



Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'IFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété Intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : secretariat@kine-nancy.eu

Liens utiles

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122. 4.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2- L 335.10.

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

MINISTERE DE LA SANTE
REGION GRAND EST
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

**ÉTUDE DES PARAMETRES INDIVIDUELS ET LIÉS AU PROTOCOLE QUI
MODULENT LE REFROIDISSEMENT CORPOREL DANS LA CRYOTHÉRAPIE
CORPS ENTIER. UNE REVUE SYSTÉMATIQUE**

Sous la direction de Mme JAMBEAU

Mémoire présenté par **Léa BASTEN**
étudiante en 4^{ème} année de Masso-kinésithérapie,
en vue de valider l'UE 28
dans le cadre de la formation initiale du
Diplôme d'Etat en Masseur-Kinésithérapeute

Promotion 2016-2020.



UE 28 - MÉMOIRE
DÉCLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné(e), ...Mme. BASTEN Léa.....

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant le conseil de discipline de l'ILFMK et les tribunaux de la République Française.

Fait à Nancy, le 28/04/2020..

Signature

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à la réalisation de ce mémoire, ainsi qu'à mon apprentissage durant ces quatre années passées à l'IFMK.

Je voudrai tout d'abord remercier Mme JAMBEAU Mélanie qui a accepté d'être ma directrice de mémoire. Merci pour le temps que vous m'avez accordé ainsi que les nombreux conseils que vous m'avez apportés durant toute la réalisation de ce travail.

Je remercie toute l'équipe de l'IFMK de Nancy, et plus particulièrement Mme. ROYER Anne pour son accompagnement et sa bienveillance durant ces quatre années à l'école.

Je remercie aussi M. COLIN Thierry de m'avoir ouvert les portes de son cabinet, de m'avoir permis de tester la cryothérapie corps entier et d'avoir pris le temps d'échanger avec moi.

Je tiens aussi à remercier ma famille et mes amis qui m'ont apporté leur soutien durant toute la réalisation de ce travail.

Paramètres individuels et liés au protocole qui modulent le refroidissement corporel dans la cryothérapie corps entier. Une revue systématique

Introduction : La cryothérapie du corps entier (CCE) est une modalité de cryothérapie qui est actuellement utilisée dans divers contextes thérapeutiques, médicaux et sportifs. La CCE implique une exposition à un air extrêmement froid, généralement entre - 100 à - 130 ° C dans une chambre ou cabine spécialement conçue pendant une courte durée (2 à 4 minutes). Les effets bénéfiques de la CCE sont cependant controversés. Il est accepté que la réponse normale au froid peut varier en fonction de certaines caractéristiques individuelles telles que le sexe, l'âge et la condition physique. L'objectif de cette revue est d'identifier et d'évaluer les paramètres individuels et ceux liés aux protocoles pouvant moduler le refroidissement corporel face à la cryothérapie corps entier.

Matériels et méthodes : Des articles étudiant le refroidissement dans le cadre de la cryothérapie corps entier ont été recherchés via Pubmed, PEDro, Cochrane Library, ScienceDirect, Kinédoc et RééDOC. Les articles devaient utiliser un des deux modes de cryothérapie corps entier (chambre ou cryo-cabine) et devaient mesurer la température corporelle (cutanée, centrale ou musculaire).

Résultats : Seize articles respectant les critères d'inclusion, ont été inclus dans l'étude. Des niveaux de refroidissement sensiblement similaires ont été observés entre l'utilisation d'une chambre ou d'une cabine de cryothérapie corps entier. La température centrale augmente (0,5° C à 1°C) juste après l'exposition à la CCE puis diminue pour retrouver sa valeur de base plusieurs heures après l'exposition à la CCE. La température cutanée diminue de façon importante. Les différences individuelles liées au sexe et à l'IMC ont une influence sur les réponses thermorégulatrices après CCE. La température cutanée des femmes diminue davantage que celles des hommes. Le refroidissement cutané est plus marqué chez les personnes ayant un IMC élevé. Des différences ont aussi été observées en fonction des zones corporelles.

Discussion : Les résultats de cette étude sont intéressants à prendre en compte en pratique clinique afin d'adapter les protocoles de CCE.

Mots clés: Cryothérapie corps entier ; Paramètres individuels ; Protocole ; Refroidissement

Individual and protocol-related parameters that modulate body cooling in whole-body cryotherapy. A systematic review

Introduction: Whole body cryotherapy (WBC) is a form of cryotherapy that is currently used in various therapeutic and sports settings. WBC involves exposure to extremely cold air, usually between - 100 to - 130 ° C in a specially designed room or cabin, for a short time (2 to 4 minutes). However, the beneficial effects of WBC are controversial. It is accepted that the normal response to cold may vary depending on certain individual characteristics such as gender, age and physical condition. The objective of this review is to identify and assess individual parameters and those related to protocols that could modulate body cooling in whole-body cryotherapy.

Materials and Methods: Articles studying cooling linked to whole body cryotherapy were searched via Pubmed, PEDro, Cochrane Library, ScienceDirect, Kinédoc and RééDOC. We selected articles that used one of two modes of whole-body cryotherapy (chamber or cryo-cabin) and had to measure body temperature (skin, central or muscle).

Results: Sixteen articles meeting the inclusion criteria were included in the study. Significantly similar levels of cooling have been observed between the use of a whole body cryotherapy chamber or cabin. Core temperature rises (0.5 ° C to 1 ° C) just after exposure of WBC and then decreases to return to its baseline several hours after exposure of WBC. Skin temperature decreases significantly. Individual differences related to gender and BMI influence thermoregulatory responses after WBC. The skin temperature of women decreases more than those of men. Skin cooling is more marked in people with a high BMI.

Discussion: Differences were also observed depending on the body areas. The results of this study are interesting to take into account in clinical practice in order to adapt the WBC protocols.

Key Words: Whole body cryotherapy; Individuals parameters; Protocol; Cooling

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1 Problématique	1
1.2 Cadre théorique.....	3
1.2.1 Historique de l'utilisation de la cryothérapie en médecine	3
1.2.2 Définition de la cryothérapie corps entier.....	4
1.2.3 Statut et rôle du masseur-kinésithérapeute	4
1.2.4 Domaines d'utilisation/ indications	5
1.2.5 Les réponses physiologiques face au froid.....	5
1.2.6 Adaptation du corps au froid	6
1.2.7 Adaptation du corps au froid extrême (CCE).....	8
1.2.8 Description d'une séance de cryothérapie corps entier	11
1.2.9 Evaluation de l'efficacité	13
1.2.10 Effets indésirables.....	14
1.2.11 Contre-indications	15
1.2.12 Sécurité.....	16
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES	17
2.1 Stratégie de recherche documentaire	17
2.2 Méthodologie d'analyse des données	18

3. RESULTATS	19
3.1 Présentation des articles	20
3.2 Evolution de la température corporelle.....	22
3.2.1 Moyens de mesure de la température.....	22
3.2.2 Évolution des différentes températures mesurées.....	24
3.3 Protocoles utilisés.....	26
3.3.1 Utilisation d'une chambre de cryothérapie corps entier	26
3.3.2 Utilisation d'une cryo-cabine	29
3.4 Paramètres individuels	31
3.4.1 Le sexe	31
3.4.2 L'indice de masse corporelle	32
3.4.3 Les sites anatomiques	34
3.4.4 Autres paramètres individuels.....	35
4. DISCUSSION	36
4.1 Analyse des résultats	36
4.2 Apports personnels.....	39
4.3 Intérêts dans la pratique professionnelle.....	40
4.4 Limites de l'étude.....	41
4.5 Perspectives de recherche	42
5. CONCLUSION.....	43

Bibliographie

Annexes

ABREVIATIONS

CCE : Cryothérapie Corps Entier

CCP : Cryothérapie Corps Partiel

IMC : Indice de Masse Corporelle

INSEP : Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance

INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique

Le traitement local par le froid ou « cryothérapie » est utilisé en médecine depuis l'Antiquité. Dans diverses cultures anciennes, c'était l'une des méthodes traditionnelles de soulagement de la souffrance physique. De nos jours, la natation pendant la saison hivernale est devenu une pratique courante dans les pays nordiques (1). En effet, il a été démontré que les personnes nageant de façon régulière dans une eau glacée développent un système immunitaire plus performant. Une adaptation au stress chaud/froid répété a déjà été postulé comme un mécanisme de renforcement du système immunitaire conférant une résistance accrue aux maladies et au stress (2,3).

La cryothérapie corps entier (CCE) consiste en une ou plusieurs expositions très brèves à des températures extrêmement basses. L'objectif est de stimuler les réflexes du corps humain au repos dans des conditions de froid extrême. Les protocoles d'expositions peuvent varier, sachant qu'une exposition de quelques minutes autour de -110°C est le protocole le plus fréquemment retrouvé dans la littérature. La CCE a émergé dans les années 1980 afin de traiter des pathologies variées. L'utilisation de la cryothérapie corps entier a suscité un vif intérêt, depuis ces vingt dernières années, notamment dans le domaine du sport en vue d'améliorer la récupération musculaire après un effort intense. Son utilisation s'est progressivement étendue à d'autres champs d'application comme par exemple le traitement des patients souffrant de maladies rhumatismales et de douleurs chroniques pour ses effets anti-inflammatoires et antalgiques (4).

Les effets bénéfiques de la CCE sont cependant controversés. L'INSERM, dans un rapport évaluant l'efficacité et la sécurité de la CCE, conclut à une faible fiabilité des résultats. Une des pistes avancées par l'INSERM afin d'expliquer les résultats contradictoires des études serait la variabilité inter-individuelle des réponses face à l'exposition au froid extrême (5).

En effet, il est accepté que la réponse normale au froid peut varier en fonction de certaines caractéristiques individuelles telles que le sexe, l'âge et la condition physique (6,7). Aux vues de ces températures, il apparaît primordial de caractériser la réponse au froid des sujets afin de prévenir des blessures. En effet, l'INSERM dans son rapport a mis en garde quant à la sécurité des individus lors de l'exposition à la CCE. À notre connaissance, aucune revue de la littérature ne s'intéresse aux variabilités qui pourraient exister entre les individus exposés à ces froids *extrêmes*.

L'objectif de cette étude est double. Le premier objectif est de comparer les effets de la cryothérapie corps entier en fonction des protocoles utilisés. Le second objectif est de mettre en évidence l'influence des paramètres individuels sur le refroidissement lors des séances de CCE. Ces résultats pourraient orienter les professionnels de santé utilisant la CCE et ainsi renforcer la sécurité de cette technique.

Ainsi, nous nous posons la question suivante : quels sont les paramètres individuels ainsi que ceux liés au protocole qui modulent le refroidissement corporel dans la cryothérapie corps entier ? Afin de répondre à cette question, nous introduirons le sujet en rappelant les points essentiels à connaître sur la cryothérapie corps entier puis nous présenterons les études sélectionnées en fonction des critères précédemment cités. Enfin nous discuterons sur les résultats apportés par ces différentes études.

1.2 Cadre théorique

1.2.1 Historique de l'utilisation de la cryothérapie en médecine

L'utilisation du froid à visée thérapeutique n'est pas une pratique inédite. En effet, son utilisation remonte à l'Antiquité où nous pouvons retrouver, dans les aphorismes d'Hippocrate (460-377 av JC), l'utilisation de la neige ou de la glace pour leurs vertus antalgiques et anti-inflammatoires (8).

La cryothérapie corps entier est une nouvelle forme de cryothérapie. Elle a été développée en 1978 au Japon suite aux travaux du professeur Yamauchi. Il voulait étendre les bénéfices du froid à l'ensemble du corps afin de traiter des pathologies rhumatismales telles que la spondylarthrite ankylosante ou la polyarthrite rhumatoïde. Le froid était créé dans les caissons via l'utilisation de l'azote liquide. Cette technique s'est diffusée par la suite en Union Soviétique. Au-delà des effets sur la douleur, les patients décrivaient un bien-être général c'est pourquoi elle a été proposée pour la préparation et la récupération des athlètes aux sportifs notamment pour les Jeux Olympiques de Moscou. C'est en Allemagne, que le professeur Fricke présenta pour la première fois une autre version : la chambre à air froid. Ce système est semblable à ceux utilisés de nos jours. Par la suite, un autre appareil n'utilisant pas l'azote liquide a vu le jour. Trois gazs frigorifiques subissent 3 cascades de compression afin d'obtenir un air sec et froid. Il comporte une chambre à -110°C par laquelle nous accédons via un ou deux sas. Ces sas permettent d'abaisser la température du corps par pallier.

La cryothérapie du corps entier va ensuite se développer en Europe. En 1985, la Pologne construit sa propre chambre cryogénique. Par la suite de nombreuses chambres cryogéniques ont été construites dans divers pays du monde notamment en Europe du Nord et de l'Est. En France, la première chambre de CCE a été installée au Centre Européen de Rééducation du Sportif (CERS) de Cap Breton en 2004 puis à l'Institut National du Sport de l'Expertise et de la Performance (INSEP) en début 2009 (5).

1.2.2 Définition de la cryothérapie corps entier

La cryothérapie se base sur l'utilisation du froid. Elle est définie par « l'application de tout moyen thérapeutique visant à réduire la température du corps et donc des tissus mais sans destruction des tissus », par Knight en 1985. La CCE est une « thérapie physique passive, de courte durée, à action systémique, avec des températures généralement efficaces au niveau thérapeutique de -100°C à -150°C . Les applications de la cryothérapie sur le corps entier sont utilisées aussi bien à des fins thérapeutiques que pour optimiser les performances. L'application a lieu en chambre cryogénique, sous surveillance médicale. » Cette définition a été proposée par la déclaration de consensus relative à la cryothérapie corps entier, rédigé à l'occasion du deuxième symposium autrichien en 2006 (5).

Ce type de cryothérapie se décline sous deux formes, parfois peu différenciées dans la littérature : cryothérapie corps entier et cryothérapie corps partiel. La cryothérapie du corps entier (CCE) est une technique de refroidissement corporel par exposition entière du sujet dans une chambre cryogénique pendant quelques minutes (2 à 3 minutes) à un froid sec (-100°C à -170°C) (*Annexe I*). Quant à elle, la cryothérapie corps partiel (CCP) consiste en une exposition au froid à l'intérieur d'une cryo-cabine ouverte au niveau de la partie supérieure afin que la tête ne soit pas exposée (*Annexe II*). La différence entre les deux techniques a été décrite dans la littérature scientifique en 2013 suite à un article de Hauswirth et collaborateurs. Cette différence n'est pas présentée dans toutes les études. C'est pourquoi nous utiliserons le terme de cryothérapie corps entier afin de désigner les deux modalités et nous préciserons le type de matériel utilisé (chambre ou cryo-cabine) (5).

1.2.3 Statut et rôle du masseur-kinésithérapeute

En France, il n'existe pas de décret réglementant la pratique de la cryothérapie du corps entier. Les séances de CCE ne sont pas conventionnées par l'Assurance Maladie. Le terme de « cryothérapie » est cité à deux reprises dans le code de la Santé Publique dans la quatrième partie consacrée aux professions de santé :

- À l'article 2 modifié par l'arrêté du 3 avril 2007 fixant la liste des actes médicaux pouvant être pratiqués par les médecins et des auxiliaires médicaux.
- À l'article Art. R.4321-7 et par le décret n°96-879 du 8 octobre 1996 relatif aux actes professionnels et à l'exercice de la profession de masseur-kinésithérapeute comme faisant partie de leur décret de compétence.

À ce titre le masseur-kinésithérapeute semble avoir sa place dans le dispositif de prise en charge en CCE. En fonction de l'indication de la cryothérapie, le statut du matériel (chambre et cabine) vient à changer. En effet, si la cryothérapie corps entier est utilisée à des fins médicales, le dispositif est soumis au marquage CE et répond à un dispositif médical. Dans le cas contraire, si le matériel utilisé est destiné à des fins non-médicales, il n'est pas soumis au marquage CE et ne constitue pas un dispositif médical (5).

1.2.4 Domaines d'utilisation/ indications

La conférence de consensus de 2006 en Autriche a permis d'émettre une liste d'indications validées pour les pathologies suivantes : rhumatismes inflammatoires, spondylarthrite ankylosante, spasticité musculaire, neurodermites, psoriasis et lichen plan, contusion musculaire, tendinomyopathie et amélioration de la rééducation du sportif blessé, en phase de renforcement (5). D'autres études ont montré des bénéfices dans d'autres pathologies notamment les troubles du sommeil, la fibromyalgie, la dépression, et d'autres pathologies du derme (9–12). Cependant, aucun consensus n'a vu le jour depuis 2006 afin de valider ces indications.

1.2.5 Les réponses physiologiques face au froid

L'Homme est un homéotherme c'est-à-dire que sa température reste constante, quelles que soient les variations de température du milieu extérieur. La constance de cette température ne s'étend pas à l'ensemble du corps mais seulement au niveau de la partie centrale, aussi appelée « noyau ». Ce noyau correspond aux viscères thoraciques et abdominaux, au système nerveux central et aux muscles squelettiques. La température du corps est maintenue à 37°C, température préférentielle pour les réactions enzymatiques et l'activation des principaux mécanismes intracellulaires (13).

Le noyau est entouré des parties extérieures, aussi appelées « écorce », qui peuvent avoir une température qui varie entre 10 et 40°C selon la température extérieure (14). Le maintien de la température constante du noyau n'est possible que lorsqu'il existe un équilibre entre les quantités de chaleur produites et perçues et la quantité de chaleur perdue : c'est la thermorégulation. La thermorégulation représente ainsi l'ensemble des processus permettant à l'Homme de maintenir sa température interne dans des limites normales quel que soit son niveau métabolique ou la température du milieu ambiant (13).

1.2.6 Adaptation du corps au froid

Lors d'une exposition au froid plusieurs mécanismes se mettent en place. Tout d'abord, il existe une augmentation de la thermogenèse correspondant à la production de chaleur physiologique. Cette augmentation va être provoquée par la mise en place du frisson musculaire, correspondant à une majoration excessive du tonus musculaire, mais aussi *via* une augmentation d'un phénomène chimique. En effet, cette augmentation se produit au niveau de certains types de cellules graisseuses. D'autre part, le corps va connaître une diminution de la thermolyse, correspondant au phénomène de déperdition de chaleur par l'organisme. Cette diminution va être causée par un phénomène de vasoconstriction cutanée et d'horripilation. L'horripilation se définit par une érection des poils à la surface de la peau (14).

Le centre de la thermorégulation se situe au niveau du système nerveux central, plus précisément dans l'hypothalamus. Il va recevoir des informations à la fois de thermorécepteurs centraux mais aussi des thermorécepteurs cutanés. Dans les centres thermorégulateurs de l'hypothalamus, la température effective du corps (température réelle) va être comparée à une température consigne. Cette valeur consigne de température est en moyenne de 37°C. S'il existe une différence entre ces deux valeurs, l'organisme va mettre en place des mécanismes d'adaptation afin de réguler cette température (Fig.1) (15).

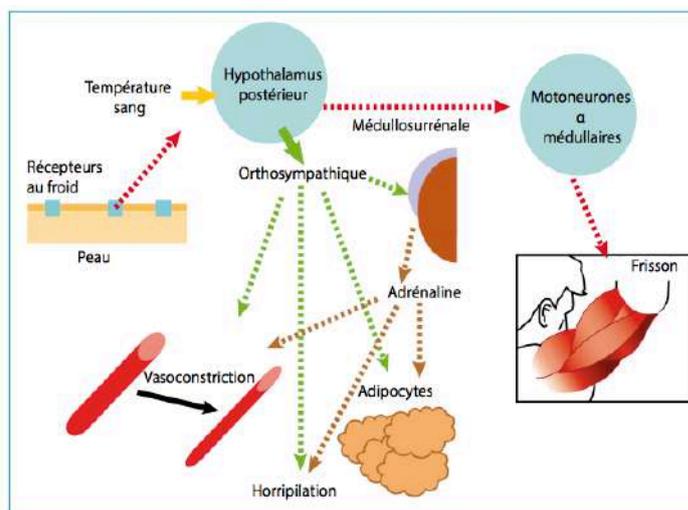


Fig.1 Mécanisme d'adaptation face à la réponse au froid

Des différences de refroidissement ont été observés entre les hommes et les femmes en fonction de certains de leurs caractéristiques (6). Dans son étude, Matsumoto et collaborateurs ont rapporté que les femmes obèses affichaient une réactivité sympathique significativement plus faible à l'air froid (10 ° C) que les femmes non obèses (16). La mesure du surpoids et de l'obésité la plus communément utilisée est l'indice de masse corporelle (IMC). Il correspond au poids en kilogrammes divisé par le carré de la taille exprimée en mètres (kg/m²). L'IMC s'applique aux deux sexes et à toutes les tranches d'âge adultes (17). Morphologiquement, les femmes ont en moyenne une masse corporelle d'environ 20% plus basse, 14% de graisse corporelle en plus, 33% de masse maigre en moins, mais seulement 18% de surface en moins que les hommes. La répartition de la masse grasseuse est différente entre les hommes et les femmes. Elle se localise plutôt en sous-cutané chez la femme. Or, le tissu grasseux sous-cutané intervient comme un isolant dans les échanges thermiques, à la fois au niveau du « noyau » mais aussi au niveau de la périphérie.

Lors d'une exposition au froid, la température cutanée est d'autant plus basse que l'épaisseur de la couche grasseuse sous cutanée est importante (6). De plus, les réactions vasomotrices sont davantage rapides et importantes pour les femmes. C'est pourquoi de part sa morphologie, mais aussi de part une vasoconstriction plus rapide, les femmes connaissent une déperdition de chaleur centrale moins importante (7). Néanmoins, nous pouvons observer une perte de chaleur plus importante chez les femmes au niveau des extrémités (mains et pieds) ce qui peut entraîner un risque relatif plus important de blessure par le froid (6).

1.2.7 Adaptation du corps au froid extrême (CCE)

Les effets de la CCE reposent sur la création d'un choc thermique. Le choc thermique consiste en un différentiel de température important dans un laps de temps réduit. (Annexe III). Ce phénomène de réaction en cascade expliquerait les différents bénéfices de la CCE (Fig. 2) (18).

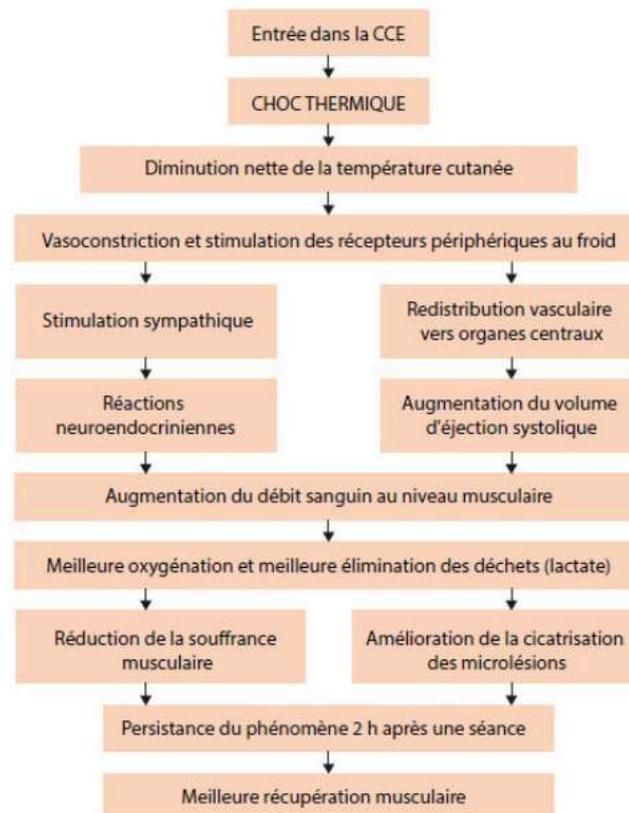


Fig.2 Enchaînement de réactions physiologiques à l'entrée dans la CCE

Effet antalgique

Le choc thermique créé par la CCE permettrait à l'individu de déclencher des réflexes de lutte contre le froid qui génèrent à leur tour des effets antalgiques sur le corps. Ce choc va provoquer un ralentissement de la conduction nerveuse des fibres C et A delta de la voie de la sensibilité thermo-algique périphérique. Dans le cadre de la CCE, l'ensemble du corps est exposé au froid, ainsi l'ensemble des récepteurs à la surface de la peau vont être stimulés. Lorsque le cerveau reçoit l'ensemble des messages, l'intégration de la douleur se

modifie ce qui provoque un effet antalgique. L'effet antalgique est aussi dû à une diminution des médiateurs de l'inflammation (14).

Effet anti-inflammatoire

Lors de la réaction inflammatoire, de nombreux phénomènes entrent en jeu (chaleur, rougeur, douleur). La vasodilatation des artéioles produit une hyperthermie. De plus, la perméabilité des capillaires est augmentée par les médiateurs chimiques et ainsi l'exsudat qui s'accumule dans l'espace interstitiel crée un œdème. Cet œdème entraîne à son tour une compression des terminaisons nerveuses à l'origine de la douleur. Lors de l'exposition au froid, une vasoconstriction se produit entraînant une diminution de la formation d'œdème. Il semblerait que le choc thermique entraîne aussi une diminution du métabolisme cellulaire ce qui inhiberait la sécrétion des médiateurs responsables de l'inflammation. Plusieurs études ont mesuré différents marqueurs de l'inflammation. Dans l'étude de Banfi et collaborateurs, ils ont pu mettre en évidence une diminution de la cytokine pro inflammatoire interleukine-1 (IL-1) ainsi qu'une augmentation d'une cytokine anti-inflammatoire, interleukine-2 (IL-2) après cinq séances hebdomadaires de 2 minutes à -110°C chez des rugbymen (19). Cette découverte a été confirmée par la suite par l'équipe de l'INSEP en 2011 (20).

Cependant d'autres études remettent en cause cette réponse. En effet, Leppaluoto et ses collaborateurs ne constatent pas de différences significatives dans la concentration plasmatiques des interleukines IL-1 β et IL-6 ou de la cytokine proinflammatoire TNF α (Tumor Necrosis factor alpha) suite à une exposition à -110°C de 2 minutes sur une population de femmes en bonne santé (21).

Effet sur le stress oxydatif

Le stress oxydatif est défini comme une oxydation intracellulaire excessive due à un déséquilibre entre la production d'espèces oxydantes ou formes réactives de l'oxygène (FRO) et celle des systèmes antioxydants. La répétition, de séances de CCE chez l'adulte induirait une adaptation de l'organisme avec diminution de la réaction oxydante (5). Selon l'étude de Miller et collaborateurs, la répétition de séances de CCE permettrait de majorer le

statut des défenses anti-oxydantes de l'organisme, une augmentation du statut anti-oxydatif total et de l'acide urique, témoin du stress oxydatif ainsi que de la capacité anti-oxydante totale de l'organisme (22). Cependant une étude plus récente datant de 2017 réalisée sur 60 patients atteints de polyarthrite rhumatoïde (PR) n'a pas montré d'adaptation du stress oxydatif (23).

Effets sur le système nerveux

L'exposition au froid est déclenchée par la diminution de la température cutanée, stimulant rapidement les récepteurs cutanés et leurs afférents sensoriels pour exciter les fibres adrénergiques sympathiques. Cette stimulation provoque à son tour la constriction des artérioles et des veinules locales. Il a été démontré que la cryothérapie réduit la nécrose cellulaire, le métabolisme cellulaire et la vitesse de conduction nerveuse, qui à leur tour réduit les lésions tissulaires secondaires et la sensation de douleur (24). Un refroidissement intense du corps entier pendant la cryostimulation du corps entier est une stimulation sympathique très forte qui conduit à une vasoconstriction pour empêcher la perte de chaleur et ainsi limiter la perfusion sanguine à travers la peau et augmenter le flux sanguin central à travers les gros vaisseaux (25).

Haushwirth et collaborateurs ont démontré qu'une seule séance de CCE induit une stimulation immédiate du système nerveux autonome avec une prédominance du tonus parasympathique. Ils ont comparé les effets entre une exposition en chambre cryogénique et en cryo-cabine (tête non exposée). Ils ont pu mettre en évidence que la stimulation du système parasympathique est plus marquée avec la chambre. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la cryo-cabine n'implique ni la tête ni le cou où siègent plusieurs récepteurs parasympathiques (26).

Effets sur la fonction cardio- respiratoire

Durant la CCE, la stimulation du système nerveux sympathique provoque une augmentation de la fréquence cardiaque (27). La différence de pression systolique est en moyenne 24 mmHg et la différence de pression diastolique de 10 mmHg. Cet effet sur la pression artérielle justifie la contre-indication pour des patients présentant une hypertension artérielle (HTA) non contrôlée.

Autres effets

La CCE semble montrer d'autres effets notamment sur le système immunitaire. Des travaux de Banfi et Lubkowska ont pu montrer, à travers leurs études, une élévation de IL-6 traduisant une amélioration du système immunitaire (28). Cependant des recherches doivent encore être effectuées afin de confirmer cette hypothèse. La CCE semble aussi avoir une action sur le système hormonal (29).

La CCE semble donc montrer des effets à différents niveaux mais certains résultats sont contradictoires. Peu d'études sont comparables, dû aux différents types de population présentes dans les études et aux différences de protocole mises en place.

1.2.8 Description d'une séance de cryothérapie corps entier

Pendant la séance, les patients sont vêtus de tenues de bain ou en short, de protections au niveau des extrémités (gants, bonnet et sabots) ainsi que d'un masque afin de protéger les voies respiratoires supérieures (Fig.4) (5). Dans le cadre thérapeutique, la séance de CCE est sous la surveillance d'une personne de l'équipe soignante qui est en général soit un médecin soit un masseur-kinésithérapeute.

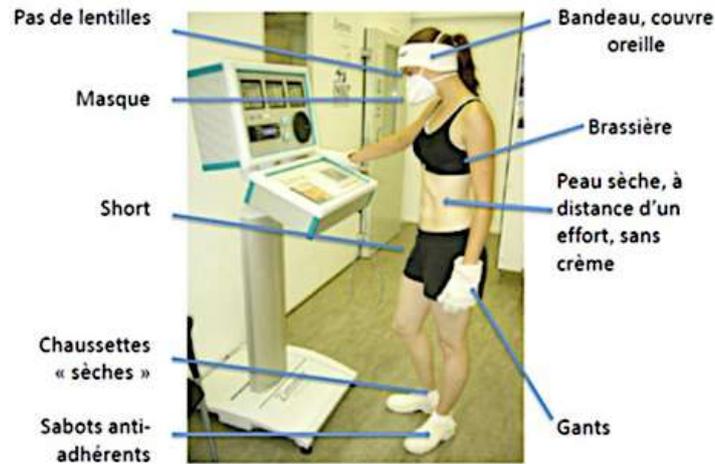


Fig. 4 Tenue et équipement pour une séance de CCE

Les valeurs de tension artérielle sont mesurées avant l'exposition au froid et celles-ci ne doivent pas dépasser 160/100 mm Hg. La CCE s'effectue généralement en petits groupes (de 2 à 3 individus). Tout d'abord, le patient entre dans 1 ou 2 salles entre -10°C et -60°C puis reste pendant 2 à 4 min en général dans une pièce à -110°C . Une fois rentré dans la pièce, le patient se déplace tranquillement et reste en contact (visuel et sonore) permanent avec un opérateur. Un système de communication audio et de vidéosurveillance permet un contact permanent entre les patients et le praticien à travers des fenêtres thermo régulées. Le patient peut décider de l'arrêt de la séance et ressortir de la chambre en faisant le chemin inverse. La durée d'exposition s'élève généralement à trois minutes (parfois quatre pour l'augmentation des performances sportives). Le nombre d'expositions pour un cycle de traitement si possible de façon ininterrompue est déterminé par le type de pathologie, sa gravité et son stade. À la fin de la séance, le patient reste dans une pièce calme afin de réaliser un temps de repos de 30 minutes (5).

Protocoles :

Il n'existe pas à notre connaissance de protocole standardisé. Cependant, une étude a effectué une synthèse des protocoles utilisés pour différentes pathologies modulant la température de la chambre de cryothérapie, la durée d'exposition, le nombre et la fréquence d'exposition (Tab. I) (8).

Tableau I. Proposition de protocoles en fonction des pathologies

Pathologies	Protocole		
	<i>Durée d'exposition (en min)</i>	<i>Température (en °C)</i>	<i>Fréquence</i>
<i>Polyarthrite rhumatoïde</i>	10 à 20	Entre - 60 et - 110	1x/jour
<i>Fibromyalgie</i>	3	- 140	1x/jour
<i>Spondylarthrite ankylosante</i>	0,5	- 60	1x/jour
	3	- 120	
<i>Sclérose en Plaque</i>	3	Entre - 120 et -130	1x/jour
<i>Douleurs lombaires</i>	3	Entre - 5 - 65	1x/jour
<i>Syndrome douloureux localisé au niveau de la colonne vertébrale</i>	3	-130	Non mentionné
<i>Syndrome dépressif ou anxieux</i>	2 à 3	Entre - 110 et - 160	4x/semaine

A l'INSEP, des protocoles ont été mis en place pour l'amélioration de la récupération et des performances des sportifs mais aussi pour traiter des pathologies musculaires et inflammatoires. Concernant, les indications dans le domaine sportif, les séances sont proposées en récupération, en fin de journée, avant des évènements (Coupe du monde, Coupe d'Europe, Jeux Olympiques) mais aussi après des charges de travail importantes. Pour les indications dans le domaine médical, l'INSEP propose des cures de 10 à 15 séances sur 1 à 2 semaines (5).

1.2.9 Evaluation de l'efficacité

Le rapport de l'INSERM sur l'efficacité de la CCE montre que les données disponibles sont très faibles en termes de quantité mais aussi de qualité. La revue s'est concentré sur l'efficacité du traitement via la CCE pour une indication sportive et les quatre pathologies suivantes : les douleurs lombaires, la fibromyalgie, la santé mentale, la polyarthrite rhumatoïde. Concernant l'indication sportive, une revue Cochrane s'intéressant à

la prévention et le traitement des douleurs musculaires après l'exercice conclut à une insuffisance de preuves pour appuyer l'utilisation de la CCE (30). Concernant l'ensemble des pathologies précédemment citées, les auteurs concluent à une faible fiabilité des résultats compte tenu du risque important de biais dans les études et la faiblesse méthodologique des études.

L'absence de protocole standard commun aux différentes études entrave l'extrapolation des résultats à l'ensemble des interventions en CCE pour une même pathologie. De plus, les biais liés à l'absence d'aveugle sont difficiles à éliminer. Dans le cadre de la CCE, les critères de jugement principaux sont souvent des critères subjectifs rapportés par le patient : évaluation de la douleur, évaluation de la qualité de vie, évaluation de l'anxiété etc... ils étaient aussi souvent couplés avec des critères objectifs comme la mesure de limitations fonctionnelles, le dosage de marqueurs biologiques mais ces critères objectifs ne sont pas forcément toujours les plus pertinents. Cela pose ensuite problème lorsqu'il s'agit de valider l'efficacité d'un traitement par CCE. Vaut-il mieux se tourner vers des critères objectifs ou alors plutôt choisir des critères plus subjectifs mais qui nous semble plus pertinents (5) ?

Dans ce rapport, selon l' IIF (Institut International du Froid) il paraît nécessaire « *d'établir des barèmes d'application temps-température adaptés au morphotype des personnes exposées et aux effets recherchés* ». De plus, les auteurs de ce rapport suggèrent que des modélisations mathématiques des expositions prenant en compte les caractéristiques individuelles dont l'âge, les données anthropométriques, la pathologie, devraient être proposées puis testées (5).

1.2.10 Effets indésirables

Le rapport de l'INSERM a recensé plusieurs études rapportant des effets indésirables. Des études de cas décrivant des cas isolés suite à des séances de CCE, de témoignages de professionnels de santé, et des affaires en justice. Les effets indésirables recensés sont : brûlures au 1^{er} et second degré, céphalées, accentuation des douleurs présentes, urticaire chronique au froid, panniculite à froid, intolérance digestive et plusieurs cas d'ictus amnésique (31,32). Aussi une dissection de l'aorte abdominale a été décrite pouvant s'agir

d'une complication cardiovasculaire déclenchée ou aggravé par la CCE mais il n'existe pas assez de données afin de démontrer ce lien de causalité (33).

1.2.11 Contre-indications

Les contre-indications ont fait l'objet d'un consensus en Autriche en 2006. Ces contre-indications concernent des pathologies cardio-vasculaires et des affections sensibles au froid (5).

Contre-indications absolues :

- Hypertension artérielle non traitée
- Infarctus du myocarde datant de moins de six mois
- Insuffisance respiratoire ou circulatoire décompensées
- Angor instable
- Stimulateur cardiaque
- Artériopathie périphérique (stade III et IV de Fontaine)
- Antécédents de thrombose veineuse
- Infection respiratoire aiguë fébrile
- Pathologie aiguë rénale ou urinaire
- Anémie importante
- Phénomène d'allergie au froid
- Cachexie
- Epilepsie
- Infection cutanée bactérienne ou virale étendue, troubles de la circulation
- Alcoolisme ou toxicomanie

1.2.12 Sécurité

Dans le rapport de l'INSERM, il est mentionné que des organismes internationaux comme la Commission Européenne et la Food and Drug Administration (FDA) mettent en garde sur des risques de brûlure et d'asphyxie potentielles relatifs à l'utilisation de dispositif à l'azote.

Concernant la sécurité de la pratique de la CCE, des mesures d'encadrement (juridique notamment) semblent indispensables face aux discours parfois trompeur de certains centres. Comme nous l'avons précédemment vu, le statut de la CCE reste encore flou. Même si la réglementation exige un marquage CE pour les appareils à visée thérapeutique, le statut des manipulateurs reste indéterminés. À ce jour, il n'existe aucune réglementation des autorités obligeant les manipulateurs à avoir été formé ou à détenir un diplôme médical ou paramédical laissant le champ libre à tout type de manipulateur n'ayant pas reçu les formations nécessaires face aux potentiels risques encourus (5).

Il est intéressant de prendre en compte la balance bénéfice/risque de cette méthode. En effet, la CCE repose sur la création d'un choc thermique d'où le fait qu'un refroidissement corporel est recherché. Mais si le refroidissement corporel est trop important, cela pourrait conduire à des effets indésirables potentiels et pourrait altérer la santé des patients. De plus, l'utilisation de la CCE n'est pas réellement protocolisée. Bien que dans la plupart des études les durées d'exposition ainsi que la température à l'intérieur de la cabine se rapproche souvent d'une valeur moyenne de -120°C , aucun protocole n'a été validé.

Face à ces potentiels dangers, nous nous sommes demandé si le refroidissement corporel était similaire pour tout le monde et quels devrait être les protocoles utilisés pour parvenir à ce choc thermique sans risque. Il nous a donc paru intéressant d'étudier ces différences afin de mettre en avant les modulations qui peuvent influencer le refroidissement corporel dans le cadre de la cryothérapie corps entier.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Stratégie de recherche documentaire

Pour réaliser cette revue de littérature, une recherche bibliographique a été réalisée à l'aide de différents moteurs de recherche afin de sélectionner plusieurs études. Nous avons interrogé les bases de données Pubmed, PEDro, Cochrane Library, Kinédoc, RééDOC, Google Scholar et ScienceDirect pour obtenir les articles dont la pertinence est la plus importante possible mais aussi la littérature grise. Nos recherches se sont étendues de 1970, date à partir de laquelle la cryothérapie corps entier a vu le jour avec le Pr. Yamauchi jusqu'au 15 avril 2020.

L'équation de recherche utilisée est la suivante : « whole body cryotherapy » OR « partial body cryotherapy » OR « whole body cryostimulation » OR « partial body cryostimulation » NOT « neonatal » NOT « infant » NOT « newborn ».

Nous nous sommes rendu compte que le terme de cryothérapie était associé à une pratique en néonatalogie ce qui ne rentre pas dans notre travail. C'est pour cette raison que nous avons exclu les termes se rapportant à ce type de population.

Critères d'inclusion :

Toute étude rédigée en français ou en anglais, portant sur des individus sains ou malades, âgé de plus de 18 ans, mesurant la température corporelle (musculaire, cutanée ou centrale) avant exposition à la CCE, pendant ou juste après l'utilisation de la cryothérapie corps entier (chambre ou cryo-cabine) a été incluse dans notre étude.

Critères d'exclusion :

Nous excluons de notre étude les études comportant sur des individus mineurs et les études qui ne mesurent pas la température corporelle. Nous avons exclu toute étude rédigée dans une autre langue que le français ou l'anglais.

Critère de jugement principal :

Notre critère de jugement principal est la température corporelle mesurée : musculaire, cutanée ou centrale.

2.2 Méthodologie d'analyse des données

Tout au long de notre travail, nous nous sommes reportés à la grille PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and meta-analyses). Cette grille regroupe un ensemble d'éléments à rapporter dans les revues systématiques et les méta-analyses (34). Nous nous sommes appuyés sur ce support pour la rédaction de nos différentes parties.

Au cours de la lecture des articles, nous avons recherché le risque de biais dans chacune de nos études. Les études sélectionnées étaient de différents types. Ainsi, il nous a paru judicieux de rechercher les biais de ces études en adaptant la méthode. Ces données sont rassemblées dans un tableau placé en annexe (Annexe IV-VI).

Durant la sélection de nos articles, nous avons été vigilants au fait que les auteurs n'aient pas de conflits d'intérêt avec un constructeur ou une marque particulière pouvant biaiser les résultats. En effet, les dispositifs de CCE sont relativement onéreux et les études peuvent être influencées afin de vanter les mérites de ces dispositifs.

3. RESULTATS

Nous avons entrepris une analyse de la littérature portant sur différents paramètres qui pouvaient avoir une influence sur le refroidissement face à la cryothérapie corps entier. A partir de nos résultats de recherche, un diagramme de flux a été établi (Fig.5). Selon nos critères d'inclusion et d'exclusion nous avons sélectionnés 16 articles.

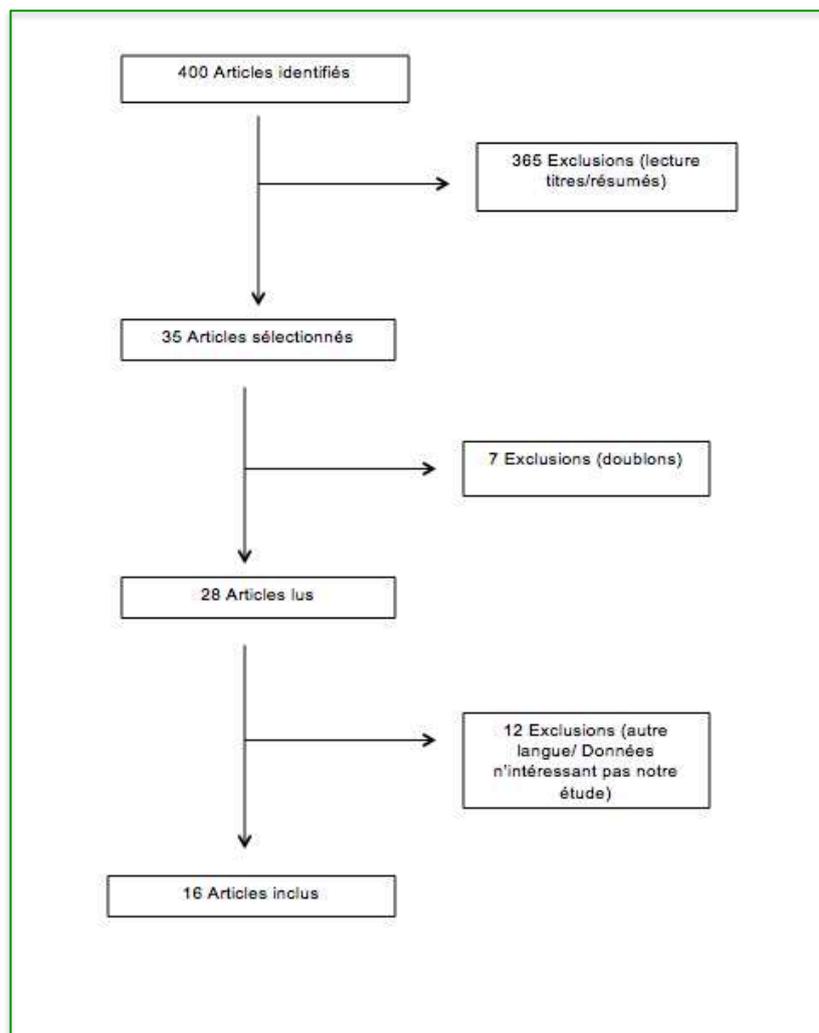


Fig. 5 Diagramme de flux représentant les résultats de notre recherche bibliographique

La recherche dans les bases de données a fourni 242 résultats après avoir exclu les doublons (Tab. 2). Après une sélection préliminaire basée sur le titre et le résumé, 35 articles ont été retenus. Après avoir exclu les doublons, la lecture des 28 articles a permis l'exclusion de 12 d'articles d'entre eux par non respect des critères d'éligibilité :

- un ne respectant pas le critère linguistique (allemand)
- un n'effectuait pas de mesure avant et après exposition à la CCE
- dix ne mesuraient pas la température corporelle

Tableau 2. Résultats de la recherche bibliographique

Base de données	<i>Nombres d'articles trouvés</i>	<i>Nombres d'articles sélectionnés (sur lecture du titre et du résumé)</i>	<i>Nombre d'articles sélectionnés après lecture des articles</i>
<i>Pubmed</i>	295	20	11
<i>Cochrane</i>	1	1	0
<i>Science Direct</i>	58	10	5
<i>PEдро</i>	14	0	0
<i>Kinédoc</i>	19	1	0
<i>Réédoc</i>	13	3	0
Total doublons exclus	242	35	16

Une synthèse des articles ainsi que des résultats principaux sont présentés dans un tableau (Annexe VII).

3.1 Présentation des articles

Afin de d'identifier chaque type d'étude, nous avons utilisé l'algorithme décisionnel d'identification d'un schéma d'étude (35). Nous avons pu repérer neuf séries de cas, une étude de cas, trois études contrôlées randomisées en cross over et trois études contrôlées randomisées. Le tableau ci-dessous répertorie la totalité des articles retenus (Tab.3).

Tableau.3 Présentation des articles retenus pour la revue

Auteurs/ Année de publication	Journal	Type de l'étude	Type de cryothérapie		Population
			Chambre	Cabine	
<i>M. Hoshikawa et al., 2019</i> (36)	Journal of Thermal Biology	Série de cas		x	N= 7 (H)
<i>G. Polidori et al., 2018</i> (37)	Medical Hypotheses	Série de cas	x		N= 18 (10 H et 5 F)
<i>G. Polidori, FC. Boyer et al., 2018</i> (38)	Infrared Physics and technology	Étude Contrôlée Randomisée en cross over	x	x	N= 10 (5 H et 5 F)
<i>A. Piras et al., 2018</i> (39)	Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism	Étude contrôlée randomisée		x	N=9 (H)
<i>S. Cuttell et al., 2017</i> (40)	Journal of Thermal Biology	Série de cas	x		N= 18 (10 H et 5 F)
<i>R. Bouzigon et al., 2017</i> (41)	Journal of Thermal Biology	Série de cas	x		N= 15 (10 H et 5 F)
<i>G. Polidori et al., 2016</i> (42)	Medical Hypotheses	Étude expérimentale en cas unique	x		N=1 (H)
<i>B. Fonda et al., 2014</i> (43)	Journal of Thermal Biology	Étude Contrôlée Randomisée en cross over		x	N= 12 (H)
<i>L.E Hammond et al., 2014</i> (44)	BioMed Research International	Série de cas	x		N=32 (18 H et 14 F)
<i>J. Selfe et al., 2014</i> (45)	Plos One	Étude contrôlée randomisée en cross over	x		N= 14 (H)
<i>J. Costello et al., 2014</i> (46)	Sports Med	Étude contrôlée randomisée	x		N= 10 (H)
<i>P. Zalewski et al., 2013</i> (25)	Cryobiology	Série de cas	x		N= 30 (H)

<i>J. Costello et al., 2012 (47)</i>	Plos One	Étude contrôlée randomisée	x		N= 20 (H)
<i>Cholewka et al., 2012 (48)</i>	Skin Research and Technology	Série de cas	x		N= 22 (17H et 5 F)
<i>A. Cholewka, et al., 2006 (49)</i>	Physica Medica	Série de cas	x		N=46 (33 H et 13 F)
<i>T. Westerlund et al., 2003 (50)</i>	Journal of Thermal Biology	Série de cas	x		N= 10 (9 F et 1 H)

H= Homme

F= Femme

3.2 Evolution de la température corporelle

Le principe même de la cryothérapie corps entier repose dans la création d'un choc thermique. Ainsi les différentes études ont chois de mesurer différentes températures musculaire, centrale (via les mesures tympanique et rectale) et cutanée. Pours ce faire, ils ont utilisés différents moyens de mesure avec des outils différents.

3.2.1 Moyens de mesure de la température

La totalité des études ont mesuré la température cutanée au sein de leurs protocoles. Pour la plupart d'entre elles, l'imagerie thermique infrarouge a été utilisée afin de recueillir cette température. Une revue systématique a prouvé que l'imagerie thermique est une méthode sûre et appropriée pour surveiller la température de la peau pendant et après un traitement de cryothérapie, tant au niveau clinique que sportif (51).

Concernant la température centrale, les mesures étaient recueillies par voie tympanique, par voie rectale ou par ingestion de capsule télémétrique (Tab. 4). Dans l'article de Polidori et de ses collaborateurs, des écarts-types importants dans les mesures des températures tympaniques ont été retrouvés. Les auteurs ont émis l'hypothèse que l'air ambiant refroidi entrant au niveau du conduit auditif externe pourrait affecter les mesures. C'est pour cette raison qu'ils ne recommandent pas les mesures tympaniques de la température centrale dans la CCE (37) (Tab. 4).

Une seule étude a mesuré la température musculaire chez leurs participants. Dans leur étude, la température du vaste latérale a été enregistrée à l'aide d'un thermomètre médical. Une sonde de température intramusculaire a été insérée à travers une canule flexible dans le muscle en direction des fibres musculaires. Les mesures étaient réalisées avant insertion puis la sonde a été insérée à 3 centimètres sous la couche de graisse sous-cutané (47).

Tableau.4 Présentation des températures mesurées et de leur outil de mesure

Auteurs, date de publication	Température mesurée				Moyens de mesure
	Musculaire	Tympanique	Rectale	Cutanée	
<i>M. Hoshikawa et al., 2019 (36)</i>			x		Capsule de température téléométrique ingérable
<i>G. Polidori et al., 2018 (37)</i>		x	x	x	Thermomètre, Appareil portatif thermoscan, Caméra d'imagerie thermique FLIR
<i>G.Polidori, FC Boyer et al., 2018 (38)</i>				x	Caméra d'imagerie thermique FLIR
<i>A. Piras et al., 2018 (39)</i>				x	Thermomètre infrarouge
<i>S. Cuttel et al., 2017 (40)</i>		x	x	x	Thermomètre, Appareil portatif thermoscan, Caméra d'imagerie thermique FLIR
<i>R. Bouzigon et al., 2017 (41)</i>		x		x	Caméra d'imagerie thermique, Thermomètre tympanique infrarouge
<i>G.Polidori et al., 2016 (42)</i>				x	Caméra d'imagerie thermique FLIR
<i>B. Fonda et al., 2014 (43)</i>				x	Thermomètre infrarouge numérique sans contact
<i>L.E Hammond et al., 2014 (44)</i>				x	Caméra d'imagerie thermique FLIR
<i>J. Selfe et al., 2014 (45)</i>				x x	Ingestion pilule température centrale Imagerie thermique infrarouge
<i>J. Costello et al., 2014 (46)</i>				x	Imagerie thermique infrarouge
<i>P. Zalewski et al., 2013 (25)</i>				x	Thermomètre infrarouge
<i>J. Costello et al., 2012 (47)</i>	x		x	x	Sonde rectale Caméra d'imagerie infrarouge FLIR Thermomètre médical relié à une sonde
<i>Cholewka et al., 2012 (48)</i>				x x	Imagerie thermique Thermométrie de contact
<i>A. Cholewka, et al., 2006 (49)</i>			x		Capsule de température téléométrique ingérable
<i>T. Westerlund et al., 2003 (50)</i>			x	x	Thermomètre Sonde reliée à un enregistreur de données

3.2.2 Évolution des différentes températures mesurées

L'amplitude de la différence de température entre les mesures pré et post CCE est un facteur clé car l'initiation de différentes réactions de l'organisme au froid peut dépendre de l'importance de ce différentiel de température.

Température centrale

Toutes les mesures de température centrale étaient réalisées dans des protocoles impliquant les chambres de CCE. Dans l'étude de Polidori et collaborateurs, qui mesurait la température centrale avant et après l'intervention de CCE, une augmentation de la température centrale a été observée juste après l'exposition à la CCE (37). Cette augmentation de la température centrale a aussi été retrouvée dans l'étude de Cuttell et collaborateurs. À la sortie de la chambre, les températures centrales avaient augmenté de 0,2 °C chez les hommes et les femmes (40). Cependant, dans l'étude de Cholewka et collaborateurs, les mesures de la température tympanique ont montré une légère diminution pendant l'exposition à la CCE (48). Cette baisse de la température centrale a aussi été retrouvée dans l'étude de Westerlund et collaborateurs, objectivée par une mesure rectale (50).

Quatre études se sont accordées sur le fait que la température centrale était encore diminuée à distance de l'exposition à la CCE. En effet, la température centrale était réduite par rapport à leur valeur de pré CCE de 1°C chez les femmes et de 0,5°C chez les hommes 35 minutes après l'exposition à la CCE (40). Dans l'étude de Hoshikawa et collaborateurs, la température n'avait pas encore retrouvé sa valeur de base six heures après l'exposition (36).

Température cutanée

La température de la peau reflète l'équilibre entre la perte de chaleur dans l'environnement et la chaleur amenée par les tissus métaboliquement actifs. Toutes les études ont mesuré au sein de leur protocole la température cutanée. Dans toutes les études,

la température cutanée avait diminué immédiatement après et restait basse jusqu'à 60 minutes après l'exposition à la CCE (46). En moyenne cette température avait chuté entre 10°C et 11°C. (44,48). Après l'exposition à la CCE, la peau se réchauffe rapidement pendant les quelques premières minutes puis le réchauffement est plus lent (50).

Le plus grand refroidissement cutané avant/après l'exposition à la CCE a été observé dans l'étude de Cuttell et de ses collaborateurs. La différence de température s'élevait à 13,5°C chez les femmes et 11,4°C chez les hommes après une exposition à -110°C pendant 2 minutes (40). Dans l'étude de Westerlund de ses collaborateurs, la différence de température cutanée moyenne pendant l'exposition était de 19,4°C (50).

Polidori et ses collaborateurs retrouvent une différence significative de la température cutanée du haut du corps entre les deux types de CCE (chambre et cabine). Cette différence a été observée chez tous les sujets de l'étude (38). Dans l'étude de Zaleswki et de ses collaborateurs, la température cutanée était plus élevée trois et six heures après l'exposition à la CCE par rapport aux mesures prises avant l'exposition (25).

Température musculaire

Une seule étude s'est intéressée à mesurer la température musculaire. Dans cette étude de Costello et collaborateurs de 2012, les auteurs ont mesuré la température à trois profondeurs différentes (1,2 et 3 cm). Que ce soit avant ou après l'exposition à la CCE, la température musculaire était plus élevée en profondeur (3 cm) qu'à la surface (1 cm). Aucune différence n'a été mise en évidence de manière significative avant et après l'exposition à la CCE (47).

3.3 Protocoles utilisés

3.3.1 Utilisation d'une chambre de cryothérapie corps entier

Neuf des études sélectionnées ont utilisé la cryothérapie corps entier à l'aide d'une chambre de cryothérapie (Tab.5).

Tableau.5 Présentation des protocoles utilisés pour une chambre de cryothérapie

Auteurs	Protocole utilisé			
	Température d'exposition	Durée d'exposition	Présence d'un palier	Consignes
<i>G. Polidori et al., 2018 (37)</i>	-110°C	120 sec	30 sec à -60°C	NR
<i>G.Polidori, FC. Boyer et al., 2018 (38)</i>	-140°C	180 sec	Non	NR
<i>S. Cuttel et al., 2017 (40)</i>	-110°C	120 sec	30 sec à -60°C	NR
<i>R. Bouzigon et al., 2017 (41)</i>	-40°C	180 sec	30 sec à -20°C	Rester immobile
<i>G. Polidori et al., 2016 (42)</i>	-60°C	180 sec	Non	NR
<i>L.E Hammond et al., 2014 (44)</i>	-110°C	120 sec	30 sec à -60°C	NR
<i>J. Selfe et al., 2014 (45)</i>	-135°C	60, 120,180 sec	30 sec à -60°C	NR
<i>J. Costello et al., 2014 (46)</i>	-120°C	220 sec	20 sec à -60°C	Marcher lentement et de fléchir et d'étendre le coude
<i>P .Zalewski et al., 2013 (25)</i>	-120°C	180 sec	2 paliers: -10°C et -60°C	NR
<i>J. Costello et al., 2012 (47)</i>	-110°C	220 sec	20 sec à -60°C	Marcher lentement et de fléchir et d'étendre le coude
<i>Cholewka et al., 2012 (48)</i>	-120°C	Non clairement défini	30 sec à -60°C	NR
<i>T. Westerlund et al., 2003 (50)</i>	-120°C	120 sec	2 paliers : -10°C et -60°C	Bouger légèrement les doigts et les jambes

NR = Non renseigné

Température d'exposition :

Parmi ces études, les températures d'exposition variaient de - 40°C à -135°C. Quatre des douze études se sont accordés sur la température d'exposition de -110°C. Dans l'étude de Bouzigon et collaborateurs, la chambre de cryothérapie était à - 60°C mais elle était équipée d'un refroidissement éolien. Cet équipement utilisant 3 ventilateurs au sein de la chambre principale n'était pas retrouvé dans les autres études. L'intégration de la convection forcée dans cette chambre permettait, selon les auteurs, d'obtenir les mêmes résultats qu'une exposition à des températures plus basses (42).

Durée d'exposition :

Les durées d'expositions s'étendaient de 120 secondes jusque 220 secondes. Dans l'étude de Selfe et de ses collaborateurs, les auteurs comparaient différentes durées d'exposition (60, 120 et 180 secondes). Leur étude a permis de conclure qu'une exposition à la CCE de 120 secondes à -135°C après un pré-refroidissement de 30 secondes à -60°C était l'exposition à la CCE optimale pour leur population (joueurs de ligue professionnelle de rugby à XVI). Cette durée d'exposition induisait des changements physiologiques et perceptuels potentiellement bénéfiques, supérieurs à ceux obtenus après une exposition WBC de 60 secondes mais sans aucun des effets négatifs démontrés par une exposition de 180 secondes (45).

Dans l'étude de Costello et collaborateurs (2014), les sujets restaient 220 secondes dans la chambre de cryothérapie, ce qui représente la plus longue durée d'exposition. Cette durée avait été déterminée afin de comparer au mieux les effets de la CCE par rapport à une immersion en eau froide. Dans cette étude, les températures cutanées étaient inférieures immédiatement après la CCE par rapport à l'immersion en eau froide. Cependant de 10 à 60 minutes après l'exposition à la CCE, les températures cutanées étaient plus basses pour les individus ayant été immergé en eau froide. (46) Les résultats en terme de refroidissement pour la CCE étaient similaires avec ceux présentés dans l'étude de Cholewka et collaborateurs, suite à une exposition similaire à la CCE (46).

Présence d'un pallier:

Neuf des douze études sélectionnées présentaient au sein de leur protocole une première chambre par laquelle rentraient les participants avant d'atteindre la chambre principale de CCE. Dans cinq de nos études, la température y était de -60°C et les participants y restaient 30 secondes. Dans deux de nos études il existait deux sas (-10°C et -60°C) avant d'accéder à la chambre principale (25,50).

Attitude adoptée par les participants dans la chambre cryogénique :

Seulement quatre des études sélectionnées, reportaient une consigne donnée par les expérimentateurs dans la chambre de cryothérapie. Dans les études de Costello et collaborateurs (2012 et 2014), il était demandé aux sujets de marcher lentement dans la chambre et de fléchir et tendre les coudes et les doigts pendant toute la durée de la séance de CCE (46,47).

Dans l'étude de Bouzigon et collaborateurs, la consigne donnée était de rester immobile. Dans cette étude, la chambre de cryothérapie était à -60°C et elle était équipée d'un refroidissement éolien. Les températures cutanées après l'exposition étaient semblables à celles retrouvées dans d'autres études utilisant une température plus basse mais où il n'était pas demandé de marcher dans la chambre aux participants (42). La convection serait donc un facteur à prendre en compte qui pourrait être modifié avec les mouvements des participants ou bien l'intégration de ventilateur. Dans huit des études sélectionnées, il n'est pas fait mention de consignes particulières données aux sujets.

3.3.2 Utilisation d'une cryo-cabine

Quatre de nos études se sont intéressées à étudier l'utilisation d'une cryo-cabine (Tab.6).

Tableau.6 Présentation des protocoles utilisés pour une cryo-cabine

Auteurs	Protocole utilisé			
	Température d'exposition (en °C)	Durée d'exposition (en sec)	Présence d'un pallier	Consignes
<i>M. Hoshikawa et al., 2019 (36)</i>	-180	180	Non	bouger ses extrémités et à se retourner lentement à l'intérieur de la cabine
<i>G. Polidori, FC. Boyer et al., 2018 (38)</i>	-140	180	Non	Non renseigné
<i>A. Piras et al., 2018 (39)</i>	-160	180	Non	Non renseigné
<i>B. Fonda et al., 2014 (43)</i>	Entre -130 et -170	60, 90, 150 et 180	Non	se retourner en permanence dans la cabine pendant la durée de la session

Température d'exposition :

Les températures d'exposition étaient plus froides que celles présentes dans la chambre cryogénique. De plus, dans l'étude de Fonda et collaborateurs, la température n'était pas exacte mais s'étend de -130°C à -170°C ce qui représente une plage très étendue. Cet intervalle de température était celui rapporté par le fabricant. Dans ce système de cabine, une dose d'azote liquide était injectée à chaque fois que la température repassait au-dessus de -140°C (43).

Durée d'exposition :

Trois études avaient les mêmes durées d'exposition qui était de 180 secondes. Dans l'étude de Pires et collaborateurs, cette durée d'exposition permettait d'améliorer la récupération après un entraînement en force unique, tandis qu'au cours d'un effort en intervalle à haute intensité, les résultats montraient une réduction des paramètres cardiorespiratoires et métaboliques (39).

Dans l'étude de Fonda et de , les résultats indiquaient que la température cutanée diminue considérablement avec l'augmentation de la durée jusqu'à 150 secondes. Au-delà de ce temps, la différence de température n'était plus significative. La durée optimale de l'exposition dans une cryo-cabine serait donc de 150 secondes, car cela représente la durée nécessaire permettant d'abaisser la température cutanée. Dans leur étude, les auteurs rapportent que des séances plus longues n'affecteraient pas substantiellement la réponse thermique et cardiovasculaire et n'apporteraient aucun effet supplémentaire. De plus, la sensation d'inconfort thermique augmente de manière linéaire tout au long d'une séance de 180 secondes (43).

Présence d'un pallier :

Aucune étude ne présentait un pallier au sein de leur protocole. En effet lors de l'utilisation d'une cabine, les participants sont invités à rentrer directement dans la cabine sans passer par une antichambre.

Attitude adoptée par les participants dans la chambre cryogénique :

Seulement deux études donnaient des consignes à leurs participants pendant l'exposition à la CCE dans la cryo-cabine. Dans les études de Fonda et de Hoshikawa et de leurs collaborateurs, les expérimentateurs demandaient aux participants de se retourner régulièrement dans la cabine (36,43).

3.4 Paramètres individuels

3.4.1 Le sexe

Quatre études ont comparé les réponses thermiques entre hommes et femmes. Toutes les études suggèrent qu'il existe des différences entre les sexes influençant les réponses thermorégulatrices face à la CCE. Dans l'étude de Cuttell et collaborateurs, les femmes ont connu une plus grande réduction de la température cutanée moyenne que les hommes (Fig.6). Cette température était plus basse immédiatement ($+2,8^{\circ}\text{C}$), à 5 minutes ($+1,5^{\circ}\text{C}$) et à 10 minutes ($+0,6^{\circ}\text{C}$) après l'exposition à la CCE. Par la suite, jusqu'à 35 minutes, il n'y avait aucune différence significative entre les hommes et les femmes. D'après les études de Cholewka et de Hammond ainsi que leurs collaborateurs respectifs, cette même différence significative a été observée entre les hommes et les femmes (44,48) (Fig.6). Dans l'étude de Polidori et de ses collaborateurs de 2018, les auteurs expliquaient cette différence par une différence de résistance thermique. En effet, au repos, les mesures de la résistance thermique étaient plus élevées dans la population féminine (en moyenne 37% de différence) (37). Ceci peut être dû à une part de tissu adipeux plus importante. La différence de refroidissement entre hommes et femmes la plus importante se trouvait au niveau de la cuisse (Cuisse Homme : $20,8^{\circ}\text{C}$; Cuisse Femme : $16,7^{\circ}\text{C}$) (40). Selon Hammond et collaborateurs, les femmes ont une surface de vasoconstriction plus étendue avec des pertes de chaleur plus importantes et montre une sensibilité au frisson moins importante (44).

Cependant, concernant la température centrale, aucune différence entre les hommes et les femmes n'a été mise en évidence au cours de la période de réchauffement. Ainsi aux vues des résultats, ces différences semblent se refléter au niveau de la température cutanée moyenne avec des zones plus ou moins affectées par ces différences mais n'a pas d'incidence sur la température centrale (37).

3.4.2 L'indice de masse corporelle

Les différences de refroidissement entre les sexes peuvent s'expliquer par une différence de composition corporelle. Cinq études ont comparé leurs mesures de température par rapport à des paramètres physiques tels que le pourcentage de graisse corporelle, l'Indice de Masse Corporelle (IMC) ou la masse grasse des patients présents dans leurs études. Dans l'étude de Cuttell et collaborateurs, des différences ont été observées au niveau des températures (centrale et cutanée) en fonction de la masse grasseuse. En effet, l'ensemble de données sur les femmes a indiqué une forte relation positive entre la température centrale et l'indice de masse corporelle, l'indice de masse grasse et le pourcentage de graisse corporelle. Plus ces paramètres étaient élevés, plus la température centrale était aussi élevée après l'exposition à la CCE (Fig. 6) (40). De plus, la température centrale à 35 minutes après l'exposition à la CCE et la somme des plis cutanés avaient une relation positive (40). L'épaisseur des plis cutanés reflète la masse grasseuse sous cutanée. Plus le pli cutané sera épais, plus la masse grasseuse y sera importante à cet endroit. Cette relation a aussi été retrouvée dans l'étude de Polidori et collaborateurs de 2018 (37). De plus dans cette même étude, la masse grasse s'est révélée être significativement et positivement corrélée avec la résistance thermique chez les hommes. Cependant, cette relation n'était pas significative chez les huit femmes de l'étude. Ces études s'accordent sur le fait que la température centrale d'une personne ayant un IMC élevé aura tendance à être plus élevée après une exposition à une séance de CCE qu'une personne ayant un IMC bas (Fig.7).

Dans l'étude de Hammond et collaborateurs, les résultats montrent que les femmes présentant des niveaux d'adiposité plus élevés semblent refroidir davantage au niveau cutané. En effet, une relation négative a été mise en évidence entre la température moyenne de la peau et le pourcentage de graisse corporelle chez les hommes et les femmes (37). Dans l'étude de Cholewka et collaborateurs, les résultats ont montré une réduction de la température au niveau de la poitrine de 8,1°C pour un individu mince et de 4,8°C pour un individu obèse (48).

Ainsi, plus la résistance thermique est élevée (IMC élevé), plus l'augmentation de la température centrale est élevée. Mais à nouveau, plus la résistance thermique est élevée, plus la température cutanée sera faible. La masse grasseuse offrirait une meilleure isolation et une meilleure protection contre l'exposition au froid (Fig.7). L'ampleur de la réponse de la température de la peau à une température extrêmement basse utilisée dans la cryothérapie du corps entier peut donc dépendre des caractéristiques individuelles du patient comme l'IMC (44).

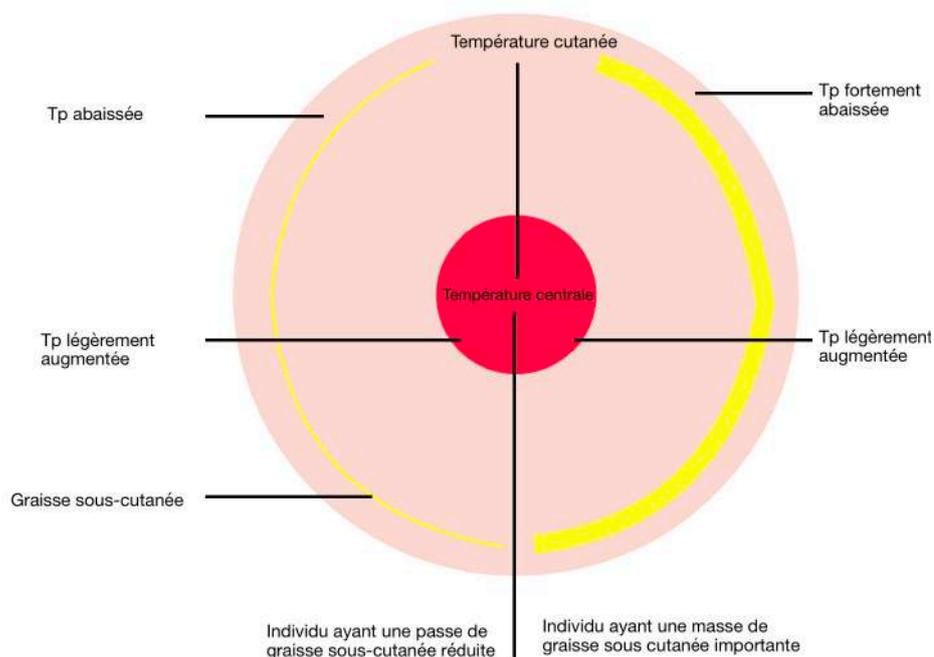


Fig.7 Schématisation des réponses thermiques immédiatement après l'exposition à la CCE.

Ces températures représentent la température centrale et la température cutanée chez un individu ayant une masse grasseuse sous-cutanée faible et un individu ayant une masse grasseuse sous-cutanée élevée

3.4.3 Les sites anatomiques

Huit études ont mis en évidence des différences de refroidissement en fonction du site anatomique. Dans les études de Cuttell et de Fonda utilisant une chambre et une cabine de cryothérapie respectivement, c'était au niveau des cuisses des participants que la température locale cutanée était la plus basse (40,43). Dans l'étude de Polidori et collaborateurs, cette observation est aussi retrouvée. Quel que soit le dispositif de cryothérapie utilisé (cabine ou chambre cryogénique), ce sont les cuisses les plus sensibles au froid extrême (38). Cela montre que les régions corporelles peuvent avoir une réponse différente au froid. Le phénomène de vasoconstriction apparaît lors d'une exposition à de telles températures afin de protéger le corps en limitant les pertes de chaleur. Dans leur étude, les auteurs émettent différentes hypothèses. La première hypothèse peut être que le phénomène de vasoconstriction est plus prononcé au niveau de la cuisse. La seconde hypothèse réside sur le fait que le pourcentage de tissu adipeux par rapport au volume de cette région est plus important. Dans l'étude de Selfe et collaborateurs, la température la plus basse enregistrée se situait au niveau du bas de l'abdomen et atteignait une température de 12,1°C pour une exposition de 3 minutes. Cependant, aucune mesure était effectuée au niveau des membres inférieurs pour cette étude (45).

Dans l'étude de Cholewka et collaborateurs, c'était au niveau de la tête que la température avait le moins chuté (48). Dans l'étude de Westerlund et collaborateurs, tous les sites de mesure de la température cutanée avaient chuté, avec des différences au niveau des zones anatomiques. Les températures les plus élevées se trouvaient au niveau des paumes et des pieds (parties protégées) et au niveau du front (50). Les valeurs principales des différentes températures cutanées locales ont été reportées sur les schémas ci-dessous (Fig.7).

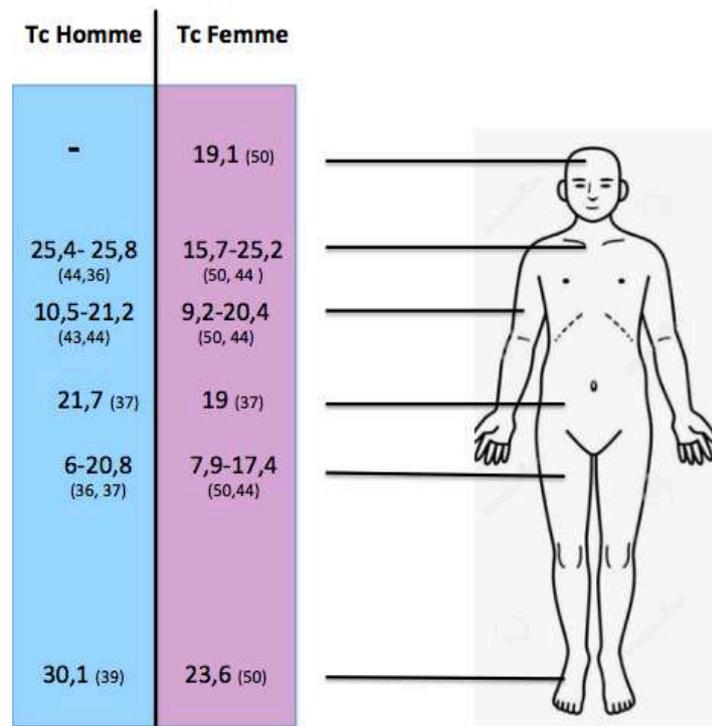


Figure .7 Température cutanée (Tc) en fonction des zones corporelles chez l'homme et la femme.

Les données représentent les maximales et minimales de température cutanée (Tc) à la sortie de la chambre ou cabine cryogénique mesurées chez les hommes et chez les femmes au niveau du front, de la poitrine, du bras, de l'abdomen, de la cuisse et du pied.

3.4.4 Autres paramètres individuels

Concernant la condition physique des sujets, la majorité des études incluaient des sujets en bonne condition physique. Compte tenu de son utilisation dans le domaine du sport notamment afin d'améliorer la récupération musculaire, beaucoup d'études se concentrent sur une population de sportifs de haut niveau. Cependant nous n'avons recensé aucune étude comparant la différence de refroidissement en fonction de la condition physique.

Concernant l'âge des sujets, une grande majorité des études incluaient des sujets jeunes. Une seule étude comprenait des personnes plus âgées mais celle-ci ne mesurait pas la température corporelle (52).

Concernant la présence de pathologie, une seule étude étudiant une population pathologique mesurait la température des sujets au cours de son protocole. Dans cette étude, les auteurs concluent que l'imagerie infrarouge réalisée après cryothérapie entière de patients souffrant de lombalgie révèle une légère diminution des états inflammatoires lors de 10 séances de cryothérapie corps entier. Cependant ces mesures ne sont pas comparées avec une population saine (49). Dans les autres études qui comportaient au sein de leur protocole une population pathologique, la mesure corporelle n'était pas mesurée (53,54).

4. DISCUSSION

4.1 Analyse des résultats

La mesure de la température occupe une place prépondérante dans la CCE afin de contrôler le refroidissement. Même si ces mesures ne sont pas toujours réalisables pendant l'exposition à la CCE permettant un suivi de l'évolution de la température, les mesures avant et après exposition donnent une indication sur le refroidissement provoqué par la CCE. D'une part, cela permet de s'assurer d'un refroidissement suffisant afin d'initier des réponses physiologiques suffisantes pour avoir un impact sur la clinique du patient. D'autre part, cela permet de contrôler le refroidissement et ainsi concourir à renforcer la sécurité de la technique. Le matériel nécessaire pour recueillir les différentes températures n'est pas toujours compatible avec des températures aussi extrêmes. En pratique courante, les mesures de la température centrale sont plus compliquées à mettre en place et n'apportent que peu d'indication pour le thérapeute. Quant à elles, les mesures de la température cutanée semblent davantage simples à réaliser et témoignent davantage du refroidissement établi. Cette température est aussi intéressante afin de comprendre et d'éviter par suite des brûlures par le froid extrême représentant la majorité des effets indésirables rencontrés.

Utilisation de la chambre de cryothérapie et la cryo-cabine :

Les études ont mis en évidence peu de différences en termes de refroidissement corporel entre les deux techniques de CCE. La différence entre ces deux méthodes reposait sur l'exposition de la tête dans la chambre qui n'est pas présente dans la cabine. Les résultats de LeBlanc et collaborateurs, ont montré qu'en présence de froid au niveau de la main, nous pouvons observer une augmentation de la pression artérielle et tachycardie. Mais une même exposition du froid au niveau du visage entraîne plutôt une augmentation de la pression artérielle et bradycardie (55). La tête et les mains ont une densité élevée de fibres adrénérgiques. Un plus petit nombre de fibres adrénérgiques est stimulé par le froid avec une cabine par rapport à une chambre. Cela apparaît comme une raison potentielle des légères différences de pression artérielle et de réponse de la fréquence cardiaque. Ainsi même si les deux techniques se valent sur le plan du refroidissement corporel, l'utilisation de la cryo-cabine semble préférable si l'opérateur ne souhaite pas modifier les paramètres de fréquence cardiaque. Au contraire, l'utilisation de la chambre de CCE semble préférable si

nous voulons concentrer notre action sur la stimulation du système nerveux parasympathique. Des expositions répétées au froid entraînerait désensibilisation du système nerveux sympathique à ce stimulus et que parallèlement le système nerveux parasympathique serait plus sensible au message transmis par les récepteurs thermiques périphériques.

Paramètres utilisés dans les protocoles :

Dans cette étude nous nous sommes concentrés principalement sur la durée et la température d'exposition. Dans son étude, Bouzigon et collaborateurs, ont mis en évidence un manque d'informations concernant la température réelle à l'intérieur de la chambre ou de la cabine (41). Lorsqu'un sujet se trouve à l'intérieur de la cabine, la température augmente en raison du transfert de chaleur du corps par les mécanismes de rayonnement, de conduction et de convection naturelle. La température d'une chambre principale de -110°C peut augmenter jusqu'à -25°C en présence d'un individu à l'intérieur (56). Dans certains protocoles, les participants rentraient dans la chambre de CCE par petits groupes (deux ou trois). Dans ces circonstances, une hausse de la température ambiante à l'intérieur de la chambre cryogénique peut alors être augmentée. Il n'existe pas de réel consensus pour le moment concernant les modalités d'administration (température et durée) de la CCE. Des études ont mis en évidence des paramètres qui semblent optimaux mais cela correspond à leur population et l'équipement utilisé dans leur étude.

Nous avons vu que l'attitude des participants à l'intérieur des dispositifs de CCE pourrait avoir une influence sur la convection de l'air et donc pourraient influencer le refroidissement corporel. Ces consignes seraient donc importantes à préciser aux participants lors des séances de CCE car l'attitude adoptée par les sujets pourrait vraisemblablement influencer le refroidissement corporel (42). Certaines données ne sont pas mentionnées dans les études telles que les consignes données en amont du protocole, les consignes données à l'intérieur de la chambre ou cabine de cryothérapie. Parmi les études sélectionnées certaines études demandaient aux sujets de s'abstenir de fumer et de consommer de l'alcool et de la caféine douze heures avant chaque session et ne pas pratiquer d'activité physique ni de prendre de douche au moins deux heures avant chaque session. La plupart des études le mentionnaient mais ce n'était pas renseigné pour toutes les études. De plus, dans leur étude, Hammond et collaborateurs mettent en avant que l'état

d'hydratation pourrait influencer la dissipation de la chaleur après la CCE, et incite les travaux futurs à aborder ce facteur supplémentaire (44). Ce sont d'autant de facteurs qui pourraient influencer le niveau de refroidissement des individus.

Différence de réponse par rapport aux caractéristiques individuelles (sexe/IMC) :

Les hommes et les femmes semblent réagir différemment à l'exposition à la CCE notamment à cause de différences anthropométriques et de thermorégulation. De plus, nous avons vu qu'en fonction des zones corporelles et de leur composition, les différentes parties anatomiques du corps n'atteignaient pas les mêmes niveaux de refroidissement. Ces différences devront être pris en compte lors de la conception et de l'interprétation des études de recherche et de la détermination des protocoles de traitement. Ainsi, pour obtenir les mêmes effets cutanés sur la température et par conséquent pour refroidir les tissus de la même manière, la durée des protocoles de cryothérapie devrait être réduit pour les femmes. Cependant si nous voulons plutôt concentrer l'action de la CCE sur la température centrale et ainsi déclencher des phénomènes neuronaux, la durée d'exposition ne devrait pas être modifiée dans une population féminine. En effet la température centrale suit le même schéma quelque soit le sexe. Mais dans ce cas, les opérateurs devront surveiller le refroidissement au niveau de la peau afin de ne pas créer de brûlures. Une protection supplémentaire au niveau des extrémités (pieds/mains/tibias) pourra être envisageable.

Cependant, les résultats que nous retrouvons dans ces études concernant le sexe et l'IMC sont à modérer. En effet, les hommes et les femmes ont des schémas préférentiels de répartition en masse grasseuse mais cela ne peut pas être appliqué à chaque individu étant donné que chaque personne a une morphologie différente. De la même manière l'IMC a été utilisé comme indicateur dans certaines des études. Cependant il doit être considéré comme une indication approximative car il ne correspond pas nécessairement au même pourcentage de masse grasseuse selon les individus (57).

4.2 Apports personnels

La réalisation de ce travail m'a apporté des connaissances autant du point de vue de la méthodologie que des connaissances sur le sujet. En effet, la rédaction de ce mémoire sous la forme d'une revue de littérature, m'a exercé à la recherche bibliographique, à la synthèse des informations. De plus ce travail m'a demandé un travail d'organisation, de synthèse des données et de rédaction. Cela s'inscrit dans le cursus de la réingénierie où le schéma des études nous emmène dans une dynamique de «kinésithérapeute chercheur». Ce travail est en lien avec la compétence 8 intitulée « Rechercher, traiter et analyser des données professionnelles et scientifiques » de notre décret de compétence professionnelle. Ce travail m'a permis de m'exercer sur la méthodologie de la recherche documentaire à adopter et l'utilisation de bases de données scientifiques. De plus, j'ai pu enrichir ma méthodologie de lecture et d'analyse critique d'articles scientifiques. Par ailleurs, la plupart des articles consultés et la totalité des articles sélectionnés étaient rédigés en anglais ce qui m'a permis de me perfectionner dans la compréhension écrite de l'anglais.

Par ailleurs, au cours de ce travail, j'ai été mise en relation avec un médecin qui utilise la CCE de manière hebdomadaire comme traitement avec les patients de son cabinet. Il m'a fait part de ses connaissances mais aussi de son expérience. De surcroit, j'ai eu la chance de pouvoir tester moi-même ce qu'était la cryothérapie corps entier. Cette expérience m'a permis de me faire ma propre opinion et m'a permis d'apprécier les sensations de ce froid extrême. Suite à cette séance réalisée sous la surveillance du médecin, j'ai ressenti une sensation de fatigue pendant plus de deux heures après l'exposition. Par la suite j'ai pu échanger avec différents patients et chacun avaient des sensations différentes après les séances. Certains ressentaient un regain d'énergie et d'autres ressentaient à l'inverse une profonde fatigue. Il est intéressant de noter qu'à aucun moment dans mes lectures je n'ai retrouvé de mention concernant ces effets.

4.3 Intérêts dans la pratique professionnelle

Connaître les paramètres pouvant modifier la réponse corporelle face à la cryothérapie amènent des éléments en terme d'efficacité mais aussi en terme de sécurité. Ces résultats pourraient avoir des implications pour l'individualisation de la posologie de la CCE. Tout d'abord, concernant l'efficacité de la réponse face à la CCE, plusieurs études notamment le rapport de l'INSERM, concluent à une faible efficacité de la CCE (5). Cependant les paramètres individuels n'étaient pas pris en compte pour la plupart. Des optimisations des protocoles pourraient avoir un effet sur la réponse thérapeutique. En plus de l'application à des fins médicales, cela peut avoir des implications importantes dans la détermination de la dose de CCE dans les populations sportives d'élite, pour celles qui ont accès aux chambres de cryothérapie. Dans le domaine sportif, là où les performances sont recherchées, cette adaptation des protocoles prend tout son sens. Les marges de performance sont très faibles dans le sport d'élite, donc l'individualisation d'une dose de CCE peut aider à créer des effets optimaux chez les athlètes d'élite.

De plus, cette étude apporte des informations qui peuvent amener à renforcer la sécurité. L'adaptation des protocoles en fonction de l'objectif prédéfini ainsi que les paramètres physiques liés à la personne permettent de mieux contrôler la réponse corporelle. En effet même si la prédiction de la réponse n'est pas encore totalement possible, ces adaptations peuvent notamment éviter la survenue de certains effets indésirables notamment les réactions face au froid extrême de type brûlures et engelures. Ces résultats peuvent être utiles aux cliniciens, physiothérapeutes, entraîneurs sportifs et autres chercheurs qui ont l'intention d'utiliser la cryothérapie pour réduire la température de la peau à un degré sûr. Dans l'étude de Bouzigon de 2017, l'utilisation d'une chambre à -40°C avec une convection forcée pendant 3 min pourrait être aussi efficace qu'une exposition de 3 min à -110°C ou à -195°C dans les appareils de CCE et CCP traditionnels. Cette technologie est intéressante car l'azote n'est pas utilisé, ce qui la rend plus sûre et moins coûteuse à mettre en œuvre (41). Cependant d'autres études sur les températures d'exposition plus froides (par exemple, 80 ° C, -110 ° C) utilisant cette nouvelle technologie sont souhaitées.

Enfin, la médecine personnalisée est en train de devenir un modèle de soins de santé de plus en plus populaire et ces résultats soutiennent l'idée d'individualiser la posologie. En effet dans toutes les thérapies, la prise en charge est toujours adaptée en fonction des objectifs et des individus. Il paraît donc légitime d'en faire de même pour la cryothérapie corps entier.

4.4 Limites de l'étude

Les auteurs ayant travaillé dans le domaine de la CCE ne sont pas nombreux. En effet, les mêmes noms d'auteurs reviennent dans plusieurs des études sélectionnées comme auteur principal ou secondaire. Cela peut s'expliquer par le fait que de telles études demandent des installations coûteuses et tout le monde n'y a pas accès aisément.

Les études sélectionnées mesuraient le différentiel de température avant et après exposition à la CCE mais ne s'intéressaient pas à la répercussion clinique (diminution de la douleur, amélioration de la récupération musculaire) de ce refroidissement. En effet, nous pouvons imaginer, dans une certaine mesure, que plus le refroidissement est important, plus l'effet recherché est élevé. Cependant cela reste une hypothèse de travail et aucun article à notre connaissance n'a pu démontrer cette relation.

Nous n'avons pas tenu compte dans notre étude des fréquences d'exposition. Cependant des différences dans la fréquence d'exposition pourraient avoir un impact sur les changements physiologiques. C'est pourquoi, Selfe et ses collaborateurs encouragent les cliniciens dans leur étude, à utiliser le protocole de cette étude pour le comparer avec des recherches futures qui aideront à déterminer le nombre de séances d'exposition à la CCE nécessaires pour initier des réponses physiologiques plus importantes (45).

Nous avons concentré nos recherches sur les documents disponibles en langue française et anglaise. Cependant d'autres études ont été menées mais celles-ci étaient rédigées dans une autre langue et n'ont pas été traduites (polonais, allemand). Cela constitue une limite à notre étude car les résultats provenant de ces études auraient pu être intéressants à confronter avec nos résultats.

Les dispositifs de CCE sont relativement onéreux et représentent un objet commercial. Dans nos recherches nous avons été attentifs aux auteurs des études ainsi qu'à la section « conflits d'intérêt » de chaque publication. Parmi nos articles sélectionnés, six ne déclaraient n'avoir aucun conflit d'intérêt. Dans l'étude de Hammond, l'étude se déroulait dans un centre de réhabilitation qui est une branche commerciale d'un établissement d'enseignement. Dans la rubrique « conflit d'intérêt », les auteurs de l'étude mentionnent qu'ils sont employés par des contrats académiques mais qu'ils ne sont pas impliqués dans des activités commerciales. Bouzigon est employé par une entreprise dans le cadre d'une collaboration avec l'université. Les auteurs mentionnent dans leur section conflit d'intérêt, qu'un financement par le gouvernement a été attribué pour leur étude. Aucune information à ce sujet n'était présentée dans les autres articles.

4.5 Perspectives de recherche

Une des limites de cette étude réside dans le fait que les études s'intéressaient au refroidissement après une séance de CCE mais non à leur incidence sur la clinique. En effet les effets en terme de diminution de douleur, amélioration de la récupération musculaire, diminution de l'inflammation n'étaient pas recherchés. Il serait intéressant en ce sens d'objectiver le lien entre le niveau de refroidissement et la puissance de l'effet recherché.

Par ailleurs, Smolander et ses collaborateurs (2004) ont mis en évidence que l'inconfort après une séance de CCE diminue après plusieurs expositions en raison d'une adaptation à long terme. Les sujets semblent ainsi mieux s'adapter au fur et à mesure des expositions (58). Nous pouvons nous demander si cette adaptation se retrouve aussi dans la clinique et si la répétition d'expositions à la CCE influencerait-t-elle la réponse individuelle face à l'exposition à de telles températures. Dans l'étude de Costello et collaborateurs de 2012, les températures musculaire, cutanée et centrale n'avaient été évaluées qu'après une seule séance de CCE (47). Mais ils soulignent le fait que ce traitement est souvent répété plusieurs fois le même jour, des recherches futures sont nécessaires, pour évaluer la dose-réponse de cette pratique. Il serait intéressant d'étudier ce phénomène dans une étude future.

De la même manière, en étudiant ce phénomène d'habituation nous pouvons nous demander si la réponse serait différente en fonction des habitudes de vie des sujets. Une baisse significative de la réponse au froid ainsi qu'une bradycardie renforcée avaient été observées chez des facteurs exposés au froid 30h/semaine au Québec (55). Nous pourrions envisager une étude qui permettrait de comparer les réponses entre des populations de pays ayant des climats différents.

5. CONCLUSION

Cette revue de la littérature a permis de mettre en évidence que les paramètres individuels et ceux liés au protocole influencent le refroidissement corporel dans le cadre de la CCE. La température centrale connaît une légère augmentation ($0,5^{\circ}\text{C}$ à 1°C) juste après l'exposition à la CCE puis diminue légèrement pour retrouver sa valeur de base plusieurs heures après l'exposition à la CCE. La température cutanée moyenne chute en moyenne de 11°C . Les résultats montrent qu'il existe des différences entre les hommes et les femmes en terme de refroidissement au niveau de la peau. Ceci s'expliquerait par des différences anthropométriques mais aussi de thermorégulation. Une des raisons principales étant le pourcentage de graisse sous cutanée plus important chez les femmes. Plus la masse graisseuse sous cutanée est importante, plus cela offre une isolation à la personne. C'est pourquoi en présence d'un froid extrême (CCE), la température centrale aura tendance à rester constante à la différence de la température cutanée qui chutera significativement. Ainsi en fonction de la répartition de la masse graisseuse des différences entre sites anatomiques sont observées chez une même personne.

L'utilisation de la chambre ou de la cabine montrait des résultats similaires en termes de refroidissement. Cependant la répartition y était différente. Les températures dans la cabine évoluaient selon un gradient vertical : les températures cutanées étaient davantage abaissées au niveau de la partie basse de la cabine et plus élevées au niveau de la partie haute où se trouvait son ouverture. L'ajout d'un système de convection forcée au sein des dispositifs permettrait d'obtenir le même refroidissement mais nécessitant des températures d'exposition moins basses. En ce qui concerne la durée d'exposition, une durée dans la chambre principale ou la cabine comprise entre 120 et 180 secondes permettrait d'obtenir

des refroidissements optimaux. De plus, la réponse du système nerveux est différente en fonction du dispositif employé.

L'utilisation de ces dispositifs de cryothérapie corps entier n'est pas sans danger et représente un risque. Cette utilisation doit être encadrée par des professionnels compétents car un non-respect des règles de sécurité ou une mauvaise connaissance des procédés peut amener à des effets secondaires graves. Les différences de refroidissement entre ces paramètres apparaissent fondamentales à prendre en compte en pratique clinique afin d'adapter les protocoles de CCE permettant de délivrer un refroidissement optimal en toute sécurité.

Bibliographie

1. Hohenauer E, Costello JT, Stoop R, Küng UM, Clarys P, Deliens T, et al. Cold-water or partial-body cryotherapy? Comparison of physiological responses and recovery following muscle damage. *Scand J Med Sci Sports*. mars 2018;28(3):1252–1262.
2. Huttunen P, Kokko L, Ylijukuri V. Winter swimming improves general well-being. *Int J Circumpolar Health*. mai 2004;63(2):140–144.
3. Lubkowska A, Dołęgowska B, Szyguła Z, Bryczkowska I, Stańczyk-Dunaj M, Sałata D, et al. Winter-swimming as a building-up body resistance factor inducing adaptive changes in the oxidant/antioxidant status. *Scand J Clin Lab Invest*. 2013;73(4):315–325.
4. Bertrand D, Mesure S. La cryothérapie corps entier : une nouvelle approche thérapeutique. *Kinésithérapie, la Revue*. août 2014;14(152–153):45–55.
5. Balbolia SBK, Barry C, Hassler C, Falissard B. Evaluation de l'efficacité et de la sécurité de la cryothérapie du corps entier à visée thérapeutique. 2019;177.
6. Burse RL. Sex differences in human thermoregulatory response to heat and cold stress. *Hum Factors*. déc 1979;21(6):687–99.
7. Thiebault CM, Sprumont P, Astrand PO. L'enfant et le sport: introduction à un traité de médecine du sport chez l'enfant. Paris: De Boeck université; 1998. 464 p.
8. Bouzigon R, Grappe F, Ravier G, Dugue B. Whole- and partial-body cryostimulation/cryotherapy: Current technologies and practical applications. *J Therm Biol*. oct 2016;61:67–81.
9. Douzi W, Dupuy O, Tanneau M, Boucard G, Bouzigon R, Dugué B. 3-min whole body cryotherapy/cryostimulation after training in the evening improves sleep quality in physically active men. *Eur J Sport Sci*. juill 2019;19(6):860–867.
10. Rivera J, Tercero MJ, Salas JS, Gimeno JH, Alejo JS. The effect of cryotherapy on fibromyalgia: a randomised clinical trial carried out in a cryosauna cabin. *Rheumatol Int*. 2018;38(12):2243–2250.
11. Bettoni L, Bonomi FG, Zani V, Manisco L, Indelicato A, Lanteri P, et al. Effects of 15 consecutive cryotherapy sessions on the clinical output of fibromyalgic patients. *Clin Rheumatol*. sept 2013;32(9):1337–1345.

12. Miller E, Kostka J, Włodarczyk T, Dugué B. Whole-body cryostimulation (cryotherapy) provides benefits for fatigue and functional status in multiple sclerosis patients. A case-control study. *Acta Neurol Scand.* déc 2016;134(6):420–426.
13. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. La chaleur et le froid [Internet]. [cité 1 avr 2020]. Disponible sur: <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo042.htm>
14. Gérard G. La cryothérapie corps entier : expérience d'une équipe cycliste professionnelle. *Médecine du Sport.* 2014;(114):13–25.
15. Schepers RJ, Ringkamp M. Thermoreceptors and thermosensitive afferents. *Neurosci Biobehav Rev.* mars 2009;33(3):205–212.
16. Matsumoto T, Miyawaki T, Ue H, Kanda T, Zenji C, Moritani T. Autonomic responsiveness to acute cold exposure in obese and non-obese young women. *Int J Obes Relat Metab Disord.* août 1999;23(8):793–800.
17. Organisation Mondiale de la Santé. Obésité et surpoids [Internet]. [cité 1 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
18. Barbiche E. Intérêt de la cryothérapie du corps entier en terme de récupération musculaire et fonctionnelle chez le sportif en phase de renforcement d'une ligamentoplastie du genou. (Thèse d'exercice): Rouen
19. Banfi G, Melegati G, Barassi A, Dogliotti G, Melzi d'Eril G, Dugué B, et al. Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *Journal of Thermal Biology.* févr 2009;34(2):55–59.
20. Pournot H, Bieuzen F, Louis J, Mounier R, Fillard J-R, Barbiche E, et al. Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PLoS ONE.* 2011;6(7).
21. Leppäluoto J, Westerlund T, Huttunen P, Oksa J, Smolander J, Dugué B, et al. Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females. *Scand J Clin Lab Invest.* 2008;68(2):145–153.
22. Miller E, Markiewicz Ł, Saluk J, Majsterek I. Effect of short-term cryostimulation on antioxidative status and its clinical applications in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(5):1645–1652.

23. Hirvonen H, Kautiainen H, Moilanen E, Mikkelsen M, Leirisalo-Repo M. The effect of cryotherapy on total antioxidative capacity in patients with active seropositive rheumatoid arthritis. *Rheumatol Int.* sept 2017;37(9):1481-1487.
24. Wilcock IM, Cronin JB, Hing WA. Water immersion: does it enhance recovery from exercise? *Int J Sports Physiol Perform.* sept 2006;1(3):195-206.
25. Zalewski P, Klawe JJ, Pawlak J, Tafil-Klawe M, Newton J. Thermal and hemodynamic response to whole-body cryostimulation in healthy subjects. *Cryobiology.* juin 2013;66(3):295-302.
26. Hauswirth C, Schaal K, Le Meur Y, Bieuzen F, Filliard J-R, Volondat M, et al. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation. *PLoS ONE.* 2013;8.
27. Westerlund T. Thermal, circulatory, and neuromuscular responses to whole-body cryotherapy. :76.
28. Lubkowska A, Szygula Z, Klimek AJ, Torii M. Do sessions of cryostimulation have influence on white blood cell count, level of IL6 and total oxidative and antioxidative status in healthy men? *Eur J Appl Physiol.* mai 2010;109(1):67-72.
29. Zagrobelny Z, Halawa B, Negrusz-Kawecka M, Spring A, Gregorowicz H, Wawrowska A, et al. [Hormonal and hemodynamic changes caused by whole body cooling in patients with rheumatoid arthritis]. *Pol Arch Med Wewn.* janv 1992;87(1):34-40.
30. Costello JT, Baker PRA, Minett GM, Bieuzen F, Stewart IB, Bleakley C. Cryothérapie du corps entier pour la prévention et le traitement des douleurs musculaires après l'exercice. 2015.
31. Bourrain JL, Raison-Peyron N, Du Thanh A, Dereure O. Urticaire chronique au froid survenue au décours d'une cryothérapie corps entier. *Annales de Dermatologie et de Vénérologie.* déc 2014;141(12):S425.
32. Viader F, Quinette P, Cogez J. Ictus amnésique. *Pratique Neurologique - FMC.* févr 2018;9(1):13-20.
33. Cámara-Lemarroy CR, Azpiri-López JR, Vázquez-Díaz LA, Galarza-Delgado DA. Abdominal Aortic Dissection and Cold-Intolerance After Whole-Body Cryotherapy: A Case Report. *Clin J Sport Med.* sept 2017;27(5):67-68.

34. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie, la Revue*. 1 janv 2015;15(157):39-44.
35. Elsevier. Evidence-based practice en rééducation [Internet]. Elsevier Connect. [cité 3 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/kine-osteo/evidence-based-practice-en-reeducation>
36. Hoshikawa M, Dohi M, Nakamura M. Effects of evening partial body cryostimulation on the skin and core temperatures. *J Therm Biol*. janv 2019;79:144-8.
37. Polidori G, Cuttell S, Hammond L, Langdon D, Legrand F, Taiar R, et al. Should whole body cryotherapy sessions be differentiated between women and men? A preliminary study on the role of the body thermal resistance. *Med Hypotheses*. nov 2018;120:60-4.
38. Polidori G, Taiar R, Legrand F, Beaumont F, Murer S, Bogard F, et al. Infrared thermography for assessing skin temperature differences between Partial Body Cryotherapy and Whole Body Cryotherapy devices at -140 °C. *Infrared Physics and Technology*. 1 sept 2018;93:158-161.
39. Piras A, Campa F, Toselli S, Di Michele R, Raffi M. Physiological responses to partial-body cryotherapy performed during a concurrent strength and endurance session. *Appl Physiol Nutr Metab*. janv 2019;44(1):59-65.
40. Cuttell S, Hammond L, Langdon D, Costello J. Individualising the exposure of -110°C whole body cryotherapy: The effects of sex and body composition. *J Therm Biol*. avr 2017;65:41-47.
41. Bouzigon R, Arfaoui A, Grappe F, Ravier G, Jarlot B, Dugue B. Validation of a new whole-body cryotherapy chamber based on forced convection. *J Therm Biol*. avr 2017;65:138-144.
42. Polidori G, Marreiro A, Pron H, Lestriez P, Boyer FC, Quinart H, et al. Theoretical modeling of time-dependent skin temperature and heat losses during whole-body cryotherapy: A pilot study. *Med Hypotheses*. nov 2016;96:11-5.
43. Fonda B, De Nardi M, Sarabon N. Effects of whole-body cryotherapy duration on thermal and cardio-vascular response. *J Therm Biol*. mai 2014;42:52-5.
44. Hammond LE, Cuttell S, Nunley P, Meyler J. Anthropometric characteristics and sex influence magnitude of skin cooling following exposure to whole body cryotherapy. *Biomed Res Int*. 2014.

45. Selfe J, Alexander J, Costello JT, May K, Garratt N, Atkins S, et al. The effect of three different (-135°C) whole body cryotherapy exposure durations on elite rugby league players. *PLoS ONE*. 2014;9(1).
46. Costello JT, Donnelly AE, Karki A, Selfe J. Effects of whole body cryotherapy and cold water immersion on knee skin temperature. *Int J Sports Med*. janv 2014;35(1):35-40.
47. Costello JT, Culligan K, Selfe J, Donnelly AE. Muscle, Skin and Core Temperature after -110°C Cold Air and 8°C Water Treatment. Lucia A, éditeur. *PLoS ONE*. 6 nov 2012;7(11).
48. Cholewka A, Stanek A, Sieroń A, Drzazga Z. Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy. *Skin Res Technol*. mai 2012;18(2):180-187.
49. Cholewka A, Drzazga Z, Sieroń A. Monitoring of whole body cryotherapy effects by thermal imaging: preliminary report. *Physica Medica*. 1 avr 2006;22(2):57-62.
50. Westerlund T, Oksa J, Smolander J, Mikkelsen M. Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110°C). *Journal of Thermal Biology*. 1 nov 2003;28(8):601-608.
51. Matos F, Neves EB, Norte M, Rosa C, Reis VM, Vilaça-Alves J. The use of thermal imaging to monitoring skin temperature during cryotherapy: A systematic review. *Infrared Physics & Technology*. 1 nov 2015;73:194-203.
52. Kulis A, Misiorek A, Marchewka J, Głodzik J, Teległów A, Dąbrowski Z, et al. Effect of whole-body cryotherapy on the rheological parameters of blood in older women with spondyloarthritis. *Clin Hemorheol Microcirc*. 2017;66(3):187-195.
53. Stanek A, Cholewka A, Gadula J, Drzazga Z, Sieron A, Sieron-Stoltny K. Can Whole-Body Cryotherapy with Subsequent Kinesiotherapy Procedures in Closed Type Cryogenic Chamber Improve BASDAI, BASFI, and Some Spine Mobility Parameters and Decrease Pain Intensity in Patients with Ankylosing Spondylitis? *Biomed Res Int [Internet]*. 2015 [cité 15 oct 2019];2015.
54. Stanek A, Cholewka A, Wielkoszyński T, Romuk E, Sieroń A. Whole-Body Cryotherapy Decreases the Levels of Inflammatory, Oxidative Stress, and Atherosclerosis Plaque Markers in Male Patients with Active-Phase Ankylosing Spondylitis in the Absence of Classical Cardiovascular Risk Factors. *Mediators Inflamm*. 2018
55. LeBlanc J, Dulac S, Côté J, Girard B. Autonomic nervous system and adaptation to cold in man. *J Appl Physiol*. août 1975;39(2):181-6.

56. Savić M, Fonda B, Sarabon N. Actual temperature during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin. *Journal of Thermal Biology*. 1 mai 2013;38:186-191.
57. Organisation Mondiale de la Santé. Principaux repères sur l'obésité et le surpoids [Internet]. [cité 2 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
58. Smolander J, Mikkelsen M, Oksa J, Westerlund T, Leppäluoto J, Huttunen P. Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water. *Physiology & Behavior*. 2004;82:691-695.

ANNEXES



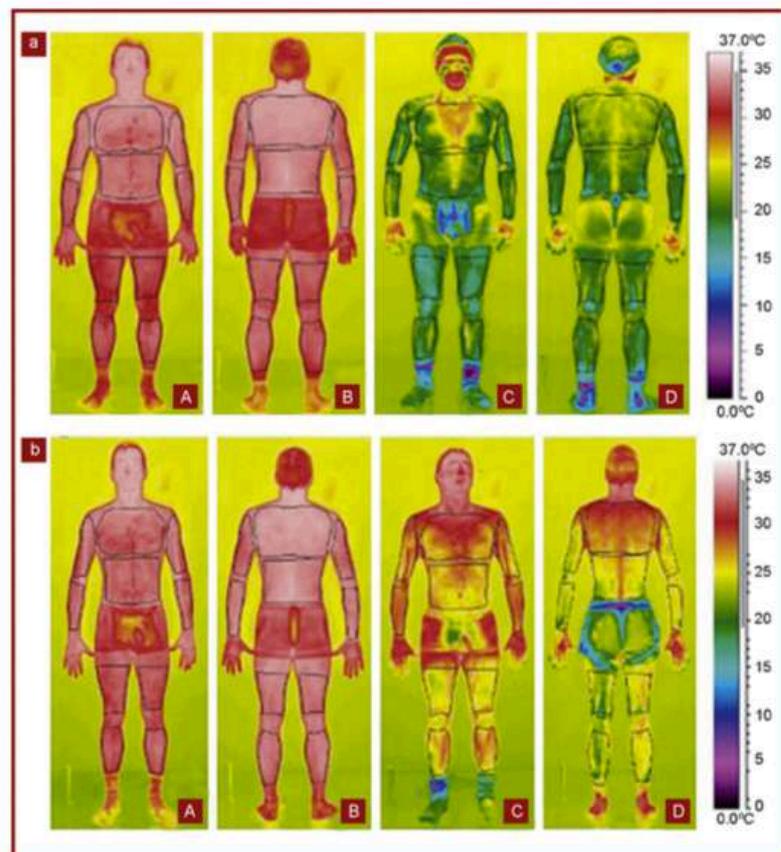
ANNEXE I : Chambre de cryothérapie corps entier



ANNEXE II : Cabine de cryothérapie corps entier

Annexe III : Refroidissement corporel

a. Exemple de thermogrammes avant (A et B) et après (C et D) cryostimulation corps entier à l'aide d'une chambre de cryothérapie ; b. Exemple de thermogrammes avant (A et B) et après (C et D) cryostimulation corps entier à l'aide d'une cryo-cabine (26).



ANNEXE IV : Evaluation du risque de biais des études série de cas et de l'étude de cas.

	Biais de sélection	Biais de mesure	Biais de confusion	Biais rapportés par les auteurs	Autres biais
<i>Polidori, 2018</i>	●	●	●	●	●
<i>Hoshikawa, 2018</i>	●	●	●	●	●
<i>Cuttel, 2017</i>	●	●	●	●	●
<i>Bouzigon, 2017</i>	●	●	●	●	●
<i>Polidori, 2016</i>	●	●	●	●	●
<i>Hammond, 2014</i>	●	●	●	●	●
<i>Zalewski, 2013</i>	●	●	●	●	●
<i>Cholewka, 2011</i>	●	●	●	●	●
<i>Cholewka, 2006</i>	●	●	●	●	●
<i>Westerlund, 2003</i>	●	●	●	●	●

Risque de biais

- Faible
- Moyen
- Élevé

ANNEXE VII: Tableau de synthèse des études retenues et exposition des principaux résultats.

Auteurs/ Années de publication	Titre	Type de CCE	Population	PROTOCOLE (tp/durée)	Tp °mesurée	Comparaison	Durée de suivi de la tp°	Principaux résultats
<i>G. Polidori et al., 2018</i>	Should whole body cryotherapy sessions be differentiated between women and men? A preliminary study on the role of the body thermal resistance	Chambre	N= 18 (10 H et 8 F)	- 110°C 120 sec	Tp rectale tympanique et cutanée	H/F	5 à 35 min	<ul style="list-style-type: none"> - Tp centrale la plus basse 35 min après la CCE (plus basse chez la femme) - ↗ de la tp centrale juste après CCE - relation négative entre tp moyenne de la peau et le % de graisse corporelle - différence significative ente F et H au niveau de la tp cutanée locale avec plus grande ↘ chez les F
<i>G. Polidori, R. Tajar et al., 2018</i>	Infrared thermography for assessing skin temperature differences between Partial Body Cryotherapy and Whole Body Cryotherapy devices at -140 °C	Chambre/ Cabine	N= 10 (5 H et 5 F)	- 140°C 180 sec	Tp cutanée	Chambre/ cabine		<ul style="list-style-type: none"> - différence dans la réponse de la température cutanée à l'exposition au froid entre les deux technologies du froid apparaît, en particulier sur le haut du corps - le corps humain se refroidit beaucoup plus (29%) à sa périphérie en chambre qu'en cabine
<i>A. Piras et al., 2018</i>	Physiological responses to partial-body cryotherapy performed during a concurrent strength and endurance session	Cabine	N=9 (H)	- 160°C 180 sec	Tp cutanée	Tp avant/après	Jusqu'à 90 min	<ul style="list-style-type: none"> - amélioration de la récupération après une seule session d'entraînement en force pendant l'intervalle suivant, ↘ des paramètres cardiorespiratoires et métaboliques
<i>M. Hoshikawa, 2018</i>	Effects of evening partial body cryostimulation on the skin and core temperatures	Cabine	N= 7 (H)	- 180°C 180 sec	Tp centrale Tp cutanée	Tp avant/après	12 h	<ul style="list-style-type: none"> - une session de 3 minutes de CCE le soir affecte la tp centrale et la peau pendant plusieurs heures - Les tp de la peau abdominale et du poignet se sont rétablis différemment. Ces augmentations transitoires induites suivies d'une baisse du gradient de température cutanée distale-proximale et ont entraîné une baisse de la température centrale

<i>S. Cuttel et al., 2017</i>	Anthropometric Characteristics and Sex Influence Magnitude of Skin Cooling following Exposure to Whole Body Cryotherapy	Chambre	N= 18 (10 H et 8 F)	- 110°C 120 sec	Tp rectale tympanique et cutanée	H/F IMC	5 à 35 min	<ul style="list-style-type: none"> - Toutes les tp ont diminuées après l'exposition au froid (↳ plus marquée au niveau du mollet) - différence de tp observée était plus importante chez les femmes. - Diminution moyenne de 11°C - Les femmes présentant des niveaux d'adiposité plus élevés semble mieux refroidir - La différence de tp est plus importante pour les hommes ayant une FFMI élevée (masse maigre)
<i>R. Bouzigon et al., 2017</i>	Validation of a new whole-body cryotherapy chamber based on forced convection	Chambre	N= 15 (10 H et 5 F)	- 40°C 180 sec	Tp cutanée, Tp centrale, Tp de l'air à l'intérieur de la chambre	Tp cutanée mesurée/tp cutanée avec tp d'exposition plus basses	Jusqu'à 20 min	<ul style="list-style-type: none"> - nouvelle technologie WBC basée sur WCET semblait appropriée pour induire une baisse de la température de la peau dans toutes les zones d'intérêt mesurées. - une exposition de 3 min à - 40 ° C avec une convection forcée pourrait être aussi efficace qu'une exposition de 3 min à -110 ° C à -195 ° C dans les appareils chambre et cabine
<i>G. Polidori et al., 2016</i>	Theoretical modeling of time-dependent skin temperature and heat losses during whole-body cryotherapy: A pilot study	Chambre	N=1 (H)	- 60°C 180 sec	Tp cutanée	Modèle mathématique/exposition CCE	Non précisé	<ul style="list-style-type: none"> - résultats du modèle mathématique comparables aux résultats d'une seule session de CCE, - cette étude montre quantitativement le déséquilibre important entre le métabolisme humain et la thermolyse
<i>B. Fonda et al., 2014</i>	Effects of whole-body cryotherapy duration on thermal and cardio-vascular response	Cabine	N= 12 (H)	De - 130°C à -170°C 90, 120, 150 et 180 sec	Tp cutanée	Durées	Jusqu'à 30 min	<ul style="list-style-type: none"> - pas de différence significative pour la FC et la PA - la tp de la peau diminue avec l'augmentation de la durée jusqu'à 150 sec. L'inconfort le plus élevé se produit à 180 sec.
<i>L.E Hammond et al., 2014</i>	Anthropometric Characteristics and Sex Influence Magnitude of Skin Cooling following Exposure to Whole Body Cryotherapy	Chambre	N 32 (18 H et 14 F)	- 110°C 120 sec	Tp cutanée	H/F IMC	Pas de suivi	<ul style="list-style-type: none"> - différence de refroidissement en fonction du sexe et de l'IMC. - Tp cutanée des F plus basses que les H - les individus avec une adiposité plus élevée refroidissent au niveau cutané que ceux plus minces
<i>J. Selfe et al., 2014</i>	The Effect of Three Different (-135°C) Whole Body Cryotherapy	Chambre	N= 14 (H)	-135°C 60, 120 et	Tp centrale Tp cutanée	Durées	Jusque 20 min	<ul style="list-style-type: none"> - exposition de 2 minutes à -135°C après un pré-refroidissement de 30 secondes à -60°C était l'exposition à la CCE optimale pour les

	Exposure Durations on Elite Rugby League Players			180 sec				joueurs pro de rugby à XV
<i>J. Costello et al., 2014</i>	Effects of Whole Body Cryotherapy and Cold Water Immersion on Knee Skin Temperature	Chambre	N= 10 (H)	- 120°C 220 sec	Tp cutanée	CCE/CWI	Jusque 60 min	<ul style="list-style-type: none"> - Tp cutanées ont été réduites immédiatement après le traitement jusque 60 minutes après CCE et CWI - Tp cutanées inférieures immédiatement après la cryothérapie du corps entier par rapport à l'immersion dans l'eau (CWI) - de 10 à 60 minutes après, les tp cutanées étaient après la CWI - aucun des deux protocoles n'a atteint une tp de la peau jugée nécessaire pour provoquer un effet analgésique.
<i>P. Zalewski et al., 2013</i>	Thermal and hemodynamic response to whole-body cryostimulation in healthy subjects.	Chambre	N= 30 (H)	- 120°C 180 sec	Tp cutanée	Zones du corps	Jusque 6h	<ul style="list-style-type: none"> - refroidissement max au niveau de l'avant bras (tp post CCE : 9,2°C) - refroidissement minimal au niveau du bas du dos (tp post CCE : 19,5°C)
<i>J. Costello et al., 2012</i>	Muscle, Skin and Core Temperature after -110°C Cold Air and 8°C Water Treatment ?	Chambre	N = 20 (H)	- 110°C 220 sec	Tp centrale Tp cutanée Tp musculaire	CCE/CWI	Jusque 60 min	<ul style="list-style-type: none"> - aucune différence pour la Tp musculaire - réduction de la tp rectale à 40, 50 et 60 min post traitement mais pas de différence entre les 2 traitements; - réduction de la moyenne, du min et de la tp cutanée max au fil du temps - tp moyenne de la peau de 20 à 60 min, la Tp min de 40 et 60 min et la Tp max de la peau à 10, 30, 40, 50 et 60 min étaient plus basses après CWI par rapport à la CCE
<i>Cholewka et al., 2011</i>	Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy.	Chambre	N= 22 (17 H et 5 F)	- 120°C Non défini	Tp cutanée	H/F IMC	Pendant l'exposition	<ul style="list-style-type: none"> - La CCE peut dépendre des caractéristiques individuelles du patient comme l'IMC, qui peuvent également avoir une signification potentielle dans les effets de la thérapie.
<i>A. Cholewka,</i>	Monitoring of Whole Body cryotherapy effects by thermal imaging : preliminary report	Chambre	N= 30 (23 H et 7 F)	- 120°C 120 sec (1 ^{ère})	Tp cutanée	Tp avant/après	Pas de	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la tp cutanée locale au niveau du dos - L'imagerie infrarouge réalisée après

<i>et al., 2006</i>				séance) puis 180 sec			suivi	cryothérapie complète de patients souffrant de lombalgie révèle une légère diminution des états inflammatoires lors de 10 séances de cryothérapie corps entier.
<i>T. Westerlund et al., 2003</i>	Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110 °C)	Chambre	N= 10 (9 F et 1 H)	- 120°C 120 sec	Tp centrale Tp cutanée	Tp avant/après	Jusque 30 min	<ul style="list-style-type: none"> - Tp rectale moyenne n'a pas changé pendant les 2 minutes de CCE, mais après CCE, il y a eu une légère ↘ - Toutes les températures cutanées ont diminué très rapidement pendant la CCE. Les températures cutanées les plus basses ont été observées sur l'avant-bras et sur le mollet. - Les températures cutanées les plus élevées ont été enregistrées sur la paume et le pied, qui étaient protégés (gants et chaussettes) - Immédiatement après la CCE, toutes les tp cutanées ont augmenté très rapidement pendant quelques min, - Aucune des températures n'a atteint les valeurs de référence pendant la récupération

Etude des paramètres individuels et liés au protocole qui modulent le refroidissement corporel dans la cryothérapie corps entier. Une revue systématique

La cryothérapie du corps entier (CCE) est modalité de cryothérapie qui est actuellement utilisée dans divers contextes thérapeutiques, médicaux et sportifs. La CCE implique une exposition à un air extrêmement froid, généralement entre - 100 à - 130 ° C dans une chambre ou cabine spécialement conçue, pendant une courte durée (2 à 4 min). Les effets bénéfiques de la CCE sont cependant controversés. Il est accepté que la réponse normale au froid peut varier en fonction de certaines caractéristiques individuelles telles que le sexe, l'âge et la condition physique. L'objectif de cette revue est d'identifier et d'évaluer les paramètres individuels et ceux liés aux protocoles pouvant moduler le refroidissement corporel face à la cryothérapie corps entier. Des articles étudiant le refroidissement dans le cadre de la cryothérapie corps entier ont été recherchés via Pubmed, PEDro, Cochrane Library, ScienceDirect, Kinédoc et RééDOC. Les articles devaient utiliser un des deux modes de cryothérapie corps entier (chambre ou cryo-cabine) et devaient mesurer la température corporelle (cutanée, centrale ou musculaire). Seize articles respectant les critères d'inclusion, ont été inclus dans l'étude. Des niveaux de refroidissement sensiblement similaires ont été observés entre l'utilisation d'une chambre ou d'une cabine de cryothérapie corps entier. La température centrale augmente (0,5° C à 1°C) juste après l'exposition à la CCE puis diminue pour retrouver sa valeur de base plusieurs heures après l'exposition à la CCE. La température cutanée diminue de façon importante. Les différences individuelles liées au sexe et à l'IMC ont une influence sur les réponses thermorégulatrices après CCE. La température cutanée des femmes diminue davantage que celles des hommes. Le refroidissement cutané est plus marqué chez les personnes ayant un IMC élevé. Des différences ont aussi été observées en fonction des zones corporelles. Les résultats de cette étude sont intéressants à prendre en compte en pratique clinique afin d'adapter les protocoles de CCE.

Mots clés : Cryothérapie corps entier ; Paramètres individuels ; Protocole ; Refroidissement

Study of the individual and protocol-related parameters that modulate body cooling in whole-body cryotherapy. A systematic review

Whole body cryotherapy (WBC) is a form of cryotherapy that is currently used in various therapeutic, medical and sports contexts. WBC involves exposure to extremely cold air, usually between - 100 to - 130 ° C in a specially designed room or cabin, for a short time (2 to 4 min). However, the beneficial effects of WBC are controversial. It is accepted that the normal response to cold may vary depending on certain individual characteristics such as gender, age and physical condition. The objective of this review is to identify and assess individual parameters and those related to protocols that can modulate body cooling in whole-body cryotherapy. Articles studying cooling in whole body cryotherapy were searched via Pubmed, PEDro, Cochrane Library, ScienceDirect, Kinédoc and RééDOC. Articles had to use one of two modes of whole-body cryotherapy (chamber or cryo-cabin) and had to measure body temperature (skin, central or muscle). Sixteen articles meeting the inclusion criteria were included in the study. Significantly similar levels of cooling have been observed between the use of a WBC chamber or cabin. Core temperature rises (0.5 ° C to 1 ° C) just after exposure of WBC and then decreases to return to its baseline several hours after exposure of WBC. Skin temperature decreases significantly. Individual differences related to gender and BMI influence thermoregulatory responses after WBC. The skin temperature of women decreases more than those of men. Skin cooling is more marked in people with a high BMI. Differences were also observed depending on the body areas. The results of this study are interesting to take into account in clinical practice in order to adapt the WBC protocols.

Key Words : Whole body cryotherapy; Individuals parameters; Protocol; Cooling