

Article original

Les douleurs du sujet âgé. Évaluation prospective de l'antalgie par cryothérapie gazeuse hyperbare au dioxyde de carbone (neurocryostimulation)

Pain in the elderly: Prospective study of hyperbaric CO₂ cryotherapy (Neurocryostimulation)[◇]

Guy Chatap*, Annabelle De Sousa, Karine Giraud, Jean-Pierre Vincent,
le groupe "Douleurs aiguës de la personne âgée"¹

Service de gérontologie 4, hôpital Émile-Roux, APHP, 1, avenue de Verdun, 94450 Limeil-Brévannes, France

Reçu le 22 mars 2006 ; accepté le 9 octobre 2006

Disponible sur internet le 06 juillet 2007

Résumé

Objectif. – Évaluer l'efficacité antalgique de la cryothérapie gazeuse au dioxyde de carbone sur les douleurs des sujets âgés hospitalisés.

Méthodes. – Il s'agit d'une étude ouverte, prospective, portant sur des patients hospitalisés dans un hôpital gérontologique, et présentant des douleurs diverses par leur type et leur ancienneté. Après un examen médical, les patients bénéficiaient de séances de cryothérapie gazeuse, dont le nombre et la fréquence étaient laissés à l'appréciation du physiothérapeute. L'évaluation de l'intensité douloureuse était effectuée au début et à la fin des séances, par l'intermédiaire de l'échelle visuelle analogique.

Résultats. – Cinquante et un patients, avec un sex-ratio de 4 en faveur des femmes, ont été traités entre le 2 mai et le 30 juin 2005. L'âge moyen était de 83,7 ans. Les douleurs, aiguës ou chroniques, étaient d'origine rhumato-orthopédique (80,3 %) ou neurologique (18,6 %). Après quatre séances de traitement, l'intensité douloureuse, mesurée par l'échelle visuelle analogique, a été ramenée de 52 à 13 mm ($p < 0,001$) pour les douleurs aiguës, et de 45 à 13 mm ($p < 0,001$) pour les douleurs chroniques.

Conclusion. – La neurocryostimulation est une technique moderne, qui devrait intégrer l'arsenal thérapeutique de l'antalgie non médicamenteuse du sujet âgé.

© 2007 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Cryothérapie gazeuse hyperbare ; Neurocryostimulation ; Sujet âgé ; Douleur

Keywords: Hyperbaric gaseous cryotherapy; Neurocryostimulation; Older patients; Pain

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : chatap.guy@wanadoo.fr (G. Chatap).

¹ I. Belard, R.-M. Bigoin, R. Boecasse, C. Bohec, I. Boyer, G. Chatap, M. Chapon, B. Duballe, A. De Sousa, E. Dos Santos, V. Disdero, A. Faure, K. Giraud, A. Gonzales, F. Guerfi, C. Guyot, M. Meloni, M.-H. Lelong, S. Maine, B. Marcellan, O. Mauromati, B. Mihana, S. Oliva, I. Peron, M. Piton, M. Pogam, V. Simoni, D. Thély.

[◇] Pour citer cet article, utiliser ce titre en anglais et sa référence dans le même volume de *Joint Bone Spine*.

1. Introduction

Nouvelle dans le domaine des thérapeutiques antalgiques utilisant le froid, la cryothérapie gazeuse au dioxyde de carbone (CO₂) suscite une curiosité légitime.

Modernisée par une équipe française, cette technique s'appuie sur les propriétés engendrées par un choc thermique ; celui-ci est déclenché par la projection et la sublimation de microcristaux de carboglace, à très basse température et à très grande vitesse, au niveau d'une zone douloureuse. Ce choc thermique est responsable d'un abaissement brutal et quasi immédiat de la température cutanée. Il en découle une potentialisation des effets physiologiques (antalgiques, anti-inflammatoires, vasomoteurs et myorelaxants) habituellement reconnus à la cryoanalgésie.

Alors que la cryothérapie gazeuse par le CO₂ est de plus en plus présente dans les cabinets de kinésithérapie, de rhumatologie et dans les milieux sportifs, les études en mesurant l'efficacité réelle restent rares.

Il était donc utile d'évaluer son impact sur des sujets âgés présentant des douleurs variées dans le cadre d'une étude prospective.

2. Méthodes

Il s'agit d'une étude ouverte, prospective et indépendante, qui s'est déroulée pendant deux mois dans un service de gériatrie de l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris (hôpital Émile-Roux, Limeil-Brévannes).

Sur la base d'une grille préalablement conçue, 51 patients âgés ont été consécutivement enrôlés. Ils étaient hospitalisés en unité de Soins de suite et de réadaptation (SSR) pour des motifs divers (suites de chirurgie orthopédique, pathologies neurologiques et rhumatologiques diverses, gériatrie polyvalente), ou en unité de soins de longue durée (USLD).

Les patients douloureux étaient repérés et signalés par les équipes soignantes, quelle que soit l'origine ou le type de douleur rencontrée.

L'objectivation de l'intensité douloureuse se faisait par l'intermédiaire de l'échelle visuelle analogique (EVA).

Une douleur était considérée « aiguë » lorsque son antériorité était inférieure à un mois.

Les traitements antalgiques en cours n'étaient pas interrompus pour cette étude.

Les critères d'exclusion étaient, d'une part l'existence d'une contre-indication connue à la cryothérapie (allergie au froid, cryoglobulinémie, syndrome de Raynaud, hémoglobinopathie, trouble de la sensibilité cutanée, existence d'une lésion cutanée), et d'autre part l'inaptitude du patient à évaluer l'intensité de sa douleur par EVA, lorsque le patient avait un score au Mini Mental Status Examination (MMSE) inférieur à 23/30.

Les séances de cryothérapie étaient réalisées par un kinésithérapeute préalablement formé à la technique, et qui intervenait après un examen médical du patient. Celui-ci confirmait l'existence du phénomène douloureux, appréciait son type et

son intensité, et posait l'indication thérapeutique. Les patients étaient alors traités jusqu'à obtention, en début de séance et à deux reprises consécutives, d'un score à l'EVA inférieur à 30 mm. Le rythme des séances était laissé à l'appréciation du physiothérapeute.

L'appareil utilisé était le modèle Cryotron[®] de la société Cryonic Médical (Cryonic Médical, Salins-les-Bains, France). Le CO₂ médical, sous forme liquide, est conditionné en bouteilles dotées d'une électrovanne et d'un tube plongeur ; le froid est appliqué sur une peau sèche par un mouvement de balayage lent et régulier au niveau de la zone douloureuse grâce à un pistolet relié à la bouteille de CO₂, et délivrant le gaz carbonique sous pression au travers d'une buse. Celle-ci est maintenue à une distance de sept à dix centimètres de la surface cutanée, ce qui permet d'observer l'action du froid, qui se concrétise par le dépôt de microcristaux de carboglace visibles sur la surface cutanée. Cet appareil permet, d'une part de contrôler l'abaissement de la température cutanée grâce à un pyromètre infrarouge incorporé au pistolet permettant un diagnostic thermographique, et d'autre part de programmer sur un écran le temps d'application du gaz.

Pour les douleurs aiguës, la durée d'application dépend de la surface à traiter, de 30 secondes minimum pour une petite surface, à 90 secondes pour une surface importante (lumbago, genou, épaule). Un indicateur s'allume lorsque le choc thermique est obtenu (température cutanée autour de 4 °C).

Pour les douleurs chroniques, le temps d'application varie selon les indications fournies par le patient, et correspond généralement à la perception d'une impression de brûlure.

Pour les douleurs neuropathiques diffuses, le procédé est appliqué de façon concentrique, le long de la section de membre douloureuse, en déclenchant plusieurs chocs thermiques sur les trajets des nerfs correspondants.

2.1. Recueil des données

Sur une grille standardisée, les principales caractéristiques des patients étaient recueillies. Les paramètres colligés étaient l'âge, le sexe des patients, leur score au MMSE, et les caractères de la douleur (type, ancienneté, localisation, intensité au début et à la fin des séances). Il était également noté le nombre et la fréquence des séances de cryothérapie gazeuse.

2.2. Analyse statistique

Les scores obtenus sur l'échelle visuelle analogique ont été comparés à l'aide du test de Student. Les résultats ont été exprimés en moyenne ± écart-type ou en pourcentage. Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme statistiquement significative.

3. Résultats

Entre le 2 mai et le 30 juin 2005, 51 patients âgés de $83,7 \pm 8,6$ ans (65–97), avec un sex-ratio de 4 en faveur des

Tableau 1
La neurocryostimulation et les douleurs aiguës (ancienneté < 1 mois)

Localisation	Nombre	Nombre de séances	Fréquence hebdomadaire des séances	EVA initial	EVA final	
<i>Douleurs aiguës</i>	23	4,2 ± 2	2,1 ± 0,9	52,2 ± 9,4	13 ± 9	<i>p</i> < 0,001
Arthrites microcristallines (genou, poignet)	4	5 (3 à 8)	2 (1 à 3)	47,2 ± 8,4	15,7 ± 0,9	–
Dorsolombalgies	5	4,7 (2 à 6)	2 (1 à 3)	53,8 ± 8,4	9,2 ± 8,5	–
Traumatisme orthopédique de la hanche et du bassin (suites post-opératoires, douleur post-traumatique)	8	2,7 (2 à 7)	1,6 (1 à 7)	48,5 ± 6	17,1 ± 9,1	<i>p</i> < 0,001
Fracture intercondylienne du genou	1	10	5	63	0	–
Épaule douloureuse (fracture, algoneurodystrophie post-AVC)	2	3 (2 à 4)	2	52,5	7,5	–
Syndrome du canal carpien	2	4	3	56	13	–
Cancer ORL	1	4	2	68	17	–

Tableau 2
La neurocryostimulation et les douleurs chroniques

Répartition des douleurs	Nombre	Nombre de séances	Fréquence hebdomadaire des séances	EVA initial	EVA final	
<i>Douleurs chroniques</i>	28	3,6 ± 1,8	2 ± 1,8	45,2 ± 11,6	13,2 ± 10,8	<i>p</i> < 0,001
Atteintes rachidiennes	9	3,4 (1 à 5)	2 (1 à 3)	45,7 ± 8,2	12,5 ± 9,9	<i>p</i> < 0,001
cervicarthrose	2	2,5 (1 à 4)	1,5 (1 à 2)	44,5 ± 3,5	19,5 ± 4,9	
dorsolombalgies	5	3,6 (1 à 5)	2 (1 à 5)	41,2 ± 4,7	6,8 ± 9,7	
sciatique	2	4	2,5 (2 à 3)	58,5 ± 3,5	20 ± 2,8	
Atteintes articulaires	13	3,8 (1 à 6)	2 (1 à 4)	43,9 ± 12,7	13,6 ± 12	<i>p</i> < 0,001
coxarthrose	3	4 (2 à 6)	2 (1 à 3)	41,6 ± 4,1	16,3 ± 5,1	
gonarthrose	7	3,5 (1 à 7)	2 (1 à 4)	45,7 ± 17,6	14,4 ± 15,6	
périarthrite scapulo-humérale	3	4,3 (1 à 8)	1,3 (1 à 3)	42 ± 1	9 ± 7,9	
Atteintes neurologiques	6	3,6 (2 à 6)	2,3 (2 à 3)	47,1 ± 14,7	13,6 ± 11	NS
spasticité épaule (AVC, SLA)	4	4	2,5 (2 à 3)	47,7 ± 17	14,2 ± 9,9	
spasticité main (AVC)	1	2	2	36	0	
tétraplégie (atteinte C6–C7)	1	4	3	56	25	

femmes, ont été inclus dans l'étude, pour un total de 201 séances de neurocryostimulation.

Vingt-trois patients (45 %) avaient une douleur aiguë (ancienneté inférieure à un mois), et 28 sujets (55 %) présentaient une douleur chronique.

Quarante et un sujets (80,3 %) présentaient des douleurs ostéoarticulaires, et dix personnes âgées (19,6 %) se plaignaient de douleurs neuropathiques.

Les douleurs aiguës ont significativement répondu à la cryothérapie gazeuse au CO₂, avec un ΔEVA diminuant, en quatre séances, de 39 ± 0,4 mm (*p* < 0,001). C'est en particulier le cas des douleurs liées à un rhumatisme métabolique (EVA diminuant de 31,5 mm en cinq séances), des douleurs rachidiennes (ΔEVA = 44,6 ± 7,5 mm en 4,7 séances) et des douleurs post-chirurgicales (ΔEVA = 31,4 ± 3,1, *p* < 0,001, en 2,7 séances) (Tableau 1).

Nous avons également soulagé des douleurs anciennes, souvent en rapport avec un terrain polyarthrosique, le score EVA passant de 45,2 ± 11,6 à 13,2 ± 10,8 (*p* < 0,001) après 3,6 séances de traitement en moyenne (Tableau 2).

Des douleurs neuropathiques aiguës ou chroniques ont également diminué en intensité : il s'agissait de paresthésies liées à un syndrome du canal carpien ou de séquelles spastiques de maladies neurologiques (accident vasculaire cérébral, sclérose latérale amyotrophique, tétraplégie).

Il n'a pas été observé d'effet indésirable significatif au cours de l'étude.

4. Discussion

Longtemps pratiquée de manière empirique, la cryoanalgésie trouve actuellement des bases physiologiques solides.

Dans les suites d'une agression tissulaire, la réaction inflammatoire est traduite par la libération de substances souvent algogènes, à partir de trois sources principales, d'abord les cellules lésées elles-mêmes qui excitent les nocicepteurs, ensuite les cellules de la lignée inflammatoire qui sensibilisent les nocicepteurs, et enfin les nocicepteurs eux-mêmes qui libèrent des substances capables de les activer ou de les sensibiliser directement ou indirectement [1,2]. Localement, l'application d'une source froide va provoquer une vasoconstriction artérielle et capillaire profonde, rapidement suivie d'un cycle vasoconstriction-vasodilatation favorisant la résorption de l'œdème.

L'action antalgique de la cryothérapie locale se manifeste dès qu'on ramène la température cutanée au-dessous de 13,6 °C, et abaisser encore cette température permet d'obtenir un ralentissement significatif de la vitesse de conduction des fibres nerveuses véhiculant la sensibilité algique [3–5]. La diminution du spasme musculaire engendrée par la cryothérapie est souvent mise en relation avec la diminution de la conduction nerveuse et de l'excitabilité des fuseaux neuromusculaires (réflexe myotatique inversé), voire même le blocage de la transmission neuromusculaire à une température de 5 °C [6].

Pour traiter les conséquences douloureuses des traumatismes musculosquelettiques et articulaires, il est nécessaire d'obtenir une baisse significative des températures aux niveaux

intramusculaires et intra-articulaires [7,8], ce qui fait intervenir un facteur individuel important : en effet, pour obtenir un effet antalgique identique, la durée d'application de la cryothérapie sera plus ou moins prolongée selon l'épaisseur du pannicule adipeux, de 25 minutes pour une épaisseur inférieure à 20 mm, à une durée de 60 minutes si le pannicule adipeux est de 30 à 40 mm [9,10]. Le gradient de cette hypothermie relative dépend du choix de l'outil cryogène, de sa durée d'application, et de sa température initiale ; l'obtention d'une analgésie cutanée superficielle significative nécessite de ramener la température cutanée au-dessous de 13,6 °C ; pour réduire la vitesse de conduction nerveuse de 10 %, cette température ne doit pas être supérieure à 12,5 °C ; enfin, en dessous de 11 °C, on obtient une baisse de 50 % du métabolisme enzymatique au niveau de la zone douloureuse [11–15].

Les outils cryogènes sont très variés, allant des techniques d'immersion dans une eau refroidie (membre, segment de membre) au séjour en chambre froide, en passant par l'utilisation de la glace sous différentes formes, de gels prérefrigérés, de sprays cryogènes, et d'attelles isothermes [3,16–19]. Le choix d'un outil cryogénique, outre son efficacité propre, doit, de plus, prendre en compte d'autres paramètres comme sa maniabilité, son stockage, ses conditions d'utilisation et son coût.

Les limites de la cryothérapie habituelle tiennent essentiellement à la difficulté, pour un mode cryogène donné, de remplir l'ensemble de ces critères, ce qui cantonne le plus souvent cette technique à un traitement antalgique adjuvant. Tenant compte de ces limites, des recommandations pour une cryoanalgésie optimale ont été récemment proposées par des experts [20].

La cryothérapie gazeuse au CO₂ semble trouver tout son intérêt dans les limites de la cryoanalgésie classique. La technique récente a été particulièrement développée par Cluzeau et al., qui ont eu l'idée d'associer la pression du gaz carbonique au froid, permettant d'amplifier les effets antalgique et anti-inflammatoire de la cryothérapie classique [21]. Alors que la cryothérapie classique par la glace agit par conduction (transfert énergétique par contact entre la peau et la poche de glace), la cryothérapie gazeuse au CO₂ agit par convection et sublimation, avec une pression d'éjection du jet supérieure à un bar, dite sonique. La neurocryostimulation est de plus en plus pratiquée dans la traumatologie aiguë du sportif (lésions ligamentaires, tendineuses, musculaires, fractures osseuses, luxations), et en traumatologie chronique (tendinopathies, lésions musculaires, capsulites rétractiles, algoneurodystrophies) [22]. Elle consiste en la projection, sur la peau, d'un flux de microcristaux de carboglace à très basse température (–78 °C), sous une pression d'environ deux bars. La combinaison de l'intensité brutale du froid, de la vitesse de refroidissement cutanée liée à la haute pression du gaz, est responsable d'une baisse rapide de la température cutanée, qui est ramenée à 2 °C en moins de 45 secondes (lorsque la cryothérapie classique met 15 à 30 minutes pour ramener cette température entre 13 et 15 °C) : cela détermine le choc thermique. Le froid est transmis à l'organisme par les trois couches de la peau : lorsque la tem-

pérature cutanée descend brutalement à 4 °C, les récepteurs cutanés et sous-cutanés sont activés, parmi lesquels les nocicepteurs, les corpuscules de Ruffini (thermosensibles) et les corpuscules de Pacini (barosensibles). Le message est alors transmis au niveau du diencéphale, qui enclenche une réponse neurovégétative qui implique les systèmes ortho- et parasymphatiques (neurocryostimulation). L'exposition au froid intense étant très brève, l'atteinte tissulaire est quasi nulle. Le gaz utilisé (CO₂) est pur, sec et donc confortable, lui ôtant tout caractère douloureux, bactériostatique et fongistatique, ce qui élimine les risques septiques, et permet des soins sur une plaie, une cicatrice récente, voire dans les suites postopératoires immédiates. Le CO₂ médical est également incolore, inodore et ininflammable.

La neurocryostimulation amplifie les effets bénéfiques reconnus à la cryothérapie classique. De plus, son action vasomotrice et antiœdémateuse (contestée à la cryoanalgésie classique) est quasi immédiate : le pic de vasoconstriction initial de 40 % est atteint en sept secondes (contre trente secondes avec la glace), précèdent un pic de vasodilatation de 117 % obtenu en 20 secondes, (ce pic est de 80 %, obtenu en 20 minutes par la cryothérapie classique). Cet effet est favorisé par la pression utilisée pour pulvériser le gaz froid [22–24]. La neurocryostimulation se différencie de la cryothérapie classique par deux propriétés : l'intensité du refroidissement et sa vitesse d'obtention. Le choc thermique entraîne une vasodilatation artérielle et capillaire réactionnelle beaucoup plus profonde que ce qui peut être observé avec la cryothérapie classique.

La cryothérapie gazeuse semble présenter plusieurs avantages, qui ne la limitent plus à un traitement adjuvant, mais en font une réelle thérapeutique dans de nombreuses situations douloureuses. Elle permet d'une part, une baisse très rapide de la température cutanée, à un niveau d'efficacité démontrée sur la douleur, l'inflammation, et la baisse de la conduction nerveuse et d'autre part, la haute pression d'éjection du gaz permet d'obtenir quasi instantanément des températures intramusculaires et intra-articulaires efficaces, éliminant la limite individuelle que constitue l'épaisseur du pannicule adipeux dans la cryothérapie habituelle. Enfin, l'effet antalgique de cette technique, mesurée sur la température cutanée, la température intra-articulaire, la douleur ressentie et les paramètres inflammatoires biologiques, est significatif et prolongé [24].

Notre travail est une étude ouverte, portant sur des sujets âgés souvent polyalgiques. Les douleurs sont de types divers, souvent anciennes et intriquées entre elles et avec les pathologies sous-jacentes. L'objectif principal se limitait à l'évaluation de l'effet antalgique de cette nouvelle technique sur des patients présentant des douleurs d'origine musculosquelettique ou neurologique, aiguës ou chroniques.

Les rhumatismes inflammatoires aigus (goutte, chondrocalcinose aiguë dans notre étude) et les algies articulaires aiguës (cervicalgies, dorsolombalgies, ténosynovites), sont fréquents chez le sujet âgé : dans notre panel, ces douleurs ont nettement diminué après quatre à cinq séances de traitement, avec un score de douleur passant en moyenne de 47,2 à 15,7 mm pour les douleurs liées aux arthrites microcristallines, et de

53,8 à 9,2 mm pour les dorsolombalgies. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Schlesinger et al., qui ont montré, dans une étude prospective contre un groupe témoin, que la cryothérapie locale réduisait significativement, chez ces patients, l'intensité douloureuse sur l'échelle EVA, qui diminue de 77 mm contre 44 mm pour le groupe témoin [24]. Dans une autre étude contrôlée, Hanrahan, qui mesure l'intensité douloureuse par le McGill Pain Questionnaire et l'EVA, a également retrouvé une diminution significative de la douleur dorsolombaire aiguë d'origine mécanique sur des sportifs [25]. Des travaux antérieurs avaient déjà montré que le froid local augmentait la viscosité du liquide synovial, inhibant l'afflux des leucocytes et le processus inflammatoire au niveau articulaire [26].

Plusieurs des patients de notre échantillon étaient hospitalisés en vue d'une réhabilitation fonctionnelle, après un acte chirurgical orthopédique (hanche, genou, épaule). Dans le contexte d'algies postopératoires, la réalisation de cryothérapie par le Cryotron[®] s'est accompagnée d'une rapide diminution de l'intensité de la douleur ressentie, avec une évaluation par l'EVA passant de 48,5 à 17 mm après 2,7 séances. Avec le même appareil, Meeusen et al. avaient retrouvé dans le cadre d'une étude contrôlée, des résultats comparables chez des patients venant de subir une arthroscopie de l'épaule [27]. Plus récemment, il a été démontré pour la première fois, par une étude contrôlée, l'efficacité antalgique, objectivée par l'EVA, de la cryothérapie locale après arthroplastie totale de hanche [28].

Nous avons également observé un effet antalgique de la cryothérapie gazeuse sur des douleurs anciennes (algies rachidiennes et articulaires d'origine arthrosique), avec une diminution moyenne de l'intensité douloureuse de 33 mm sur l'EVA après 3,4 séances pour les rachialgies, et de 30 mm en 3,8 séances pour les douleurs articulaires. Rozenblat a indiqué, à partir d'une série de 333 patients, l'intérêt de la cryothérapie gazeuse en association avec la réalisation simultanée d'ondes de choc radiales, pour de nombreuses pathologies de l'appareil locomoteur et une étude comparative randomisée a conclu à la supériorité de la cryothérapie gazeuse sur les traitements traditionnels, chez des sportifs présentant des douleurs liées à des tendinites aiguës [29,30]. Des séquelles spastiques douloureuses de maladies neurologiques (sclérose latérale amyotrophique, tétraplégie, séquelles d'accident vasculaire cérébral) ont été soulagées chez des patients atteints, confirmant les résultats de l'étude épidémiologique réalisée par Petrilli et al. sur des sujets présentant une sclérose en plaques [6]. Sur un nombre limité de patients, la cryothérapie gazeuse au CO₂ a soulagé des douleurs neuropathiques (syndrome bilatéral du canal carpien, algies orofaciales liées à un cancer ORL), confirmant des résultats déjà décrits [31,32].

Notre travail présente des limites : il ne s'agit pas d'une étude en double insu, contre placebo ou contrôle. Elle concerne des sujets âgés polyalgiques, et les douleurs concernées sont hétérogènes. Nous n'avons pas inclus les patients dont l'altération des fonctions cognitives n'aurait pas permis l'évaluation de leur score de douleur à l'aide de l'EVA. Par ailleurs, nous

ne pouvons exclure l'existence d'un effet placebo lié aux conditions de réalisation. Toutefois, il s'agit de la première étude évaluant l'efficacité antalgique de cette nouvelle technique sur des sujets âgés présentant des douleurs très diverses. À des degrés divers, toutes les douleurs traitées ont vu leur intensité diminuer, sans effet indésirable signalé. Les indications de la cryothérapie gazeuse au CO₂ ne se limitent pas à la sédation des douleurs musculosquelettiques ou neurologiques. La technique a également été utilisée avec succès pour prévenir certaines douleurs induites par les soins [33].

Références

- [1] Szallasi A, Di Marco V. New perspectives on enigmatic vanilloid receptors. *Trends Neurosci* 2000;23:491–7.
- [2] Premkumar LS, Ahern GP. Induction of vanilloid receptor channel activity by protein kinase C. *Nature* 2000;408:985–90.
- [3] Meier JL, Nirascou M. La cryothérapie : indications actuelles et moyens d'application en rhumatologie et rééducation fonctionnelle. *Ann Readapt Med Phys* 1986;29:197–205.
- [4] Lee JM, Warren M, Mason SM. Effect of ice on nerve conduction velocity. *Physiology (Bethesda)* 1978;64:2–6.
- [5] Evans PJ. Cryoanalgesia. The application of low temperatures to nerves to produce anesthesia or analgesia. *Anesthesia* 1981;36:1003–13.
- [6] Petrilli S, Duruffe A, Nicolas B, Robineau S, Kerdoncuff V, Le Tallec H. Influence des variations de la température sur la symptomatologie clinique dans la sclérose en plaques : étude épidémiologique. *Ann Readapt Med Phys* 2004;47:204–8.
- [7] Martin S, Spindler K, Tarter J, Detwiler K. Cryotherapy: an effective modality for decreasing intra-articular temperature after knee arthroscopy. *Am J Sports Med* 2001;29:288–91.
- [8] Warren TA, McCarty EC, Richardson AL, Michener T, Spindler KP. Intra-articular knee temperature changes. Ice versus cryotherapy device. *Am J Sports Med* 2004;32:441–5.
- [9] Jutte LS, Merrick M, Ingersoll C, Edwards J. The relation between intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:845–50.
- [10] Otte J, Merrick M, Ingersoll C, Cordova M. Subcutaneous adipose tissue thickness alters cooling time during cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:1501–5.
- [11] Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P. Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:1411–5.
- [12] Chesterton L, Foster N, Ross L. Skin temperature response of cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:543–9.
- [13] Bugaj R. The cooling, analgesic and rewarming effects of ice massage on localized skin. *Phys Ther* 1975;55:11–9.
- [14] McMeeken J, Murray L, Cocks S. Effects of cooling with simulated ice on skin temperature and nerve conduction velocity. *Aust J Phys* 1984;30:111–4 (not found on PubMed).
- [15] Zachariassen KE. Hypothermia and cellular physiology. *Artic Med Res* 1991;50(Suppl 6):13–7.
- [16] Quesnot A, Chanussot JC, Corbel I. La cryothérapie en rééducation : revue de la littérature. *Kinésithér Sc* 2001;412:39–48.
- [17] Bleakley C, McDonough S. The use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury: a systematic review of randomized controlled trials. *Am J Sports Med* 2004;32:251–61.
- [18] Airaksinen O, Kyrklund N, Latvala K, Kouri JP, Grönblad M, Kolari P. Efficacy of cold gel for soft tissue injuries: a prospective randomized double-blinded trial. *Am J Sports Med* 2003;31:680–4.
- [19] Metzger D, Zwiggmann C, Protz W, Jackel WH. Whole-body cryotherapy in rehabilitation of patients with rheumatic diseases-Pilot Study. *Rehabilitation (Stuttg)* 2000;39:93–100.

- [20] Mac Auley DC. Ice therapy: how good is the evidence? *Int J Sports Med* 2001;22:379–84.
- [21] Cluzeau C. Douleurs et cryothérapie hyperbare. *Ann Kinesither* 2002;1:30–1.
- [22] Rozenblat M, Cluzeau C. Place de la neurocryostimulation en traumatologie du sport. *J Traumatol Sport* 2006;23:52–5.
- [23] Desbrosse F. Les propriétés analgésiques de la cryothérapie au CO₂ hyperbare. *Prat Vet Equine* 2003;35:97–100.
- [24] Schlesinger N, Detry M, Holland B, Baker D, Beutler A, Rull M, et al. Local ice therapy during bouts of acute gouty arthritis. *J Rheumatol* 2002;29:331–4.
- [25] Hanrahan S, Lunen B, Tamburello M, Walker M. The short-term effects of joint mobilizations on acute mechanical low back dysfunction in collegiate athletes. *J Athl Train* 2005;40:88–93.
- [26] Weinberger A, Giler S, Nyska A. Treatment of inflammatory synovitis with ice application. *Arthritis Rheum* 1995;38:S242.
- [27] Meeusen R, Handelberg F, Framhout L, Daenis S. Influence de la cryothérapie (Cryotron[®]) sur la douleur et l'inflammation après arthroscopie de l'épaule. *Kinésither Sc* 2004;450:11–7.
- [28] Saito N, Horiuchi H, Kobayashi S, Nawata M, Takaoka K. Continuous local cooling for pain relief following total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2004;19:334–7.
- [29] Rozenblat M. Utilisation simultanée des ondes de choc radial et de la cryothérapie gazeuse hyperbare en cabinet de traumatologie sportive. À propos de 333 cas. *J Traumatol Sport* 2003;24:211–8.
- [30] Brunet-Guedj E, Brunet B, Girardier J, Renaud E, Daubard M, Manigand R. Évaluation de la cryothérapie gazeuse dans le traitement des tendinopathies. *Sport Med* 2001;137:22–4.
- [31] Laureano Filho JR, de Oliveira e Silva ED, Batista CI, Gouveia FM. The influence of cryotherapy on reduction of swelling, pain and trismus after third-molar extraction: a preliminary study. *J Am Dent Assoc* 2005;136:774–8.
- [32] Hochberg J. A randomized prospective study to assess the efficacy of two cold-therapy treatments following carpal tunnel release. *J Hand Ther* 2001;14:208–15.
- [33] L'Her E, Direr MA, Duquesne F, Boles JM. Étude préliminaire de l'analgésie par cryothérapie au cours de la ponction artérielle. *Douleur* 2004;14:219–22.