI, T., M. HIROSE, T. MATSUKAWA, A. TAKAMATA et Y. TANAKA. The vasoconstriction threshold is increased in obese patients during general anaesthesia. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 47:588–592, 2003.
97. KAUFMAN, W. C. et D. J. BOTHE. Wind chill reconsidered, Siple revisited. *Aviat. Space Environ. Med.* 57:23–26, 1986.
98. KEATINGE, W. Medical problems of cold weather. *J. R. Coll. Physicians Lond.* 20:283–287, 1986.
99. KEATINGE, W. R. The effects of subcutaneous fat and of previous exposure to cold on the body temperature, peripheral blood flow and metabolic rate of men in cold water. *J. Physiol. (Lond.)* 153:166–178, 1960.
100. KEATINGE, W. R. et P. CANNON. Freezing-point of human skin. *Lancet* 1:11–14, 1960.
101. KENEFICK, R. W., M. P. HAZZARD, N. V. MAHOOD et J. W. CASTELLANI. Thirst sensations and AVP responses are attenuated when hypohydrated at rest and during exercise-cold exposure. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:1528–1534, 2004.

102. KENNEY, W. L. et C. G. ARMSTRONG. Reflex peripheral vasoconstriction is diminished in older men. *J. Appl. Physiol.* 80:512–515, 1996.
103. KERR, C. G., T. A. TRAPPE, R. D. STARLING et S. W. TRAPPE. Hyperthermia during Olympic triathlon: influence of body heat storage during the swimming stage. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:99–104, 1998.
104. KIM, C. S. et T. C. KANG. Comparative measurement of lung deposition of inhaled fine particles in normal subjects and patients with obstructive airway disease. *Am. J. Crit. Care Med.* 155:899–905, 1997.
105. KLENTROU, P., M. CUNLIFFE, J. SLACK, et al. Temperature regulation during rest and exercise in the cold in premenarcheal and menarcheal girls. *J. Appl. Physiol.* 96:1393–1398, 2004.
106. KOLJONEN, V., K. ANDERSSON, K. MIKKONEN et J. VUOLA. Frostbite injuries treated in the Helsinki area from 1995 to 2002. *J. Trauma* 57:1315–1320, 2004.
107. LARSSON, K., P. OHLSEN, L. LARSSON, P. MALMBERG, P. O. RYDSTROM et H. ULRIKSEN. High prevalence of asthma in cross-country skiers. *BMJ* 307:1326–1329, 1993.
108. LEBLANC, J. *Man in the Cold*, Springfield, Ill: Charles C. Thomas, 1975.
109. LEE, D. T., M. M. TONER, W. D. MCARDLE, J. S. VRABAS et K. B. PANDOLF. Thermal and metabolic responses to cold-water immersion at knee, hip and shoulder levels. *J. Appl. Physiol.* 82:1523–1530, 1997.
110. LEHMUSKALLIO, E. Emollients in the prevention of frostbite. *Int. J. Circumpolar Health* 59:122–130, 2000.
111. LEHMUSKALLIO, E., H. RINTAMAKI et H. ANTTONEN. Thermal effects of emollients on facial skin in the cold. *Acta Derm. Venereol.* 80:203–207, 2000.
112. LENNQUIST, H., P. GRANBERG et B. WEDIN. Fluid balance and physical work capacity in humans exposed to cold. *Arch. Environ. Health* 29:241–249, 1974.
113. LEVY, J. I., K. LEE, Y. YANAGISAWA, P. HUTCHINSON et J. D. SPENGLER. Determinants of nitrogen dioxide concentrations in indoor ice skating rinks. *Am. J. Public Health.* 88:1781–1786, 1998.
114. LEWIS, T. Observations upon the reactions of the vessels of the human skin to cold. *Heart* 15:177–208, 1930.
115. LOUNSBURY, D. S. and M. B. DUCHARME. Self-rescue strategies during accidental cold water immersion: performance and thermal considerations. In *Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Ergonomics*. Ystad, Sweden: Lund University, pp. 553–556, 2005.
116. MACDONALD, I. A., T. BENNETT et R. SAINSBURY. The effect of a 48 h fast on the thermoregulatory responses to graded cooling in man. *Clin. Sci.* 67:445–452, 1984.
117. MAGDER, S., D. LINNARSSON et L. GULLSTRAND. The effect of swimming on patients with ischemic heart disease. *Circulation* 63:979–986, 1981.
118. MÄKINEN, T. T., D. GAVHED, I. HOLME ´ R et H. RINTAMA` KI. Effects of metabolic rate on thermal responses at different air velocities in -10 °C. *Comp. Biochem. Physiol. Part A* 128:759–768, 2001.
119. MANNIX, E. T., F. MANFREDI et M. O. FARBER. A comparison of two challenge tests for identifying exercise-induced bronchospasm in figure skaters. *Chest* 115:649–653, 1999.
120. MANSELL, P. I. et I. A. MACDONALD. Effects of underfeeding and of starvation on thermoregulatory responses to cooling in women. *Clin. Sci.* 77:245–252, 1989.
121. MARTINEAU, L. et I. JACOBS. Muscle glycogen availability and temperature regulation in humans. *J. Appl. Physiol.* 66:72–78, 1989.
122. MATHEW, L., S. S. PURKAYASTHA, W. SELVAMURTHY et M. S. MALHOTRA. Cold-induced vasodilation and peripheral blood flow under local cold stress in man at altitude. *Aviat. Space Environ. Med.* 48:497–500, 1977.
123. MAUGHAN, R. J. Thermoregulation in marathon competition at low ambient temperature. *Int. J. Sports Med.* 6:15–19, 1985.
124. MCARDLE, W. D., J. R. MAGEL, T. J. GERGLEY, R. J. SPINA et M. M. TONER. Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women. *J. Appl. Physiol.* 56:1565–1571, 1984.
125. MCARDLE, W. D., J. R. MAGEL, R. J. SPINA, T. J. GERGLEY et M. M. TONER. Thermal adjustment to cold-water exposure in exercising men and women. *J. Appl. Physiol.* 56:1572–1577, 1984.
126. MCDONALD, J. S., J. NELSON, K. A. LENNER, M. L. MCLANE et E. R. MCFADDEN. Effects of the combination of skin cooling and hyperpnea of frigid air in asthmatic and normal subjects. *J. Appl. Physiol.* 82:453–459, 1997.
127. MELLION, M. B. et R. H. KOBAYASHI. Exercise-induced asthma. *Am. Fam. Physician* 45:2671–2677, 1992.

128. MILLS, W. J. Clinical aspects of freezing cold injury. In: Textbooks of Military Medicine: Medical Aspects of Harsh Environments, Volume 1, K. B. Pandolf and R. E. Burr (Eds.). Falls Church, VA: Office of the Surgeon General, U. S. Army, pp. 429–466, 2002.
129. MOLNAR, G. W., A. L. HUGHES, O. WILSON et R. F. GOLDMAN. Effect of skin wetting on finger cooling and freezing. *J. Appl. Physiol.* 35:205–207, 1973.
130. NATIONAL WEATHER SERVICE. Windchill Temperature Index. Office of Climate, Water et Weather Services, Washington, D.C., National Oceanic and Atmospheric Administration 2001.
131. NEILL, W. A., D. A. DUNCAN, F. KLOSTER et D. J. MAHLER. Response of coronary circulation to cutaneous cold. *Am. J. Med.* 56:471–476, 1974.
132. NOAKES, T. D. Exercise and the cold. *Ergonomics* 43:1461–1479, 2000.
133. O'BRIEN, C. Reproducibility of the cold-induced vasodilation response in the human finger. *J. Appl. Physiol.* 90:254–259, 2005.
134. O'BRIEN, C. et S. J. MONTAIN. Hypohydration effect on finger skin temperature and blood flow during cold-water finger immersion. *J. Appl. Physiol.* 94:598–603, 2003.
135. O'BRIEN, C., A. J. YOUNG, D. T. LEE, A. SHITZER, M. N. SAWKA et K. B. PANDOLF. Role of core temperature as a stimulus for cold acclimation during repeated immersion in 20-C water. *J. Appl. Physiol.* 89:242–250, 2000.
136. O'BRIEN, C., A. J. YOUNG et M. N. SAWKA. Hypohydration and thermoregulation in cold air. *J. Appl. Physiol.* 84:185–189, 1998.
137. OHNAKA, T., Y. TOCHIHARA, K. TSUZUKI, Y. NAGAI, T. TOKUDA et Y. KAWASHIMA. Preferred temperature of the elderly after cold and heat exposures determined by individual self-selection of air temperature. *J. Therm. Biol.* 18:349–353, 1993.
138. OSCZEWSKI, R. J. et M. BLUESTEIN. The new wind chill equivalent temperature chart. *Bulletin Amer. Meteor. Soc.* 86:1453–1458, 2005.
139. PANDOLF, K. B., M. F. HAISMAN et R. F. GOLDMAN. Metabolic energy expenditure and terrain coefficients for walking on snow. *Ergonomics* 19:683–690, 1976.
140. PASSIAS, T. C., G. S. MENEILLY et I. B. MEKJAVIC. Effect of hypoglycemia on thermoregulatory responses. *J. Appl. Physiol.* 80:1021–1032, 1996.
141. PITSILADIS, Y. P. et R. J. MAUGHAN. The effects of exercise and diet manipulation on the capacity to perform prolonged exercise in the heat and in the cold in trained humans. *J. Physiol. (Lond.)* 517:919–930, 1999.
142. POLLOCK, F. E., L. A. KOMAN, B. P. SMITH, M. HOLDEN, G. B. RUSSELL et G. G. POEHLING. Measurement of hand microvascular blood flow with isolated cold stress testing and laser doppler fluxmetry. *J. Hand Surg.* 18A:143–150, 1993.
143. POZOS, R. S. et D. F. DANZL. Human physiological responses to cold stress and hypothermia. In: Textbooks of Military Medicine: Medical Aspects of Harsh Environments, Volume 1, K. B. Pandolf and R. E. Burr (Eds.). Falls Church, VA: Office of the Surgeon General, U. S. Army, pp. 351–382, 2002.
144. PROVINS, K. A. et R. MORTON. Tactile discrimination and skin temperature. *J. Appl. Physiol.* 15:155–160, 1960.
145. PUGH, L. G. C. E. Deaths from exposure on Four Inns walking competition, March 14–15, 1964. *Lancet* 1:1210–1212, 1964.
146. PUGH, L. G. C. E. Cold stress and muscular exercise, with special reference to accidental hypothermia. *Br. Med. J.* 2:333–337, 1967.
147. READING, J. E., D. E. ROBERTS et W. K. PRUSACZYK. Gender differences in finger temperatures during cold air exposure. San Diego, CA: Naval Health Reseach Center, Technical Report 97–37, 1997.
148. RENNIE, D. W. Tissue heat transfer in water: lessons from the Korean divers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20(Supplement): S177–S184, 1988.
149. ROBERTS, W. O. A 12-yr profile of medical injury and illness for the Twin Cities Marathon. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1549–1555, 2000.
150. ROGERS, T. A. et J. A. SETLIFF. Value of fluid and electrolyte supplements in subarctic survival situations. *J. Appl. Physiol.* 19:580–582, 1964.
151. ROSENGREN, A., B. WENNERBLUM, T. BJURO, L. WILHELMSSEN et B. BAKE. Effects of cold on ST amplitudes and blood pressure during exercise in angina pectoris. *Eur. Heart J.* 9:1074–1080, 1988.
152. RUNDELL, K. W. High levels of airborne ultrafine and fine particulate matter in indoor ice arenas. *Inhal. Toxicol.* 15:237–250, 2002.

153. RUNDELL, K. W., S. D. ANDERSON, B. A. SPIERING et D. A. JUDELSON. Field exercise vs laboratory eucapnic voluntary hyperventilation to identify airway hyperresponsiveness in elite cold weather athletes. *Chest* 125:909–915, 2004.
154. RUNDELL, K. W. et D. M. JENKINSON. Exercise-induced bronchospasm in the elite athlete. *Sports Med.* 32:583–600, 2002.
155. RUNDELL, K. W., B. A. SPIERING, T. M. EVANS et J. M. BAUMANN. Baseline lung function, exercise-induced bronchoconstriction et asthma-like symptoms in elite women ice hockey players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:405–410, 2004.
156. RUNDELL, K. W., B. A. SPIERING, D. A. JUDELSON et M. H. WILSON. Bronchoconstriction during cross-country skiing: is there really a refractory period? *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:18–26, 2003.
157. SAGAWA, S., K. SHIRAKI, M. K. YOUSEF et N. KONDA. Water temperature and intensity of exercise in maintenance of thermal equilibrium. *J. Appl. Physiol.* 65:2413–2419, 1988.
158. SALLIS, R. et M. C. CHASSAY. Recognizing and treating common cold-induced injury in outdoor sports. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:1367–1373, 1999.
159. SAVAGE, M. V. et G. L. BRENGELMANN. Control of skin blood flow in the neutral zone of human body temperature regulation. *J. Appl. Physiol.* 80:1249–1257, 1996.
160. SAVOUREY, G. et J. BITTEL. Thermoregulatory changes in the cold induced by physical training in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 78:379–384, 1998.
161. SAVOUREY, G., L. CLERC, A. L. VALLERAND, G. LEFTHERIOTIS, H. MEHIER et J. H. M. BITTEL. Blood flow and muscle bioenergetics by <sup>31</sup>P-NMR after local cold acclimation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64:127–133, 1992.
162. SAWKA, M. N. et A. J. YOUNG. Physical exercise in hot and cold climates. In: *Exercise and Sport Science*, W. E. Garrett and D. T. Kirkendall (Eds.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, pp. 385–400, 2000.
163. SCOTT, C. G., M. B. DUCHARME, F. HAMAN et G. P. KENNY. Warming by immersion or exercise affects initial cooling rate during subsequent cold water immersion. *Aviat. Space Environ. Med.* 75:956–963, 2004.
164. SHELDAHL, L. M., N. A. WILKE, S. M. DOUGHERTY et F. E. TRISTANI. Snow blowing and shoveling in normal and asymptomatic coronary artery diseased men. *Int. J. Cardiol.* 43:233–238, 1994.
165. SLOAN, R. E. G. et W. R. KEATINGE. Cooling rates of young people swimming in cold water. *J. Appl. Physiol.* 35:371–375, 1973.
166. SMOLANDER, J. Effect of cold exposure on older humans. *Int. J. Sports Med.* 23:86–92, 2002.
167. SMOLANDER, J., O. BAR-OR, O. KORHONEN et J. ILMARINEN. Thermoregulation during rest and exercise in the cold in preand early pubescent boys and in young men. *J. Appl. Physiol.* 72:1589–1594, 1992.
168. STOCKS, J. M., N. A. TAYLOR, M. J. TIPTON et J. E. GREENLEAF. Human physiological responses to cold exposure. *Aviat. Space Environ. Med.* 75:444–457, 2004.
169. SUE-CHU, M., L. LARSSON, T. MOEN, S. I. RENNARD et L. BJERMER. Bronchoscopy and bronchoalveolar lavage findings in cross-country skiers with and without “ski asthma”. *Eur. Respir. J.* 13:626–632, 1999.
170. SZLYK, P. C., I. V. SILS, R. P. FRANCESCONI et R. W. HUBBARD. Patterns of human drinking: effects of exercise, water temperature et food consumption. *Aviat. Space Environ. Med.* 61:43–48, 1990.
171. TAKEOKA, A., Y. YANAGIDAIRA, A. SAKAI, et al. Effects of high altitudes on finger cooling test in Japanese and Tibetans at Quighai plateau. *Int. J. Biometeor.* 37:27–31, 1993.
172. TAYLOR, M. S. Cold weather injuries during peacetime military training. *Mil. Med.* 157:602–604, 1992.
173. TAYLOR, N. A., N. K. ALLSOPP et D. G. PARKES. Preferred room temperature of young vs. aged males: the influence of thermal sensation, thermal comfort et affect. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 50:216–221, 1995.
174. THOMAS, J. R. et E. H. N. OAKLEY. Nonfreezing cold injury. In: *Textbooks of Military Medicine: Medical Aspects of Harsh Environments*, Volume 1, K. B. Pandolf and R. E. Burr (Eds.). Falls Church, VA: Office of the Surgeon General, U. S. Army, pp. 467–490, 2002.
175. THORLEIFSSON, A. et H. C. WULF. Emollients and the response of facial skin to a cold environment. *Br. J. Dermatol.* 148:1149–1152, 2003.
176. TIKUISIS, P., I. JACOBS, D. MOROZ, A. L. VALLERAND et L. MARTINEAU. Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water. *J. Appl. Physiol.* 89:1403–1411, 2000.
177. TIPTON, M. J. et F. S. C. GOLDEN. Immersion in cold water: effects on performance and safety. In: *Oxford Textbook of Sports Medicine*, M. Harries, C. Williams, W. D. Stanish et L. J. Micheli (Eds.). Oxford: Oxford University Press, pp. 241–254, 1998.

178. TONER, M. M. et W. D. MCARDLE. Human thermoregulatory responses to acute cold stress with special reference to water immersion. In: *Handbook of Physiology: Environmental Physiology*, M. J. Fregley and C. M. Blatteis (Eds.). Bethesda, MD: American Physiological Society, pp. 379–418, 1996.
179. TONER, M. M., M. N. SAWKA, M. E. FOLEY et K. B. PANDOLF. Effects of body mass and morphology on thermal responses in water. *J. Appl. Physiol.* 60:521–525, 1986.
180. TONER, M. M., M. N. SAWKA, W. L. HOLDER et K. B. PANDOLF. Comparison of thermal responses between rest and leg exercise in water. *J. Appl. Physiol.* 59:248–253, 1985.
181. TONER, M. M., M. N. SAWKA et K. B. PANDOLF. Thermal responses during arm and leg and combined arm-leg exercise in water. *J. Appl. Physiol.* 56:1355–1360, 1984.
182. TOUSSAINT, H. M., L. BRUININK, R. COSTER, et al. Effect of a triathlon wet suit on drag during swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:325–328, 1989.
183. TRAPPE, T. A., D. L. PEASE, S.W. TRAPPE, J. P. TROUP et E. R. BURKE. Physiological responses to swimming while wearing a wet suit. *Int. J. Sports Med.* 17:111–114, 1996.
184. TRAPPE, T. A., R. D. STARLING, A. C. JOZSI, et al. Thermal responses to swimming in three water temperatures: influence of a wet suit. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:1014–1021, 1995.
185. VEICSTEINAS, A., G. FERRETTI et D. W. RENNIE. Superficial shell insulation in resting and exercising men in cold water. *J. Appl. Physiol.* 52:1557–1564, 1982.
186. WALLINGFORD, R., M. B. DUCHARME et E. POMMIER. Limiting factors in cold water survival swimming distance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 82:22, 2000.
187. WEILER, J. M. et E. J. RYAN. Asthma in United States olympic athletes who participated in the 1998 olympic winter games. *J. Allergy Clin. Immunol.* 106:267–271, 2000.
188. WELLER, A. S., C. E. MILLARD, M. A. STROUD, P. L. GREENHAFF et I. A. MACDONALD. Physiological responses to cold stress during prolonged intermittent low- and high-intensity walking. *Am. J. Physiol.* 272:R2025–R2033, 1997.
189. WELLER, A. S., C. E. MILLARD, M. A. STROUD, P. L. GREENHAFF et I. A. MACDONALD. Physiological responses to a cold, wet et windy environment during prolonged intermittent walking. *Am. J. Physiol.* 272:R226–R233, 1997.
190. WIGLEY, F. M. Raynaud's phenomenon. *N. Engl. J. Med.* 347:1001–1008, 2002.
191. WILBER, R. L., K. W. RUNDELL, L. SZMEDRA, D. M. JENKINSON, J. IM et S. E. DRAKE. Incidence of exercise-induced bronchospasm in Olympic winter sport athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:732–737, 2000.
192. WILSON, O., R. F. GOLDMAN et G. W. MOLNAR. Freezing temperature of finger skin. *J. Appl. Physiol.* 41:551–558, 1976.
193. YOUNG, A. J. Homeostatic responses to prolonged cold exposure: human cold acclimatization. In: *Handbook of Physiology: Environmental Physiology*, M. J. Fregley and C. M. Blatteis (Eds.). Bethesda, MD: American Physiological Society, pp. 419–438, 1996.
194. YOUNG, A. J. et D. T. LEE. Aging and human cold tolerance. *Exp. Aging Res.* 23:45–67, 1997.
195. YOUNG, A. J., M. N. SAWKA, L. LEVINE, et al. Metabolic and thermal adaptations from endurance training in hot or cold water. *J. Appl. Physiol.* 78:793–801, 1995.
196. YOUNG, A. J., M. N. SAWKA, P. D. NEUFER, S. R. MUZA, E. W. ASKEW et K. B. PANDOLF. Thermoregulation during cold water immersion is unimpaired by low muscle glycogen levels. *J. Appl. Physiol.* 66:1809–1816, 1989.
197. ZEITOUN, M., B. WILK, A. MATSUZAKA, B. N. KNO<sup>W</sup> PFLI, B. A. WILSON et O. BAR-OR. Facial cooling enhances exercise-induced bronchoconstriction in asthmatic children. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:767–771, 2004.