UNIVERSITE MOHAMMED V - RABAT

FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT-

ANNEE: 2018 *THESE N°: 41*

CRYOTHERAPIE :

EFFETS ANTI-INFECTIEUX ET CONSEIL A L'OFFICINE

THESE

Présentée et soutenue publiquement le : ……..

PAR

Mr. Mohammed Achraf AZROUGUER

Né le 01 Juillet 1978 à Rabat

Pour l'Obtention du Doctorat en Pharmacie

MOTS CLES : Cryothérapie – Froid – Choc thermique – Récupération sportive – Anti-inflammatoire.

JURY

Mr. M. ZOUHDI Professeur de Microbiologie	**PRESIDENT**
Mr. Y. SEKHSOKH Professeur de Microbiologie	**RAPPORTEUR**
Mme. S. EL HAMZAOUI Professeur de Microbiologie	**JUGES**
Mme. M. CHADLI Professeur de Microbiologie	

سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا

إنك أنت العليم الحكيم

سورة البقرة: الآية: 31

UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT

FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT

DOYENS HONORAIRES :

1962 – 1969 : Professeur Abdelmalek FARAJ
1969 – 1974 : Professeur Abdellatif BERBICH
1974 – 1981 : Professeur Bachir LAZRAK
1981 – 1989 : Professeur Taieb CHKILI
1989 – 1997 : Professeur Mohamed Tahar ALAOUI
1997 – 2003 : Professeur Abdelmajid BELMAHI
2003 – 2013 : Professeur Najia HAJJAJ - HASSOUNI

ADMINISTRATION :

Doyen : Professeur Mohamed ADNAOUI
Vice Doyen chargé des Affaires Académiques et estudiantines
Professeur Mohammed AHALLAT
Vice Doyen chargé de la Recherche et de la Coopération
Professeur Taoufiq DAKKA
Vice Doyen chargé des Affaires Spécifiques à la Pharmacie
Professeur Jamal TAOUFIK
Secrétaire Général : Mr. Mohamed KARRA

1- ENSEIGNANTS-CHERCHEURS MEDECINS

ET
PHARMACIENS

PROFESSEURS :

Décembre 1984

Pr. MAAOUNI Abdelaziz	Médecine Interne – ***Clinique Royale***
Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajdi	Anesthésie -Réanimation
Pr. SETTAF Abdellatif	pathologie Chirurgicale

Novembre et Décembre 1985

Pr. BENSAID Younes	Pathologie Chirurgicale

Janvier, Février et Décembre 1987

Pr. CHAHED OUAZZANI Houria	Gastro-Entérologie
Pr. LACHKAR Hassan	Médecine Interne
Pr. YAHYAOUI Mohamed	Neurologie

Décembre 1988

Pr. BENHAMAMOUCH Mohamed Najib	Chirurgie Pédiatrique
Pr. DAFIRI Rachida	Radiologie

Décembre 1989

Pr. ADNAOUI Mohamed	Médecine Interne –***Doyen de la FMPR***
Pr. CHAD Bouziane	Pathologie Chirurgicale
Pr. OUAZZANI Taïbi Mohamed Réda	Neurologie

Janvier et Novembre 1990

Pr. CHKOFF Rachid	Pathologie Chirurgicale
Pr. HACHIM Mohammed*	Médecine-Interne
Pr. KHARBACH Aîcha	Gynécologie -Obstétrique
Pr. MANSOURI Fatima	Anatomie-Pathologique
Pr. TAZI Saoud Anas	Anesthésie Réanimation

Février Avril Juillet et Décembre 1991

Pr. AL HAMANY Zaîtounia	Anatomie-Pathologique
Pr. AZZOUZI Abderrahim	Anesthésie Réanimation –***Doyen de la FMPO***
Pr. BAYAHIA Rabéa	Néphrologie
Pr. BELKOUCHI Abdelkader	Chirurgie Générale
Pr. BENCHEKROUN Belabbes Abdellatif	Chirurgie Générale
Pr. BENSOUDA Yahia	Pharmacie galénique
Pr. BERRAHO Amina	Ophtalmologie
Pr. BEZZAD Rachid	Gynécologie Obstétrique
Pr. CHABRAOUI Layachi	Biochimie et Chimie
Pr. CHERRAH Yahia	Pharmacologie
Pr. CHOKAIRI Omar	Histologie Embryologie
Pr. KHATTAB Mohamed	Pédiatrie
Pr. SOULAYMANI Rachida	Pharmacologie – ***Dir. du Centre National PV***
Pr. TAOUFIK Jamal	Chimie thérapeutique ***V.D à la pharmacie+Dir du CEDOC***

Décembre 1992

Pr. AHALLAT Mohamed	Chirurgie Générale V.D Aff. Acad. et Estud
Pr. BENSOUDA Adil	Anesthésie Réanimation
Pr. BOUJIDA Mohamed Najib	Radiologie
Pr. CHAHED OUAZZANI Laaziza	Gastro-Entérologie
Pr. CHRAIBI Chafiq	Gynécologie Obstétrique
Pr. DEHAYNI Mohamed*	Gynécologie Obstétrique
Pr. EL OUAHABI Abdessamad	Neurochirurgie
Pr. FELLAT Rokaya	Cardiologie
Pr. GHAFIR Driss*	Médecine Interne
Pr. JIDDANE Mohamed	Anatomie
Pr. TAGHY Ahmed	Chirurgie Générale
Pr. ZOUHDI Mimoun	Microbiologie

Mars 1994

Pr. BENJAAFAR Noureddine	Radiothérapie
Pr. BEN RAIS Nozha	Biophysique
Pr. CAOUI Malika	Biophysique

Pr. CHRAIBI Abdelmjid	Endocrinologie et Maladies Métaboliques ***Doyen de la FMPA***
Pr. EL AMRANI Sabah	Gynécologie Obstétrique
Pr. EL BARDOUNI Ahmed	Traumato-Orthopédie
Pr. EL HASSANI My Rachid	Radiologie
Pr. ERROUGANI Abdelkader	Chirurgie Générale- ***Directeur CHIS***
Pr. ESSAKALI Malika	Immunologie
Pr. ETTAYEBI Fouad	Chirurgie Pédiatrique
Pr. HADRI Larbi*	Médecine Interne
Pr. HASSAM Badredine	Dermatologie
Pr. IFRINE Lahssan	Chirurgie Générale
Pr. JELTHI Ahmed	Anatomie Pathologique
Pr. MAHFOUD Mustapha	Traumatologie – Orthopédie
Pr. RHRAB Brahim	Gynécologie –Obstétrique
Pr. SENOUCI Karima	Dermatologie

Mars 1994

Pr. ABBAR Mohamed*	Urologie
Pr. ABDELHAK M'barek	Chirurgie – Pédiatrique
Pr. BELAIDI Halima	Neurologie
Pr. BENTAHILA Abdelali	Pédiatrie
Pr. BENYAHIA Mohammed Ali	Gynécologie – Obstétrique
Pr. BERRADA Mohamed Saleh	Traumatologie – Orthopédie
Pr. CHAMI Ilham	Radiologie
Pr. CHERKAOUI Lalla Ouafae	Ophtalmologie
Pr. JALIL Abdelouahed	Chirurgie Générale
Pr. LAKHDAR Amina	Gynécologie Obstétrique
Pr. MOUANE Nezha	Pédiatrie

Mars 1995

Pr. ABOUQUAL Redouane	Réanimation Médicale
Pr. AMRAOUI Mohamed	Chirurgie Générale
Pr. BAIDADA Abdelaziz	Gynécologie Obstétrique
Pr. BARGACH Samir	Gynécologie Obstétrique
Pr. CHAARI Jilali*	Médecine Interne
Pr. DIMOU M'barek*	Anesthésie Réanimation
Pr. DRISSI KAMILI Med Nordine*	Anesthésie Réanimation
Pr. EL MESNAOUI Abbes	Chirurgie Générale
Pr. ESSAKALI HOUSSYNI Leila	Oto-Rhino-Laryngologie
Pr. HDA Abdelhamid*	Cardiologie - ***Directeur HMI Med V***
Pr. IBEN ATTYA ANDALOUSSI Ahmed	Urologie
Pr. OUAZZANI CHAHDI Bahia	Ophtalmologie
Pr. SEFIANI Abdelaziz	Génétique
Pr. ZEGGWAGH Amine Ali	Réanimation Médicale

Décembre 1996

Pr. AMIL Touriya*	Radiologie
Pr. BELKACEM Rachid	Chirurgie Pédiatrie
Pr. BOULANOUAR Abdelkrim	Ophtalmologie
Pr. EL ALAMI EL FARICHA EL Hassan	Chirurgie Générale
Pr. GAOUZI Ahmed	Pédiatrie
Pr. MAHFOUDI M'barek*	Radiologie

Pr. OUADGHIRI Mohamed	Traumatologie-Orthopédie
Pr. OUZEDDOUN Naima	Néphrologie
Pr. ZBIR EL Mehdi*	Cardiologie

Novembre 1997

Pr. ALAMI Mohamed Hassan	Gynécologie-Obstétrique
Pr. BEN SLIMANE Lounis	Urologie
Pr. BIROUK Nazha	Neurologie
Pr. ERREIMI Naima	Pédiatrie
Pr. FELLAT Nadia	Cardiologie
Pr. HAIMEUR Charki*	Anesthésie Réanimation
Pr. KADDOURI Noureddine	Chirurgie Pédiatrique
Pr. KOUTANI Abdellatif	Urologie
Pr. LAHLOU Mohamed Khalid	Chirurgie Générale
Pr. MAHRAOUI CHAFIQ	Pédiatrie
Pr. TAOUFIQ Jallal	Psychiatrie
Pr. YOUSFI MALKI Mounia	Gynécologie Obstétrique

Novembre 1998

Pr. AFIFI RAJAA	Gastro-Entérologie
Pr. BENOMAR ALI	Neurologie – ***Doyen de la FMP Abulcassis***
Pr. BOUGTAB Abdesslam	Chirurgie Générale
Pr. ER RIHANI Hassan	Oncologie Médicale
Pr. BENKIRANE Majid*	Hématologie
Pr. KHATOURI ALI*	Cardiologie

Janvier 2000

Pr. ABID Ahmed*	Pneumophtisiologie
Pr. AIT OUMAR Hassan	Pédiatrie
Pr. BENJELLOUN Dakhama Badr.Sououd	Pédiatrie
Pr. BOURKADI Jamal-Eddine	Pneumo-phtisiologie
Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Al Montacer	Chirurgie Générale
Pr. ECHARRAB El Mahjoub	Chirurgie Générale
Pr. EL FTOUH Mustapha	Pneumo-phtisiologie
Pr. EL MOSTARCHID Brahim*	Neurochirurgie
Pr. ISMAILI Hassane*	Traumatologie Orthopédie- ***Dir. Hop. Av. Marr.***
Pr. MAHMOUDI Abdelkrim*	Anesthésie-Réanimation ***Inspecteur du SSM***
Pr. TACHINANTE Rajae	Anesthésie-Réanimation
Pr. TAZI MEZALEK Zoubida	Médecine Interne

Novembre 2000

Pr. AIDI Saadia	Neurologie
Pr. AJANA Fatima Zohra	Gastro-Entérologie
Pr. BENAMR Said	Chirurgie Générale
Pr. CHERTI Mohammed	Cardiologie
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Selma	Anesthésie-Réanimation
Pr. EL HASSANI Amine	Pédiatrie ***Directeur Hop. Chekikh Zaied***
Pr. EL KHADER Khalid	Urologie
Pr. EL MAGHRAOUI Abdellah*	Rhumatologie
Pr. GHARBI Mohamed El Hassan	Endocrinologie et Maladies Métaboliques
Pr. MAHASSINI Najat	Anatomie Pathologique

Pr. MDAGHRI ALAOUI Asmae	Pédiatrie
Pr. ROUIMI Abdelhadi*	Neurologie

Décembre 2000

Pr. ZOHAIR ABDELAH*	ORL

Décembre 2001

Pr. BALKHI Hicham*	Anesthésie-Réanimation
Pr. BENABDELJLIL Maria	Neurologie
Pr. BENAMAR Loubna	Néphrologie
Pr. BENAMOR Jouda	Pneumo-phtisiologie
Pr. BENELBARHDADI Imane	Gastro-Entérologie
Pr. BENNANI Rajae	Cardiologie
Pr. BENOUACHANE Thami	Pédiatrie
Pr. BEZZA Ahmed*	Rhumatologie
Pr. BOUCHIKHI IDRISSI Med Larbi	Anatomie
Pr. BOUMDIN El Hassane*	Radiologie
Pr. CHAT Latifa	Radiologie
Pr. DAALI Mustapha*	Chirurgie Générale
Pr. DRISSI Sidi Mourad*	Radiologie
Pr. EL HIJRI Ahmed	Anesthésie-Réanimation
Pr. EL MAAQILI Moulay Rachid	Neuro-Chirurgie
Pr. EL MADHI Tarik	Chirurgie-Pédiatrique
Pr. EL OUNANI Mohamed	Chirurgie Générale
Pr. ETTAIR Said	Pédiatrie ***Directeur. Hop.d'Enfants***
Pr. GAZZAZ Miloudi*	Neuro-Chirurgie
Pr. HRORA Abdelmalek	Chirurgie Générale
Pr. KABBAJ Saad	Anesthésie-Réanimation
Pr. KABIRI EL Hassane*	Chirurgie Thoracique
Pr. LAMRANI Moulay Omar	Traumatologie Orthopédie
Pr. LEKEHAL Brahim	Chirurgie Vasculaire Périphérique
Pr. MAHASSIN Fattouma*	Médecine Interne
Pr. MEDARHRI Jalil	Chirurgie Générale
Pr. MIKDAME Mohammed*	Hématologie Clinique
Pr. MOHSINE Raouf	Chirurgie Générale
Pr. NOUINI Yassine	Urologie ***Directeur Hôpital Ibn Sina***
Pr. SABBAH Farid	Chirurgie Générale
Pr. SEFIANI Yasser	Chirurgie Vasculaire Périphérique
Pr. TAOUFIQ BENCHEKROUN Soumia	Pédiatrie

Décembre 2002

Pr. AL BOUZIDI Abderrahmane*	Anatomie Pathologique
Pr. AMEUR Ahmed *	Urologie
Pr. AMRI Rachida	Cardiologie
Pr. AOURARH Aziz*	Gastro-Entérologie
Pr. BAMOU Youssef *	Biochimie-Chimie
Pr. BELMEJDOUB Ghizlene*	Endocrinologie et Maladies Métaboliques
Pr. BENZEKRI Laila	Dermatologie
Pr. BENZZOUBEIR Nadia	Gastro-Entérologie

Pr. BERNOUSSI Zakiya	Anatomie Pathologique
Pr. BICHRA Mohamed Zakariya*	Psychiatrie
Pr. CHOHO Abdelkrim *	Chirurgie Générale
Pr. CHKIRATE Bouchra	Pédiatrie
Pr. EL ALAMI EL FELLOUS Sidi Zouhair	Chirurgie Pédiatrique
Pr. EL HAOURI Mohamed *	Dermatologie
Pr. FILALI ADIB Abdelhai	Gynécologie Obstétrique
Pr. HAJJI Zakia	Ophtalmologie
Pr. IKEN Ali	Urologie
Pr. JAAFAR Abdeloihab*	Traumatologie Orthopédie
Pr. KRIOUILE Yamina	Pédiatrie
Pr. LAGHMARI Mina	Ophtalmologie
Pr. MABROUK Hfid*	Traumatologie Orthopédie
Pr. MOUSSAOUI RAHALI Driss*	Gynécologie Obstétrique
Pr. OUJILAL Abdelilah	Oto-Rhino-Laryngologie
Pr. RACHID Khalid *	Traumatologie Orthopédie
Pr. RAISS Mohamed	Chirurgie Générale
Pr. RGUIBI IDRISSI Sidi Mustapha*	Pneumophtisiologie
Pr. RHOU Hakima	Néphrologie
Pr. SIAH Samir *	Anesthésie Réanimation
Pr. THIMOU Amal	Pédiatrie
Pr. ZENTAR Aziz*	Chirurgie Générale

Janvier 2004

Pr. ABDELLAH El Hassan	Ophtalmologie
Pr. AMRANI Mariam	Anatomie Pathologique
Pr. BENBOUZID Mohammed Anas	Oto-Rhino-Laryngologie
Pr. BENKIRANE Ahmed*	Gastro-Entérologie
Pr. BOUGHALEM Mohamed*	Anesthésie Réanimation
Pr. BOULAADAS Malik	Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
Pr. BOURAZZA Ahmed*	Neurologie
Pr. CHAGAR Belkacem*	Traumatologie Orthopédie
Pr. CHERRADI Nadia	Anatomie Pathologique
Pr. EL FENNI Jamal*	Radiologie
Pr. EL HANCHI ZAKI	Gynécologie Obstétrique
Pr. EL KHORASSANI Mohamed	Pédiatrie
Pr. EL YOUNASSI Badreddine*	Cardiologie
Pr. HACHI Hafid	Chirurgie Générale
Pr. JABOUIRIK Fatima	Pédiatrie
Pr. KHARMAZ Mohamed	Traumatologie Orthopédie
Pr. MOUGHIL Said	Chirurgie Cardio-Vasculaire
Pr. OUBAAZ Abdelbarre*	Ophtalmologie
Pr. TARIB Abdelilah*	Pharmacie Clinique
Pr. TIJAMI Fouad	Chirurgie Générale
Pr. ZARZUR Jamila	Cardiologie

Janvier 2005

Pr. ABBASSI Abdellah	Chirurgie Réparatrice et Plastique
Pr. AL KANDRY Sif Eddine*	Chirurgie Générale
Pr. ALLALI Fadoua	Rhumatologie

Pr. AMAZOUZI Abdellah	Ophtalmologie
Pr. AZIZ Noureddine*	Radiologie
Pr. BAHIRI Rachid	Rhumatologie
Pr. BARKAT Amina	Pédiatrie
Pr. BENYASS Aatif	Cardiologie
Pr. BERNOUSSI Abdelghani	Ophtalmologie
Pr. DOUDOUH Abderrahim*	Biophysique
Pr. EL HAMZAOUI Sakina*	Microbiologie
Pr. HAJJI Leila	Cardiologie *(mise en disponibilité)*
Pr. HESSISSEN Leila	Pédiatrie
Pr. JIDAL Mohamed*	Radiologie
Pr. LAAROUSSI Mohamed	Chirurgie Cardio-vasculaire
Pr. LYAGOUBI Mohammed	Parasitologie
Pr. NIAMANE Radouane*	Rhumatologie
Pr. RAGALA Abdelhak	Gynécologie Obstétrique
Pr. SBIHI Souad	Histo-Embryologie Cytogénétique
Pr. ZERAIDI Najia	Gynécologie Obstétrique

Décembre 2005

Pr. CHANI Mohamed	Anesthésie Réanimation

Avril 2006

Pr. ACHEMLAL Lahsen*	Rhumatologie
Pr. AKJOUJ Said*	Radiologie
Pr. BELMEKKI Abdelkader*	Hématologie
Pr. BENCHEIKH Razika	O.R.L
Pr. BIYI Abdelhamid*	Biophysique
Pr. BOUHAFS Mohamed El Amine	Chirurgie - Pédiatrique
Pr. BOULAHYA Abdellatif*	Chirurgie Cardio – Vasculaire
Pr. CHENGUETI ANSARI Anas	Gynécologie Obstétrique
Pr. DOGHMI Nawal	Cardiologie
Pr. FELLAT Ibtissam	Cardiologie
Pr. FAROUDY Mamoun	Anesthésie Réanimation
Pr. HARMOUCHE Hicham	Médecine Interne
Pr. HANAFI Sidi Mohamed*	Anesthésie Réanimation
Pr. IDRISS LAHLOU Amine*	Microbiologie
Pr. JROUNDI Laila	Radiologie
Pr. KARMOUNI Tariq	Urologie
Pr. KILI Amina	Pédiatrie
Pr. KISRA Hassan	Psychiatrie
Pr. KISRA Mounir	Chirurgie – Pédiatrique
Pr. LAATIRIS Abdelkader*	Pharmacie Galénique
Pr. LMIMOUNI Badreddine*	Parasitologie
Pr. MANSOURI Hamid*	Radiothérapie
Pr. OUANASS Abderrazzak	Psychiatrie
Pr. SAFI Soumaya*	Endocrinologie
Pr. SEKKAT Fatima Zahra	Psychiatrie
Pr. SOUALHI Mouna	Pneumo – Phtisiologie
Pr. TELLAL Saida*	Biochimie
Pr. ZAHRAOUI Rachida	Pneumo – Phtisiologie

Octobre 2007

Pr. ABIDI Khalid	Réanimation médicale
Pr. ACHACHI Leila	Pneumo phtisiologie
Pr. ACHOUR Abdessamad*	Chirurgie générale
Pr. AIT HOUSSA Mahdi*	Chirurgie cardio vasculaire
Pr. AMHAJJI Larbi*	Traumatologie orthopédie
Pr. AOUFI Sarra	Parasitologie
Pr. BAITE Abdelouahed*	Anesthésie réanimation ***Directeur ERSM***
Pr. BALOUCH Lhousaine*	Biochimie-chimie
Pr. BENZIANE Hamid*	Pharmacie clinique
Pr. BOUTIMZINE Nourdine	Ophtalmologie
Pr. CHARKAOUI Naoual*	Pharmacie galénique
Pr. EHIRCHIOU Abdelkader*	Chirurgie générale
Pr. ELABSI Mohamed	Chirurgie générale
Pr. EL MOUSSAOUI Rachid	Anesthésie réanimation
Pr. EL OMARI Fatima	Psychiatrie
Pr. GHARIB Noureddine	Chirurgie plastique et réparatrice
Pr. HADADI Khalid*	Radiothérapie
Pr. ICHOU Mohamed*	Oncologie médicale
Pr. ISMAILI Nadia	Dermatologie
Pr. KEBDANI Tayeb	Radiothérapie
Pr. LALAOUI SALIM Jaafar*	Anesthésie réanimation
Pr. LOUZI Lhoussain*	Microbiologie
Pr. MADANI Naoufel	Réanimation médicale
Pr. MAHI Mohamed*	Radiologie
Pr. MARC Karima	Pneumo phtisiologie
Pr. MASRAR Azlarab	Hématologie biologique
Pr. MRABET Mustapha*	Médecine préventive santé publique et hygiène
Pr. MRANI Saad*	Virologie
Pr. OUZZIF Ez zohra*	Biochimie-chimie
Pr. RABHI Monsef*	Médecine interne
Pr. RADOUANE Bouchaib*	Radiologie
Pr. SEFFAR Myriame	Microbiologie
Pr. SEKHSOKH Yessine*	Microbiologie
Pr. SIFAT Hassan*	Radiothérapie
Pr. TABERKANET Mustafa*	Chirurgie vasculaire périphérique
Pr. TACHFOUTI Samira	Ophtalmologie
Pr. TAJDINE Mohammed Tariq*	Chirurgie générale
Pr. TANANE Mansour*	Traumatologie orthopédie
Pr. TLIGUI Houssain	Parasitologie
Pr. TOUATI Zakia	Cardiologie

Décembre 2007

Pr. DOUHAL ABDERRAHMAN	Ophtalmologie

Décembre 2008

Pr ZOUBIR Mohamed*	Anesthésie Réanimation
Pr TAHIRI My El Hassan*	Chirurgie Générale

Mars 2009

Pr. ABOUZAHIR Ali*	Médecine interne
Pr. AGDR Aomar*	Pédiatre
Pr. AIT ALI Abdelmounaim*	Chirurgie Générale
Pr. AIT BENHADDOU El hachmia	Neurologie
Pr. AKHADDAR Ali*	Neuro-chirurgie
Pr. ALLALI Nazik	Radiologie
Pr. AMINE Bouchra	Rhumatologie
Pr. ARKHA Yassir	Neuro-chirurgie
Pr. BELYAMANI Lahcen*	Anesthésie Réanimation
Pr. BJIJOU Younes	Anatomie
Pr. BOUHSAIN Sanae*	Biochimie-chimie
Pr. BOUI Mohammed*	Dermatologie
Pr. BOUNAIM Ahmed*	Chirurgie Générale
Pr. BOUSSOUGA Mostapha*	Traumatologie orthopédique
Pr. CHAKOUR Mohammed *	Hématologie biologique
Pr. CHTATA Hassan Toufik*	Chirurgie vasculaire périphérique
Pr. DOGHMI Kamal*	Hématologie clinique
Pr. EL MALKI Hadj Omar	Chirurgie Générale
Pr. EL OUENNASS Mostapha*	Microbiologie
Pr. ENNIBI Khalid*	Médecine interne
Pr. FATHI Khalid	Gynécologie obstétrique
Pr. HASSIKOU Hasna *	Rhumatologie
Pr. KABBAJ Nawal	Gastro-entérologie
Pr. KABIRI Meryem	Pédiatrie
Pr. KARBOUBI Lamya	Pédiatrie
Pr. L'KASSIMI Hachemi*	Microbiologie ***Directeur Hôpital My Ismail***
Pr. LAMSAOURI Jamal*	Chimie Thérapeutique
Pr. MARMADE Lahcen	Chirurgie Cardio-vasculaire
Pr. MESKINI Toufik	Pédiatrie
Pr. MESSAOUDI Nezha *	Hématologie biologique
Pr. MSSROURI Rahal	Chirurgie Générale
Pr. NASSAR Ittimade	Radiologie
Pr. OUKERRAJ Latifa	Cardiologie
Pr. RHORFI Ismail Abderrahmani *	Pneumo-phtisiologie

PROFESSEURS AGREGES :

Octobre 2010

Pr. ALILOU Mustapha	Anesthésie réanimation
Pr. AMEZIANE Taoufiq*	Médecine interne
Pr. BELAGUID Abdelaziz	Physiologie
Pr. BOUAITY Brahim*	ORL
Pr. CHADLI Mariama*	Microbiologie
Pr. CHEMSI Mohamed*	Médecine aéronautique
Pr. DAMI Abdellah*	Biochimie chimie
Pr. DARBI Abdellatif*	Radiologie

Pr. DENDANE Mohammed Anouar	Chirurgie pédiatrique
Pr. EL HAFIDI Naima	Pédiatrie
Pr. EL KHARRAS Abdennasser*	Radiologie
Pr. EL MAZOUZ Samir	Chirurgie plastique et réparatrice
Pr. EL SAYEGH Hachem	Urologie
Pr. ERRABIH Ikram	Gastro entérologie
Pr. LAMALMI Najat	Anatomie pathologique
Pr. MOSADIK Ahlam	Anesthésie Réanimation
Pr. MOUJAHID Mountassir*	Chirurgie générale
Pr. NAZIH Mouna*	Hématologie biologique
Pr. ZOUAIDIA Fouad	Anatomie pathologique

Mai 2012

Pr. AMRANI Abdelouahed	Chirurgie Pédiatrique
Pr. ABOUELALAA Khalil*	Anesthésie Réanimation
Pr. BELAIZI Mohamed*	Psychiatrie
Pr. BENCHEBBA Driss*	Traumatologie Orthopédique
Pr. DRISSI Mohamed*	Anesthésie Réanimation
Pr. EL ALAOUI MHAMDI Mouna	Chirurgie Générale
Pr. EL KHATTABI Abdessadek*	Médecine Interne
Pr. EL OUAZZANI Hanane*	Pneumophtisiologie
Pr. ER-RAJI Mounir	Chirurgie Pédiatrique
Pr. JAHID Ahmed	Anatomie pathologique
Pr. MEHSSANI Jamal*	Psychiatrie
Pr. RAISSOUNI Maha*	Cardiologie

Février 2013

Pr. AHID Samir	Pharmacologie – Chimie
Pr. AIT EL CADI Mina	Toxicologie
Pr. AMRANI HANCHI Laila	Gastro-Entérologie
Pr. AMOUR Mourad	Anesthésie Réanimation
Pr. AWAB Almahdi	Anesthésie Réanimation
Pr. BELAYACHI Jihane	Réanimation Médicale
Pr. BELKHADIR Zakaria Houssain	Anesthésie Réanimation
Pr. BENCHEKROUN Laila	Biochimie-Chimie
Pr. BENKIRANE Souad	Hématologie biologique
Pr. BENNANA Ahmed*	Informatique Pharmaceutique
0.	
Pr. BENSGHIR Mustapha*	Anesthésie Réanimation
Pr. BENYAHIA Mohammed*	Néphrologie
Pr. BOUATIA Mustapha	Chimie Analytique
Pr. BOUABID Ahmed Salim*	Traumatologie Orthopédie
Pr. BOUTARBOUCH Mahjouba	Anatomie
Pr. CHAIB Ali*	Cardiologie
Pr. DENDANE Tarek	Réanimation Médicale
Pr. DINI Nouzha*	Pédiatrie
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Mohamed Ali	Anesthésie Réanimation
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Najwa	Radiologie

Pr. ELFATEMI Nizare	Neuro-Chirurgie
Pr. EL GUERROUJ Hasnae	Médecine Nucléaire
Pr. EL HARTI Jaouad	Chimie Thérapeutique
Pr. EL JOUDI Rachid*	Toxicologie
Pr. EL KABABRI Maria	Pédiatrie
Pr. EL KHANNOUSSI Basma	Anatomie Pathologie
Pr. EL KHLOUFI Samir	Anatomie
Pr. EL KORAICHI Alae	Anesthésie Réanimation
Pr. EN-NOUALI Hassane*	Radiologie
Pr. ERRGUIG Laila	Physiologie
Pr. FIKRI Meryim	Radiologie
Pr. GHFIR Imade	Médecine Nucléaire
Pr. IMANE Zineb	Pédiatrie
Pr. IRAQI Hind	Endocrinologie et maladies métaboliques
Pr. KABBAJ Hakima	Microbiologie
Pr. KADIRI Mohamed*	Psychiatrie
Pr. LATIB Rachida	Radiologie
Pr. MAAMAR Mouna Fatima Zahra	Médecine Interne
Pr. MEDDAH Bouchra	Pharmacologie
Pr. MELHAOUI Adyl	Neuro-chirurgie
Pr. MRABTI Hind	Oncologie Médicale
Pr. NEJJARI Rachid	Pharmacognosie
Pr. OUBEJJA Houda	Chirurgie Pédiatrique
Pr. OUKABLI Mohamed*	Anatomie Pathologique
Pr. RAHALI Younes	Pharmacie Galénique
Pr. RATBI Ilham	Génétique
Pr. RAHMANI Mounia	Neurologie
Pr. REDA Karim*	Ophtalmologie
Pr. REGRAGUI Wafa	Neurologie
Pr. RKAIN Hanan	Physiologie
Pr. ROSTOM Samira	Rhumatologie
Pr. ROUAS Lamiaa	Anatomie Pathologique
Pr. ROUIBAA Fedoua*	Gastro-Entérologie
Pr. SALIHOUN Mouna	Gastro-Entérologie
Pr. SAYAH Rochde	Chirurgie Cardio-Vasculaire
Pr. SEDDIK Hassan*	Gastro-Entérologie
Pr. ZERHOUNI Hicham	Chirurgie Pédiatrique
Pr. ZINE Ali*	Traumatologie Orthopédie

Avril 2013

Pr. EL KHATIB Mohamed Karim*	Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
Pr. GHOUNDALE Omar*	Urologie
Pr. ZYANI Mohammad*	Médecine Interne

Chef de Service des Ressources Humaines
Abdellah KHALLOUD

RABAT

Enseignants Militaires

MARS 2014

ACHIR ABDELLAH	Chirurgie Thoracique
BENCHAKROUN MOHAMMED	Traumatologie- Orthopédie
BOUCHIKH MOHAMMED	Chirurgie Thoracique
EL KABBAJ DRISS	Néphrologie
EL MACHTANI IDRISSI SAMIRA	Biochimie-Chimie
HARDIZI HOUYAM	Histologie- Embryologie-Cytogénétique
HASSANI AMALE	Pédiatrie
HERRAK LAILA	Pneumologie
JANANE ABDELLA TIF	Urologie
JEAIDI ANASS	Hématologie Biologique
KOUACH JAOUAD	Génécologie-Obstétrique
LEMNOUER ABDELHAY	Microbiologie
MAKRAM SANAA	Pharmacologie
OULAHYANE RACHID	Chirurgie Pédiatrique
RHISSASSI MOHAMED JMFAR	CCV
SABRY MOHAMED	Cardiologie
SEKKACH YOUSSEF	Médecine Interne
TAZL MOUKBA. :LA.KLA.	Génécologie-Obstétrique

***Enseignants Militaires**

DECEMBRE 2014

ABILKACEM RACHID'	Pédiatrie
AIT BOUGHIMA FADILA	Médecine Légale
BEKKALI HICHAM	Anesthésie-Réanimation
BENAZZOU SALMA	Chirurgie Maxillo-Faciale
BOUABDELLAH MOUNYA	Biochimie-Chimie
BOUCHRIK MOURAD	Parasitologie
DERRAJI SOUFIANE	Pharmacie Clinique
DOBLALI TAOUFIK	Microbiologie
EL AYOUBI EL IDRISSI ALI	Anatomie
EL GHADBANE ABDEDAIM HATIM	Anesthésie-Réanimation
EL MARJANY MOHAMMED	Radiothérapie
FE]JAL NAWFAL	Chirurgie Réparatrice et Plastique
JAHIDI MOHAMED	O.R.L
LAKHAL ZOUHAIR	Cardiologie
OUDGHIRI NEZHA	Anesthésie-Réanimation
Rami Mohamed	Chirurgie Pédiatrique
SABIR MARIA	Psychiatrie
SBAI IDRISSI KARIM	Médecine préventive, santé publique et Hyg.

Enseignants *Militaires

AOUT 2015

Meziane meryem	Dermatologie
Tahri latifa	Rhumatologie

JANVIER 2016

BENKABBOU AMINE	Chirurgie Générale
EL ASRI FOUAD	Ophtalmologie
ERRAMI NOUREDDINE	O.R.L
NITASSI SOPHIA	O.R.L

2- ENSEIGNANTS – CHERCHEURS SCIENTIFIQUES

PROFESSEURS / PRs. HABILITES

Pr. ABOUDRAR Saadia	Physiologie
Pr. ALAMI OUHABI Naima	Biochimie – chimie
Pr. ALAOUI KATIM	Pharmacologie
Pr. ALAOUI SLIMANI Lalla Naïma	Histologie-Embryologie
Pr. ANSAR M'hammed	Chimie Organique et Pharmacie Chimique
Pr. BOUHOUCHE Ahmed	Génétique Humaine
Pr. BOUKLOUZE Abdelaziz	Applications Pharmaceutiques
Pr. BOURJOUANE Mohamed	Microbiologie
Pr. CHAHED OUAZZANI Lalla Chadia	Biochimie – chimie
Pr. DAKKA Taoufiq	Physiologie
Pr. DRAOUI Mustapha	Chimie Analytique
Pr. EL GUESSABI Lahcen	Pharmacognosie
Pr. ETTAIB Abdelkader	Zootechnie
Pr. FAOUZI Moulay El Abbes	Pharmacologie
Pr. HAMZAOUI Laila	Biophysique
Pr. HMAMOUCHI Mohamed	Chimie Organique
Pr. IBRAHIMI Azeddine	Biologie moléculaire
Pr. KHANFRI Jamal Eddine	Biologie
Pr. OULAD BOUYAHYA IDRISSI Med	Chimie Organique
Pr. REDHA Ahlam	Chimie
Pr. TOUATI Driss	Pharmacognosie
Pr. ZAHIDI Ahmed	Pharmacologie
Pr. ZELLOU Amina	Chimie Organique

Mise à jour le 14/12/2016 par le
Service des Ressources Humaines

Dédicaces

A Allah

Le très Haut, le très Grand, le Clément, L'Omniscient,

l'Omnipotent. Le Tout Puissant, le très miséricordieux

Qui m'a inspiré

Qui m'a guidé dans le bon chemin Je vous dois ce que je suis

devenu Louanges et remerciements

Pour votre clémence et miséricorde

Au Prophète Mohammed paix et salut sur lui.

À mes très chers parents

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessés de faire depuis ma naissance.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Allah, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A mes sœurs : Khadija et Abir.

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Allah, le tout puissant, vous protège et vous garde.

A mes chers amis

Au souvenir des moments qu'on a passé ensemble.

Vous m'avez offert ce qu'il y'a de plus cher : l'amitié.

Que notre amitié durera pour toujours.

Remerciements

À Notre Maître et Président de Thèse

Monsieur ZOUHDI MIMOUN

Professeur de microbiologie

Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider notre jury de thèse.

Nous vous exprimons notre grande admiration pour vos hautes qualités morales, humaines et professionnelles.

Nous vous prions, cher Maître, d'accepter dans ce modeste travail le témoignage de notre haute considération, de notre profonde reconnaissance et de notre sincère respect.

À notre maitre et rapporteur de thèse

Monsieur SEKHSOKH YASSINE

Professeur de microbiologie

Je vous remercie énormément de m'avoir si bien aidé à mener à bien ce travail, vous n'avez jamais lésiné ni sur votre temps ni sur votre savoir.

Merci pour votre sympathie, votre gentillesse et votre totale disponibilité.

J'espère être digne de la confiance que vous avez placée en moi.

Qu'il me soit permis, chère maître, de vous exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour l'aide précieuse que vous m'avez accordée pour réaliser ce travail.

À NOTRE MAITRE ET JUGE DE THESE

MADAME CHADLI MARIAMA,

Professeur agrégée en microbiologie

Nous mesurons l'honneur que vous nous faites en acceptant de siéger parmi notre jury de thèse.

Qu'il me soit permis, Madame, de vous exprimer toute ma reconnaissance, mon respect et mon estime.

Veuillez trouver, Madame, l'expression de ma haute considération et ma profonde gratitude.

À Notre Maître et juge de Thèse

Madame El HAMZAOUI SAKINA,

Professeur de microbiologie

Nous sommes profondément reconnaissants de l'honneur que vous nous faite en acceptant de juger ce travail.

Nous avons apprécié votre accueil bienveillant, votre gentillesse ainsi que votre compréhension.

Veuillez trouver dans ce travail l'expression de notre grande attention et notre profond respect.

Liste des illustrations

Liste des abréviations

A.D.S : Action Dynamique Spécifique

AAV : Anastomoses Artério-Veineuses

ACTH : Hormone AdrénoCorticoTrope

AINS : Anti-Inflammatoire Non Stéroïdien

ASES : Shoulder and Elbow surgeons Shoulder Scale

CCE : Cryothérapie Corps Entier

CCP : Cryothérapie Corps Partiel

CEP : Cellule à Effet Peltier

CERS : Centre Européen de Rééducation réservé aux Sportifs

CFC : Chloro-Fluoro-Carbone

CGH : Cryothérapie Gazeuse Hyperbare

CK : Créatine Kinase

CRP : Protéine C-Réactive

DAS : Disease Activity Score

EVA : Echelle Visuelle Analogique

FSH : Hormone Folliculo-Stimulante

GH : Growth Hormon (Hormone de croissance)

GHRH : Growth Hormon Releasing Hormon (Hormone de libération de l'hormone de croissance)

HCFC : HydroChloroFluoroCarbone

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

LCA : Ligament Croisé Antérieur

LDH : DésHydrogénase Lactique

LH : Hormone Luteinisante

PEG2 : Prostaglandine E2

PF : Peak Flow (débitmètre de pointe)

SEP : Sclérose En Plaques

SNA : Système Nerveux Autonome

TRF : Thyrotropin Releasing Factor

TRH : Thyrotropin Releasing Hormon (Hormone Thyréotrope)

TSH : Thyrotropin Stimulating Hormon

VEMS : Volume Expiratoire Maximal par Seconde

VO_2 max : Volume d'Oxygène Maximum

Liste des figures

Figure 1 : Représentation de Rhazès soulageant les maux avec la température des aliments donnés aux patients 7

Figure 2 (A et B) : Ecorce et Noyau – température corporelle 12

Figure 3 : Equilibre entre thermogénèse et thermolyse pour la thermorégulation (Cours universitaire, Philippe Connes, Université des Antilles et de la Guyane) 15

Figure 4 : Répartition des principaux types de récepteurs tactiles dans la peau glabre et velue.....26

Figure 5 : Faisceaux spinothalamique ventral (à gauche) et latéral (à droite) 28

Figure 6 : Immersion dans un bain d'eau froide à 14°C après séance de rééducation d'une patiente traumatisée au poignet 36

Figure 7 : Poche traditionnelle de glace 37

Figure 8 : Packs à froid constitués de gel 40

Figure 9 : Cold Packs avec Sels de nitrate d'ammonium 42

Figure 10 : Appareil Cryocuff 43

Figure 11 : Système de cryothérapie Cryo Cuff 44

Figure 12 : Type de matériel utilisé en cryothérapie compressive intermittente et exemples d'utilisation 47

Figure 13 : Appareil de cryothérapie par conduction moderne UNIPHY Kryotur 600 49

Figure 14 :Appareil de cryothérapie par air pulsé 52

Figure 15 : Courbe d'équilibre du CO2 avec représentation du changement d'état en fonction de la pression et de la température 54

Figure 16 : Principe du fonctionnement de la cryothérapie gazeuse hyperbare au CO2 et son action au niveau de la peau 55

Figure 17 : Pistolet utilisé pour la cryothérapie gazeuse hyperbare au CO2 56

Figure 18 : Appareil de cryothérapie gazeuse hyperbare au CO2 Cryo One avec la bouteille de gaz et les recharges 56

Figure 19 : Pistolet d'éjection du gaz de l'appareil de cryothérapie gazeuse hyperbare au CO2, ses cartouches de gaz et sa bouteille de gaz 57

Figure 20 : Chlorure d'éthyle 60

Figure 21 : Spray froid surnommé « la bombe magique » par les sportifs 62

Figure 22 : Championnat du Monde de natation en eau glacée 63

Figure 23 : Immersion en eau froide après entraînement pour Usain Bolt l'athlète le plus titré de l'histoire des Jeux olympiques en sprint 64

Figure 24 : Chambre cryogénique (2 pièces). Criotec© 67

Figure 25 : Cabine individuelle « Cryosauna® » fonctionnant à l'azote liquide. Criotec© 68

Figure 26 : a - exemples de thermogrammes avant (A, B) et après (C, D) cryostimulation corps entier CCE ; b - exemples de thermogrammes avant (A, B) et après (C, D) cryostimulation corps partiel CCP 70

Figure 27 : Exemple de fiche médicale, avec recommandations et avis médical 71

Figure 28 : Stimulation sympathique 79

Figure 29 : Effets de la CCE chez le sportif 81

Figure 30 : Patient en CCE : Thomas Adamandopoulos, champion du monde de K-1 (forme de kick-boxing japonais) 82

Figure 31 : Container contenant la chambre de CCP Kriosystem 88

Figure 32 : Stylos anti-verrues 110

Liste des tableaux

Tableau I : Traduction du tableau de Chesterton et al sur les études réalisées sur la diminution de la température cutanée en fonction de plusieurs méthodes de cryothérapie locale et de leurs durées d'applications 34

Tableau II : Synthèse des effets de la CCE 111

Tableau III : Tableau des coûts d'investissement et de fonctionnement 125

Tableau IV : Tableau des prix de vente des séances aux patients 129

Tableau V : Tableau de rentabilité 129

Sommaire

Introduction.....1

I- Historique.....4

II- Physiologie du froid.....10

1 Thermorégulation.....11

1-1 Homéothermie.....11

1-1-1 Noyau : Pourquoi avoir une température centrale à 37°C.....13

1-1-2 Ecorce et/ou enveloppe.....14

1-2 Production et échanges thermiques chez l'Homme.....14

1-2-1 Thermogenèse.....15

1-2-2 Thermolyse.....16

1-3 Moyens de lutte contre le froid.....19

1-3-1 Diminuer les pertes de chaleur : La vasoconstriction cutanée.....19

1-3-2 Production de chaleur : Thermogenèse sans/avec frisson.....20

1-3-2-1 Sans Frisson.....20

1-3-2-2 Avec Frisson.....21

2 Récepteurs cutanés.....23

2-1 Récepteurs de la douleur.....23

2-2 Thermorécepteurs.....24

2-2-1 Sensibilité au chaud.....25

2-2-2 Sensibilité au froid.....25

2-3 Mécanorécepteurs.....26

2-3-1 Sensibilité à la pression.....27

2-3-2 Sensibilité au toucher léger et à la vitesse.....27

2-3-3 Sensibilité aux vibrations 27
2-4 Voies afférentes 27
2-4-1 Système lemniscal 27
2-4-2 Système antérolatéral (spinothalamique) 28
2-5 Centres supérieurs 29
2-6 Voies efférentes 29
2-6-1 Réponse systémique 29
2-6-2 Réponse locale 30
III- Différentes formes de cryothérapie 32
1 Méthodes de cryothérapie locale 33
1-1 Eau, glace et dérivés 34
1-1-1 Eau 34
1-1-1-1 Eau appliquée avec un tuyau d'arrosage 34
1-1-1-2 Immersion dans l'eau froide 35
1-1-2 Glace 36
1-1-2-1 Vessie de glace 37
1-1-2-2 Massage à la glace 38
1-1-3 Dérivés de la glace 39
1-1-3-1 Poches ou compresses froides (Cold Packs) 39
1-1-3-2 Sachet à cristaux cryogènes instantanés 41
1-1-3-3 Sac de petit pois 42
1-2 Cryothérapie compressive 43
1-2-1 Cryothérapie compressive statique (Cryo-Cuff) 43
1-2-2 Cryothérapie compressive intermittente 45

1-3 Cryothérapie par conduction moderne 48
1-4 Cryothérapie gazeuse 50
1-4-1 Cryothérapie gazeuse à l'azote liquide 50
1-4-2 Cryothérapie gazeuse hyperbare à l'air froid (Cryothérapie par air pulsé) 51
1-4-3 Cryothérapie gazeuse hyperbare au dioxyde de carbone.....53
1-5 Sprays réfrigérants.....59
1-5-1 Chlorure d'éthyle.....59
1-5-2 Chlorofluorométhane.....61
1-5-3 Diméthylène et Butane 61
2 Méthodes de cryothérapie générale.....63
2-1 Immersion et la nage en eau froide 63
2-2 Cryothérapie ou Cryostimulation Corps Entier (CCE) et Corps Partiel (CCP).....65
2-2-1 Présentation.....65
2-2-2 Histoire.....65
2-2-3 Concept et Matériel 66
2-2-3-1 Chambre cryogénique 66
2-2-3-2 Cabine cryogénique 67
2-2-4 Méthodes de cryothérapie générale.....69
2-2-5 Indications et contre-indications de la CCE 76
2-2-6 Physiopathologie et applications.....78
2-2-7 Impact de la cryothérapie corps entier sur la récupération musculaire chez le sportif.....83
2-2-7-1 Hématologie 84
2-2-7-2 Inflammation 85

2-2-7-3 Enzymes musculaires 85
2-2-7-4 Équilibre pro-oxydant/antioxydant 85
2-3 Comparaison entre cryothérapie corps entier et immersion en eau froide 86
3- Limites de la cryothérapie corps entier 87
IV- Effets du froid 89
1 Effets locaux du froid 90
1-1 Effet anti-inflammatoire 91
1-2 Effet antihémorragique 92
1-3 Effet antalgique 92
1-4 Effet anti-infectieux 94
1-5 Effet protecteur du greffon 94
2 Effets généraux du froid 94
2-1 Effet cardio-vasculaire 94
2-1-1 Effet cardiaque 94
2-1-2 Effet vasculaire 97
2-2 Effet sur l'exercice musculaire 98
2-2-1 Effet sur la performance musculaire 98
2-2-2 Effet sur les lactates 99
2-3 Effet sur le système hypothalamo-hypophysaire 100
2-3-1 Effet sur le cortisol et l'ACTH 100
2-3-2 Effet sur l'hormone de croissance (GH) 101
2-3-3 Effet sur les hormones thyroïdiennes 102
2-3-4 Effets sur la prolactine 103
2-3-5 Effets sur la FSH et la LH 104

2-4 Effet sur le système immunitaire 105
2-5 Effet sur la fonction respiratoire 106
V- Autres utilisations de la cryothérapie 108
1 Cryobiologie ou Cryopréservation 109
2 Chirurgie 109
3 Dermatologie 110
4 Médecine du sport 111
5 Médecine vétérinaire 111
VI- Indications et contre-indications 113
1 Indications 114
1-1 Douleur 114
1-2 Inflammation 115
1-3 Système vasculaire 116
2 Contre-indications et accidents dus au froid 117
2-1 Allergie/Urticaire au froid 117
2-2 Syndrome de Raynaud 117
2-3 Drépanocytoses 118
2-4 Trouble de la sensibilité cutanée 118
2-5 Hémoglobinurie paroxystique au froid 118
2-6 Plaie ouverte profonde et atteintes cutanées 118
2-7 Hypersensibilité au froid (Aversion au froid) 118
2-8 Problèmes cardiaques graves ou Hypertension grave 118
2-9 Cryoglobulinémie 119
2-10 Engelures 119

2-11 Gelures.....119
2-12 Acrocyanose.....120
VII- Etude économique de la CCE.....121
1 Différentes technologies.....122
2 Etude des coûts d'investissement.....123
3 Etude des coûts de fonctionnement.....126
3-1 Coûts de fonctionnement des technologies à azote.....126
3-2 Coûts de fonctionnement des technologies à compresseur électrique.....127
3-3 Coûts de maintenance.....128
4 Etude des coûts de rentabilité.....128
5 Conclusion.....130
VIII- Cryotherapie au Maroc.....132
1 Quelques services proposés au Maroc.....133
1-1 Cryothérapie corps entier.....133
1-2 Cryothérapie localisée.....133
1-3 Cryothérapie faciale.....134
1-4 Cryolipolyse.....134
2 Conclusion.....134
Conclusion.....136
Résumés
Références bibliographiques et webographiques

Introduction

D’après le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, le terme «cryothérapie » est composé du mot « cryo » qui provient du grec ancien « krùos » (« froid ») et du mot « thérapie » qui désigne dans le milieu médical la manière de traiter une maladie. Le terme cryostimulation est employé davantage dans le cadre de la récupération sportive. « Stimulation » caractérise le résultat d’une action en réponse à un stimulus. La cryothérapie, ou cryostimulation peut donc être caractérisée comme l’action de traiter, de soulager ou de provoquer une réaction par l’application de froid ou par exposition au froid [1].

La thérapie par le froid bien qu’utilisée depuis longtemps de façon empirique n’a pas, au cours des siècles, trouvé sa place dans l’arsenal thérapeutique au même titre que la chaleur. En effet, l’usage du froid en médecine a été oublié au profit du chaud pour des raisons simples : le froid est difficile à fabriquer et son impact psychologique est plus en faveur du confort de la chaleur. Enfin, les nombreux traitements basés sur les vertus de la chaleur ont fait que, culturellement les travaux scientifiques se sont naturellement tournés vers le développement de techniques médicales basées sur les effets thermiques de la chaleur.

Le terme « cryothérapie » a pour la première fois été utilisé en 1908 par Allen William Pusey pour décrire le traitement des lésions cutanées par des températures très basses [2]. Cependant, l'usage du froid à des fins thérapeutiques remonte à la Grèce Antique et concerne uniquement les traumatismes et les tuméfactions [3, 4].

Aujourd'hui, on parle de cryothérapie pour tous les traitements dont le but est d'abaisser la température corporelle sans destruction des tissus. Son utilisation locale est devenue courante en orthopédie et en traumatologie [4, 5]. Elle consiste généralement à appliquer du froid sur une zone pathologique du corps. Le froid a pour effets de calmer les douleurs, diminuer les œdèmes ou gonflements et faire régresser les hématomes plus rapidement. Il est aussi utilisé pour détruire les verrues : dans ce cas, il faut badigeonner les verrues d’azote liquide à très basse température. Les vertus du froid sont parfois utilisées au cours de chirurgies.

La cryothérapie fait partie des techniques fondamentales de la physiothérapie et rééducation fonctionnelle. Cette discipline est définie comme étant l’usage curatif et préventif des agents physiques naturels ou artificiels : le mouvement (massothérapie,

kinésithérapie, mécanothérapie), les agents thermiques (froid, chaleur), les courants électriques (électrostimulation neuromusculaire, ionisations médicamenteuses), les ondes sonores (ultrasons, infrasons, ondes de chocs, ondes courtes…) les rayonnements lumineux (Laser), les ondes et champs magnétiques ou électromagnétiques …

La cryothérapie corps entier (CCE) est considérée comme un complément thérapeutique qui consiste à placer le corps humain dans une chambre hermétique, où la température varie entre -60 et -180°C pendant un court laps de temps. L'objectif est de stimuler le corps humain afin de provoquer des réflexes de lutte contre le froid. Cette température extrême provoque chez le bénéficiaire un choc thermique activant ainsi des réactions physiologiques et hormonales [6].

Après leur développement dans les domaines de la douleur et de la récupération sportive, une nouvelle tendance voit la CCE et la CCP (Cryothérapie Corps Partiel) gagner le milieu du bien-être, de l'esthétisme et de la relaxation. Certains centres de thalasso et de relaxation commencent à se doter de dispositifs de CCE et de CCP [1].

L'objectif de ce travail est de faire une revue des connaissances actuelles sur la cryothérapie.

Nous aborderons tout d'abord l'histoire de la médecine du froid de l'empirisme jusqu'aux techniques contemporaines ; leur place dans la médecine quotidienne, les protocoles de soins et leurs applications dans les différentes spécialités médicales ; puis nous allons essayer de récapituler les bases physiologiques du froid : Les mécanismes de l'homéothermie et de la thermorégulation ainsi que les récepteurs cutanés.

Ensuite nous nous attarderons sur les différentes formes de cryothérapie surtout la CCE qui occupera la majeure partie de ce volet puisque c'est la technique la plus récente et l'intérêt à son égard est croissant dans le monde entier.

On n'oubliera pas de présenter les effets du froid sur l'organisme à travers une revue de la bibliographie internationale et les indication et contre-indications qui en découlent.

Enfin, nous nous intéresserons aux différentes utilisations de la cryothérapie ainsi que la place de cette technique au Maroc en passant par une étude économique de la CCE.

I- Historique

L'histoire de l'utilisation du froid suit celle de l'évolution de la société humaine depuis de très nombreuses années. Plusieurs ramifications vont apparaître au fil du temps et croître telles que la conservation, l'antalgie, l'anesthésie ou encore le confort. Même si les technologies modernes vont s'orienter davantage sur le chaud qui est plus facile à créer, les éléments naturels que vont représenter l'eau, la neige, la glace, le vent, ont contribué à un développement précoce de l'utilisation du froid.

Les soins par le froid se confondent avec l'histoire de la médecine. En effet, l'histoire de la médecine occidentale a été très influencée par la médecine orientale en provenance de l'Inde, de l'Egypte, de la Perse et des pays arabo-musulmans. Il est important de savoir quand et par quels processus, la connaissance a été acquise et quels sont les grands principes qui en sont le fondement.

Ainsi on rapporte que les Egyptiens, 2500 ans avant Jésus Christ, utilisaient déjà le froid dans un but thérapeutique. Certains pensent que les Hébreux, au Moyen Orient, ont été les premiers à boire des boissons fraiches en se basant sur un passage des Proverbes du Roi Salomon datant du Xème siècle avant JC. Celui-ci voulu exprimer la tranquillité de l'esprit apportée par l'arrivée d'un messager attendu avec impatience en le comparant « au froid de la neige le jour de la moisson ». Cette citation a été interprétée par certains comme la neige dont on se servait en été pour rafraichir les boissons. L'Antiquité regorge également de témoignages de l'utilisation du froid [1]. On retrouve déjà 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 [5]. Selon lui, le chaud détruisait le froid, et le froid détruisait le chaud [7].Il met en place la théorie des quatre éléments formant toute matière (terre, eau, feu, air), va utiliser le chaud ou le froid pour tenter de soigner ou de soulager des maux chez les malades spécialement les traumatismes et les tuméfactions. Il va décrire plusieurs méthodes pour refroidir l'eau. Il va montrer que faire chauffer de l'eau permettait ensuite qu'elle refroidisse plus vite. En effet une fois chauffée, il l'exposait à la rosée pour la faire refroidir rapidement. Cette méthode était appelée « aithrian », du Grec « aithros » qui signifie le froid du matin. Il appliquait également des feuilles de blettes qui avaient été trempées dans l'eau froide sur le torse des patients atteints d'une infection des poumons.

Aristote, autre médecin Grec du IVème siècle avant JC, fait mention de cailloux et de lames de plomb jetés dans des bassins d'eau dans le but de les rafraichir. Des amphores de vin et d'eau pouvaient ensuite y être plongées. Ce même siècle a vu régner Alexandre le Grand qui, d'après les écrits de son chambellan Charès de Mytilène, obligeait les habitants de la ville de Petra, en Jordanie, à creuser sur un terrain sec des fosses avec une entrée large et qui se rétrécissent pour pouvoir stocker de la neige et de la glace. Elles étaient ensuite recouvertes de paille ou de feuilles de chênes. Ces fosses représentent peut-être les premières « glacières » de l'histoire. Selon Sénèque, philosophe du premier siècle, les Romains mangeaient et buvaient de la neige. Le rafraichissement ne va donc plus être présent que par nécessité mais également par volupté. Au IIème siècle après JC, Galien, médecin Gréco-Romain, va décrire des méthodes de refroidissement utilisées à Alexandrie à l'aide du vent. Les habitants accrochaient la nuit des cruches en terre à leur fenêtre du côté où le vent soufflait. Ils les arrosaient ensuite et les mettaient en terre la journée entourées de feuilles de vigne, de laitues ou d'autres semblables. Il cite également des cruches d'eau qui n'étaient pas entièrement remplies, bouillies et placées ensuite dans un cours d'eau de source afin de les rafraichir. Aetius, d'origine Bulgare et généralissime de l'Empire Romain d'Occident au IVème siècle après JC, soulageait les inflammations des gencives par des mélanges de neige et de miel. L'Antiquité verra aussi le développement de la commercialisation du froid avec la vente de neige en été en Turquie, en Italie ou encore à l'intérieur du Royaume Perse. Au Moyen-âge, le froid a été utilisé pour la purgation (Pape Séverin, Italie, Vème s.), le soulagement des maux par la température des aliments (Rhazès ou Al-Razi, Iran, IXème s.) (Figure 1), le soulagement de la fièvre par immersion des membres en eau froide ou encore pour augmenter la satiété (Avicenne, Empire Perse, Ouzbékistan actuel, Xème s.) [1].

L'époque moderne a vu se développer encore davantage l'utilisation du froid dans la conservation (fosses coiffées de paille, Russie, Hongrie), le rafraichissement des maisons (création de canaux souterrains dans lequel le vent passe, les ventidottis, Italie) ou l'alimentation (pots de crèmes avec des fruits gelés pour faire des glaces aromatisées, Italie, Espagne).

Figure 1 : Représentation de Rhazès soulageant les maux avec la température des aliments donnés aux patients [8].

Les douleurs postopératoires étaient soulagées avec l'ingestion d'eau froide (France). La période médicinale de cette époque s'était recentrée sur les écrits des philosophes et médecins grecs de l'antiquité. Ainsi les médecins pensaient que l'ingestion d'eau froide était proportionnelle au soulagement de l'esprit et des maux. Par la purgation, elle servait à « vider les humeurs ». L'application de la neige sur les pieds était utilisée pour soulager la goutte et on se servait des lames en fer refroidie pour traiter certaines pathologies dermatologiques comme l'hordéole (maladie du grain, ou orgelets). L'application de froid était utilisée pour soulager les engelures en Norvège et les hernies en Allemagne. Les premières machines de création du froid vont apparaître à cette époque avec par exemple la machine pneumatique du docteur William Cullen en 1748 [1].

L'époque contemporaine voit la première caractérisation du froid comme anti-inflammatoire dans le Traité de l'utilisation du froid de La Corbière (1839). Ce traité relate également de son utilisation comme sédatif, dans le traitement palliatif du choléra et de la gastroentérite aigue et chronique ou encore dans le traitement de la constipation. Le chirurgien de la Grande Armée Napoléonienne, le docteur Dominique Larrey va observer, lors de l'épisode de la retraite de Russie (1812), les effets anesthésiques du froid sur

les soldats blessés. Il va rapporter cette méthode en France pour l'adapter au monde de la chirurgie. Le XIXème siècle a également vu naître la poche de glace à Epinal. Elle sera utilisée quotidiennement dans le soulagement des « petits » maux.

La cryoconservation pour le maintien en vie de tissus et d'organes va également faire son apparition. Les technologies de création du froid vont se développer de plus en plus au cours de cette période avec la machine frigorifique à compression d'éther d'Olivier Evans en 1805, à air de John Gorrie en 1844 ou encore à absorption de Ferdinand Carré en 1859. Le monde de la conservation alimentaire va également faire un grand pas en avant grâce au français Charles Tellier qui va installer trois machines à compression d'éther méthylique sur un vieux voilier transformé en bateau à vapeur (et renommé pour l'occasion « Le Frigorifique ») pour maintenir une température artificielle proche de 0°C. C'est ainsi que le 20 septembre 1876, le Frigorifique va partir de Rouen pour rejoindre Buenos Aires en 105 jours avec dans ses cales 30 tonnes de viande qui restera en bon état [1].

Ce n'est qu'à partir du 20ème siècle que l'application du froid à visée thérapeutique a suscité l'intérêt de la communauté scientifique. Ainsi, Lewis constate en 1941 une phase de vasodilatation consécutive à l'immersion d'un doigt dans de la glace pilée, succédant à une phase de vasoconstriction initiale [9]. En 1955, Razemon et Cachera mènent une étude sur le traitement d'entorses de cheville par du froid obtenu avec du chlorure d'éthyle [10]. Vers les années 70 se développent les sprays à froid ou « bombes de froid » utilisés couramment sur les terrains de sport parallèlement à la démocratisation du protocole « RICE Ice » (Rest, Immobilisation, Compression, Elevation, Ice) dans des traumatismes divers.

A la fin des années 1970, de nouvelles approches de traitement par les très basses températures apparaissent [11, 12] ,ce qui nous amène à la cryothérapie corps entier et corps partiel qui ont vu le jour en 1978 au Japon grâce aux travaux du Pr. YAMAUCHI. Il a présenté ses résultats pour la première fois à l'occasion du congrès Européen des rhumatologues à Wiesbaden en 1979 [13]. A cette date on parle volontiers de cryo-aérothérapie, c'est-à-dire d'air sec refroidi par l'azote liquide, au milieu duquel les patients circulent à l'intérieur d'une « chambre froide » isolée. Les températures atteintes oscillent entre -110°C et -180°C. Cette idée d'exposition aux basses températures fut reprise

et développée en Europe, notamment en Allemagne par le professeur Rheinard Fricke et en Pologne par le professeur Zagrobelny dans les années 1980 et 1990 [14-16]. Pr. Fricke présenta pour la première fois en Europe un appareil à air froid, le 20/11/1982 à Sendenhorst (Allemagne). L'appareil conçu en 1985 n'utilise plus l'azote liquide pour refroidir l'air mais le principe du « réfrigérateur ». Trois gaz frigorifiques subissent trois cascades de compression afin d'obtenir un air sec et froid. Le système est constitué d'une chambre à -110°C à laquelle on accède par un ou deux sas afin de limiter les écarts brutaux de température ainsi que le brouillard créé par l'humidité de l'air. C'est à partir de cette date que la cryothérapie du corps entier (CCE) va connaître son développement et la première chambre de froid a été ouverte à la Weserland Klinik de Vlotho en Pologne.

En parallèle d'autres techniques de cryothérapie apparaissent notamment en 1993, où un nouveau procédé voit le jour sous l'investigation du Dr Cluzeau : la Cryothérapie Gazeuse Hyperbare (CGH) ou Neurocryostimulation qui utilise du dioxyde de carbone sous haute pression. Elle permet d'allier une très faible température à une vitesse de refroidissement importante par sublimation des cristaux de CO2 provoquant au niveau de son application un choc thermique. Il en découlerait une cascade de réactions physiologiques locales et systémiques [17].

De nos jours, les machines et les techniques liées au froid (réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs, ventilateurs, chambres froides, …) améliorent le quotidien et la qualité de vie. La conservation alimentaire plus qualitative et quantitative a permis la prévention des maladies (bactéries, intoxications, …) et la diminution des famines. La climatisation apporte un confort et peut être indispensable en période caniculaire chez les personnes âgées. Les méthodes anesthésiques et de conservation des organes ont également permis de sauver des vies [1].

II- Physiologie du froid

« Le froid est une absence de chaleur ».

La thermodynamique statistique, dont les bases ont été posées par Ludwig Boltzmann dans les années 1870, montre que la chaleur contenue dans un objet correspond à l'énergie d'agitation des molécules et des atomes dans les molécules de cet objet. Plus il est chaud, plus ses molécules sont agitées, moins elles sont en mouvement, plus il est froid. Toute diminution de l'agitation moléculaire entraîne une diminution des réactions biochimiques de l'organisme.

Lorsqu'un organisme est en contact avec un corps froid, l'échange d'énergie entre les deux corps se fait par transmission de chaleur du corps chaud vers le corps froid (dont les composants sont de plus en plus agités). Il n'y a pas , à proprement parler, de transmission du froid à l'organisme, mais une perte de chaleur absorbée par échange exothermique par la «source froide » [17].

1 Thermorégulation

1-1 Homéothermie

L'Homme est considéré comme un être homéotherme (endotherme) qui maintient sa température interne à peu près constante. Il doit en permanence s'adapter aux écarts de température entre le milieu intérieur et le milieu extérieur.

Trois niveaux de réponse aux conditions d'un environnement peuvent être mis en jeu :

- Un niveau génétique : c'est l'adaptation au sens strict par sélection naturelle.
- Un niveau physiologique : c'est l'acclimatation. L'objectif est l'adaptation pour maintenir l'homéostasie malgré les contraintes imposées par l'environnement.
- Un niveau culturel et/ou technologique : c'est la modification volontaire des comportements.

L'homéothermie est maintenue sous certaines conditions. La constance de la température ne s'applique pas à la totalité de l'individu, mais uniquement à sa partie centrale dite « noyau ». Les parties extérieures au noyau dites « enveloppe et écorce »peuvent avoir une température variable selon la température extérieure (figure 2 A et B) [17].

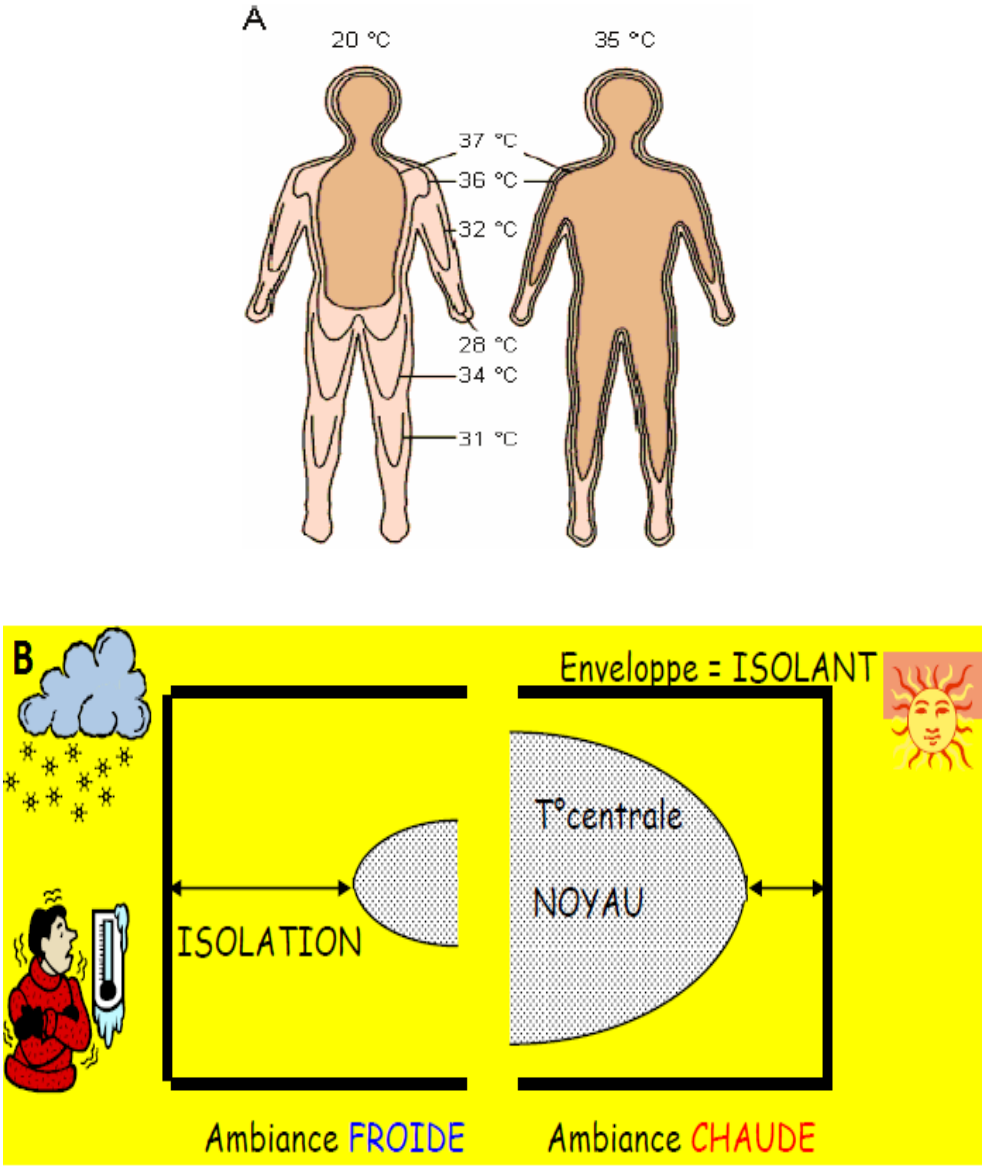


Figure 2 (A et B) : Ecorce et Noyau – température corporelle [17].

Les réactions thermorégulatrices dans leur ensemble varient selon la durée de l'exposition aux variations thermiques :

- La réaction immédiate du sujet face à une exposition brutale, aigue, à une température nettement plus chaude ou plus froide que normalement sera une réaction thermorégulatrice proprement dite.

- La réaction à long terme d'un sujet qui est exposé de façon prolongée à une ambiance thermique différente mettra en jeu des phénomènes d'acclimatation [17].

1-1-1 Noyau : Pourquoi avoir une température centrale à 37°C

Le noyau central est constitué par les viscères thoraciques et abdominaux, le système nerveux central et les muscles squelettiques. La température centrale de l'Homme est de l'ordre de 37°C et varie peu en fonction de la température extérieure ou même de l'activité des tissus.

On relève quelques variations physiologiques :

- Rythme nycthéméral (sur 24 heures) : température maximale à 17h et minimale à 5h.
- Rythme menstruel chez la femme : 0,5° de plus le matin pendant la 2ème phase du cycle (après l'ovulation).

Le maintien de la température constante suppose un stock de chaleur constant dans le noyau. La production de chaleur ou thermogenèse devra équilibrer de façon équivalente les pertes de chaleur ou thermolyse.

La production de chaleur et les échanges thermiques entre le noyau, l'écorce et le milieu extérieur se fait en trois étapes :

- La chaleur est produite dans le noyau
- Elle est ensuite transportée du noyau vers la peau (écorce) de proche en proche
- Puis elle est ensuite éliminée vers le milieu extérieur.

Le fait d'avoir une température constante à 37°C présente différents avantages: Cela accélère les réactions biochimiques de l'organisme, joue sur la cinétique des canaux ioniques (qui augmente avec la température) et facilite l'association des molécules à leurs récepteurs.

En réalité la variation de température entre les différents secteurs du noyau est de faible amplitude.

En résumé, la température du noyau reflète le contenu calorique de l'organisme [17].

1-1-2 Ecorce et/ou enveloppe :

L'écorce et / ou l'enveloppe est constituée de la peau et des tissus sous-cutanés. La variation de température peut être de grande amplitude (la température de la peau peut varier entre 10°C et 40°C sans dommage).

L'enveloppe constituée par les parties extérieures au noyau présente une température variable de grande amplitude selon la température extérieure et les circonstances. Il ne s'agit pas uniquement de la peau, mais d'une épaisseur de tissus très variable selon la température extérieure (environ 2,5 cm à la température normale) [17].

1-2 Production et échanges thermiques chez l'Homme

Durant toute son existence, l'être humain, qui est homéotherme, vit dans une gamme très étroite de températures centrales (proche de 37°C). Les limites maximales de tolérance pour les cellules vivantes vont approximativement de 0°C (formation des cristaux de glace) à 45°C (coagulation thermique des protéines intracellulaires); Toutefois, il peut tolérer des températures centrales inférieures à 35°C (hypothermie) ou supérieures à 41°C (hyperthermie), mais seulement durant de très courtes périodes [18, 19]. Afin de maintenir la température interne dans ces limites, il a développé des réponses physiologiques très efficaces et spécialisées à la contrainte thermique aiguë. Ces réponses sont conçues pour permettre la conservation, la production (thermogenèse) ou l'élimination (thermolyse) de la chaleur du corps. Elles impliquent plusieurs systèmes physiologiques coordonnés par le centre de la thermorégulation qui se trouve dans l'hypothalamus [20, 21].

Le corps humain échange de la chaleur avec son environnement selon plusieurs voies : par conduction au travers des surfaces en contact, par convection et évaporation avec l'air ambiant, par rayonnement avec les surfaces avoisinantes. En théorie, toutes ces voies peuvent servir à la thermogenèse ou à la thermolyse. En réalité, elles servent le plus souvent à la thermolyse comme nous allons le voir. Il faut que les gains et les pertes de chaleur soient égaux pour que la température du noyau central reste stable (figure 3) [17].

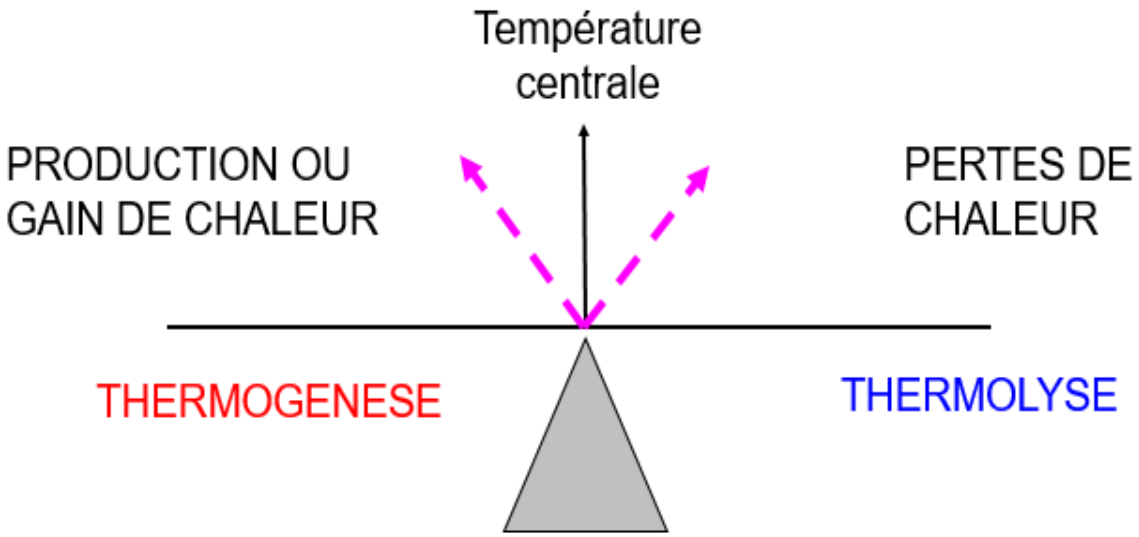


Figure 3 : Equilibre entre thermogénèse et thermolyse pour la thermorégulation (Cours universitaire, Philippe Connes, Université des Antilles et de la Guyane) [1].

- La thermogenèse est variable suivant le métabolisme (repos, période postprandiale, exercice musculaire) : il va donc falloir adapter la thermolyse en conséquence (éliminer plus de chaleur lors d'un exercice musculaire qu'au repos par exemple) [5].

- La thermolyse varie avec la température extérieure : Pour lutter contre l'augmentation et la perte de chaleur, le corps va mettre en place des adaptations vasculaires [22].

1-2-1 Thermogenèse

L'activité cellulaire fournit un travail, tout travail produit une énergie sous forme en l'occurrence de chaleur. Cette chaleur doit être dissipée pour maintenir l'homéostasie. Si aucun système de régulation n'était mis en action, le corps s'échaufferait de 1°C par heure en condition de repos, en fournissant 70 Kcal (288 KJ). Il est donc impératif d'éliminer cette chaleur produite pour éviter des lésions irréversibles.

La source de loin la plus importante de chaleur fournie au corps provient de la production métabolique de chaleur. Au repos, une activité métabolique demandant 300 ml d'O2 par minute crée une charge thermique d'approximativement 100 W. Durant un exercice physique à l'état d'équilibre, pour une consommation d'oxygène de 1 litre/min, ce sont environ 350 W de chaleur qui sont produits [17].

Elle est la somme de la chaleur dégagée ou produite par :

• Le métabolisme de base : Par définition le métabolisme de base correspond au métabolisme énergétique minimum chez un sujet éveillé, à jeun, au repos et dans des conditions de neutralité thermique. Il est fonction de la quantité des cellules actives et on l'exprime généralement rapporté à l'unité de surface corporelle (Watt/m²). Une fraction importante de ce métabolisme de base est liée au fonctionnement des pompes à sodium membranaires. Le métabolisme de base varie avec l'âge, ainsi chez l'adulte il est de l'ordre de 45W/m² chez l'homme (soit 39 Kcal/h.m²) et de 40W/m² chez la femme (soit 34 Kcal/h.m²). Entre 0 et 5 ans il tourne aux alentours de 60W/m², à la puberté aux alentours de 50W/m² [5].

• L'exercice musculaire : La production de chaleur augmente de façon considérable dans les muscles lors de l'effort. Elle peut être multipliée par un facteur 10 à 20, voire même plus lors d'un effort intense de courte durée. Dans le cas des muscles, la production de chaleur n'est pas uniquement d'origine métabolique, il existe aussi des mécanismes physiques : frottement des fibres, des filaments ... les uns contre les autres lors du phénomène de contraction-décontraction [5].

• Les métabolismes ajoutés, en particulier l'alimentation : La production de chaleur par les viscères augmente légèrement après les repas (maximum 2 à 5 heures après l'ingestion). Ceci reflète le travail chimique nécessaire pour transformer et stocker les aliments. L'augmentation totale du métabolisme peut être de l'ordre de 12 à 15% pour un repas de glucides, jusqu'à 30% pour un repas de protides. Cette augmentation de chaleur a été appelée action dynamique spécifique (A.D.S) des aliments [5].

1-2-2 Thermolyse

Elle se fait par 4 mécanismes :

-Conduction :

La conduction se fait au travers les tissus de proche en proche. Le débit de chaleur est fonction de la conductivité thermique des tissus et de la différence entre la température centrale et la température cutanée. La conductance thermique du corps (K) est faible surtout

celle des tissus adipeux qui sont un bon isolant thermique. Ce mécanisme est lent et ne permet pas un débit de chaleur important [17].

Par suite de sa faible densité, l'air est un très mauvais conducteur de chaleur. Les échanges de chaleur par ce mécanisme sont donc tout à fait négligeables [5].

Dans le cas particulier de l'immersion dans l'eau, les échanges sont alors beaucoup plus efficaces, tant en gains qu'en pertes calorifiques. Ceci explique que les déperditions caloriques soient beaucoup plus rapides et que la température de confort soit beaucoup plus élevée dans l'eau (33 à 34°) que dans l'air (18 à 20°). On peut ainsi mourir de froid et d'épuisement dans l'eau à des températures tout à fait supportables dans l'air [5] .

Tous les dispositifs utilisant un contact direct entre un élément froid (poche à glace, pack...) et la peau utilise la conduction pour refroidir les tissus [17].

-Convection :

Il s'agit des échanges thermiques entre le corps et un fluide en mouvement qui est presque toujours l'air (mais qui peut être également de l'eau). La convection est le transfert de chaleur entre la peau et l'air qui l'entoure. Si la température cutanée est supérieure à la température de l'air, l'air en contact avec la peau se réchauffe et, par conséquent, s'élève. Une circulation d'air, appelée convection naturelle, s'établit alors à la surface du corps. Cet échange devient plus important si l'air ambiant passe sur la peau à une certaine vitesse : la convection devient forcée.

Il est important de noter que la notion de « vent froid » augmente considérablement la thermolyse par convection. Un vent de 30km/h à 5°C correspond à en déperdition calorique similaire à une ambiance de -20°C sans vent. La convection produite à partir de la dépressurisation du CO2 agit de la même façon que le vent [17].

-Rayonnement :

Tout corps émet un rayonnement électromagnétique dont l'intensité est fonction de la quatrième puissance de sa température absolue T (en degrés Kelvin (K)). La peau, dont la température peut se situer entre 30 et 35°C (303 et 308 K), émet un tel rayonnement qui se

situe dans l'infrarouge. Elle reçoit par ailleurs le rayonnement émis par les sources thermiques environnantes.

Le rayonnement correspond donc aux échanges thermiques entre la peau et l'environnement sans support matériel (à la différence des échanges par conduction et convexion). Les échanges se font des corps les plus chauds vers les corps les plus froids [17].

-Evaporation-Sudation :

Toute surface mouillée comporte une couche d'air saturée en vapeur d'eau. Si l'atmosphère n'est pas elle-même saturée, la vapeur diffuse de cette couche vers l'atmosphère. La couche a alors tendance à se régénérer en puisant l'énergie (chaleur) d'évaporation dans la surface mouillée qui est donc refroidie [17].

C'est le moyen le plus efficace pour éliminer la chaleur produite. Plusieurs formes existent :

- Perte de vapeur d'eau par les voies aériennes (cavités nasales, bouche, pharynx, larynx, trachée et grosses bronches...). Importante chez les animaux à fourrure qui ne transpirent pas, cette voie de dissipation thermique est le plus souvent de peu d'importance chez l'homme, sauf en climat froid à l'exercice (haut débit ventilatoire), et chez les personnes qui ont une hyperréactivité bronchique pour qui ce stimulus déclenche la bronchoconstriction, l'hyperhémie et l'œdème de la muqueuse bronchique, l'hypersécrétion de mucus [23].
- Perspiration : diffusion de l'eau des couches superficielles de la peau vers l'extérieur,
- Sudation, à condition que la sueur soit effectivement évaporée c'est-à-dire que l'air ambiant soit renouvelé et non saturé en vapeur d'eau (1 g d'eau évaporée permet d'éliminer 0,6 Kcal ou 2,5 kJ) [17].

1-3 Moyens de lutte contre le froid

Une différence importante dans la manière dont l'être humain réagit au froid par rapport à la chaleur réside dans le fait que son comportement joue un bien plus grand rôle dans la réponse au froid (d'une manière générale) en vue de la régulation thermique. Par exemple, le fait de porter des vêtements appropriés et de prendre des postures qui réduisent la surface qui échange de la chaleur avec l'ambiance (« blottissement ») est bien plus important dans les conditions ambiantes froides qu'à la chaleur. Une seconde différence provient du plus grand rôle joué par les hormones durant l'exposition au froid, avec notamment l'augmentation de la sécrétion de catécholamines (noradrénaline et adrénaline) et d'hormones thyroïdiennes [24].

Pour lutter contre le froid, l'organisme peut et doit augmenter la production de chaleur et diminuer les pertes caloriques.

1-3-1 Diminuer les pertes de chaleur : La vasoconstriction cutanée

Une stratégie efficace contre la déperdition thermique par le corps liée au rayonnement et à la convection consiste à accroître l'isolation effective fournie par l'enveloppe (importance de la masse grasse et de l'embonpoint). Chez l'être humain, cela se produit par diminution du débit sanguin cutané, c'est-à-dire par vasoconstriction cutanée [22, 24-27]. Cette vasoconstriction est visible (pâleur cutanée) et peut être gênante (maladresse musculaire à cause du ralentissement des réactions enzymatiques et biochimiques diminuant la qualité de la contraction et de la perception).

La constriction des vaisseaux cutanés est plus prononcée dans les extrémités qu'au niveau du tronc [28, 29]. De même que la vasodilatation active, la vasoconstriction cutanée est commandée par le système nerveux sympathique [25, 26] , elle est influencée par la température centrale et la température cutanée [30-33].

L'effet du refroidissement cutané sur la fréquence cardiaque et la tension artérielle varie selon la région du corps qui est refroidie et si le refroidissement est suffisamment intense pour provoquer une douleur [34]. Par exemple, si les mains sont immergées dans de l'eau froide, la fréquence cardiaque, les pressions artérielles, systolique et diastolique, augmentent [35].

Lorsque le visage est refroidi, les pressions artérielles systolique et diastolique s'élèvent à cause de l'activation sympathique générale, tandis que la fréquence cardiaque diminue en réponse au baroréflexe cardiaque qui stimule alors l'activité parasympathique [36, 37].

La réponse globale au froid est d'autant plus complexe que les réponses varient largement d'une personne à l'autre. Si le stimulus « froid » est suffisamment important [35], la fréquence cardiaque peut s'accroître (à cause de l'activation sympathique) ou décroître (en réponse à l'augmentation du volume sanguin circulant). Un cas spécifique est celui de la vasodilatation induite par le froid. Si les mains sont placées dans de l'eau froide, le débit sanguin cutané diminue initialement afin de conserver la chaleur. Lorsque la température des tissus diminue, le débit sanguin augmente à nouveau (la vasoconstriction se réduit) paradoxalement (puisque le stimulus de refroidissement persiste), puis s'abaisse à nouveau et ce cycle se répète [38]. La vasodilatation paradoxale au froid a un effet bénéfique puisqu'elle empêche la lésion des tissus par hypoxie puis par gel véritable (à des températures tissulaires très inférieures). Cette vasodilatation paradoxale de survenue secondaire est absente chez les personnes qui ont un syndrome de Raynaud [39]. La vasodilatation temporaire survient probablement soit lorsque les effets directs du froid sont suffisamment sévères soit pour altérer la transmission nerveuse qui commande la vasoconstriction (libération de noradrénaline), soit pour interrompre la production d'énergie nécessaire à la contraction des fibres musculaires lisses.

1-3-2 Production de chaleur : Thermogenèse sans/avec frisson

L'augmentation de la thermogenèse peut se produire de deux façons :

- Sans frisson
- Avec frisson

1-3-2-1 Sans Frisson :

L'existence du tissu adipeux brun est connue depuis longtemps. Son rôle a été étudié dans plusieurs espèces d'animaux, et l'augmentation de sa masse lors de l'exposition au froid a été bien documentée chez le rat. Dans l'espèce humaine, son existence est également documentée, et reconnue chez le nourrisson (autour de l'aorte abdominale, des artères rénales

et dans la région interscapulaire). Longtemps controversée chez l'adulte [40], l'existence du tissu adipeux brun a été confirmée par Daniel Ricquier non seulement aux sites « classiques » mais aussi dans les aisselles et les creux inguinaux, ce qui correspond bien à l'expérience commune d'une sensation de chaleur et de sudation dans ces régions lorsque l'on se refroidit. Le tissu brun adipeux génère de la chaleur en utilisant des substrats énergétiques, particulièrement lipidiques, sans mise en réserve d'énergie, sous l'action de la protéine découplante UCP1 dont la synthèse et l'activation sont déclenchées par la noradrénaline [41, 42]. C'est aussi la noradrénaline qui mobilise les lipides de réserve du tissu adipeux blanc (comme brun) par l'intermédiaire des récepteurs ß3-adrénergiques. La protéine UCP3 présente dans le muscle squelettique peut, elle aussi enclencher la thermogenèse sans frisson dans le tissu musculaire [43].

1-3-2-2 Avec Frisson :

La production de chaleur se fait en particulier grâce à un travail musculaire volontaire ou involontaire.

L'activité involontaire est représentée par les tremblements et frissons : ce sont des contractions réflexes des muscles, 5 à 10 fois par seconde. Cela constitue la thermogenèse de réchauffement qui produit à peu près 200 Watts pour un homme de 70 kg. Au fur et à mesure que le refroidissement du corps progresse, les frissons constituent une seconde ligne de défense. Le frisson est une contraction involontaire et aléatoire des fibres musculaires superficielles, ce qui ne limite pas la déperdition thermique, mais accroît la production de chaleur [30, 44]. Comme ces contractions ne produisent pas de travail, seule de la chaleur est produite. Une personne au repos peut multiplier sa production de chaleur métabolique par trois ou quatre pendant des frissons intenses et peut élever sa température centrale de 0,5 °C. Les signaux qui provoquent le début des frissons proviennent principalement de la peau et, en plus de la zone préoptique de l'hypothalamus antérieur, l'hypothalamus postérieur joue un rôle également [21, 45].

Bien que de nombreux facteurs individuels contribuent aux frissons (et à la tolérance au froid en général), l'embonpoint représente un facteur important [46]. Un homme ayant une couche adipeuse sous-cutanée très mince (2 à 3mm d'épaisseur) commence à frissonner

après 40 minutes dans l'air à 15 °C et 20 minutes à 10°C, tandis qu'un autre ayant une couche adipeuse plus isolante (11mm) peut ne pas frissonner du tout à 15°C et frissonner après 60 minutes à 10°C [36].

Les grandes réponses décrites ci-dessus reposent sur des mécanismes physiologiques qui ont été largement étudiés et que nous allons brièvement rappeler ici. Pour faciliter la compréhension, suivons le « chemin » du signal, des récepteurs cutanés jusqu'aux centres supérieurs et aux réponses efférentes.

2 Récepteurs cutanés

L'existence dans la peau de structures spécifiques répondant sélectivement au chaud et au froid et provoquant une sensation de chaud ou de froid a été la première preuve de l'existence de structures sensorielles périphériques activées par des changements de température [47, 48].

Au milieu du XXe siècle, les thermorécepteurs étaient clairement nommés. Il existe deux types de thermorécepteurs : les récepteurs de type phasique (réponse enclenchée lors de l'atteinte d'une température donnée) et les récepteurs de type dynamique (réponse enclenchée par une variation de température). La sensibilité et la gamme de travail des récepteurs au froid les rendent particulièrement adaptés à la détection de faibles variations de température qui provoquent des légères sensations de refroidissement [49, 50]. Cependant, de grandes diminutions de température provoquent un sentiment très inconfortable qui peut s'apparenter à une douleur. Cela est dû à l'existence de récepteurs polymodaux qui sont sensibles à de grandes forces mécaniques, à la chaleur, à un certains nombres de substances endogènes, et y compris au froid intense [51-53]. La mise en jeu de ces récepteurs est encore mal comprise et leur étude est toujours en cours [54].

2-1 Récepteurs de la douleur

La douleur est un processus physiologique dont le but est d'avertir la personne d'une menace à son intégrité physique d'où le terme nociceptif, introduit par Sherrington au début du XXe siècle. Mais à cette simple transmission de la périphérie vers les centres corticaux somato-sensibles s'ajoute toujours une composante émotionnelle et comportementale.

Les récepteurs périphériques de la douleur sont représentés par les terminaisons libres des fibres sensitives Aδ et C. Les fibres Aδ, de calibre fin (2-5µm), sont faiblement myélinisées avec une vitesse de conduction de 4 à 40 m/s [55]. Les fibres C, de calibre très fin (0,3-3µm), sont dépourvues de myéline et sont à conduction lente (inférieure à 2 m/s). La peau est l'une des structures possédant la plus forte densité d'innervation avec en moyenne 200 terminaisons libres par cm².

Les récepteurs des fibres C sont dits polymodaux car répondant à des stimulations thermiques, mécaniques, chimiques. Les muscles, les articulations et les viscères contiennent aussi des récepteurs polymodaux Aδ et C.

Les nocicepteurs modulent leur réponse en fonction de l'intensité et de la durée de la stimulation et ont pour caractéristique importante le phénomène de sensibilisation. Ce dernier consiste après répétition d'un stimulus nociceptif intense en une diminution du seuil d'activation, une augmentation des réponses et l'apparition d'une activité spontanée.

En plus de l'activation directe par un stimulus, ces terminaisons libres sont activées par les médiateurs chimiques de la réaction inflammatoire eux-mêmes algogènes (Bradykinine, sérotonine, histamine, ions potassium et hydrogène) .Les prostaglandines synthétisées sur place participent à la sensibilisation des récepteurs.

La substance P, peptide de 11 acides aminés, participe à la vasodilatation. Elle est libérée en périphérie par l'influx nerveux qui se propage non seulement vers la moelle mais aussi de façon antidromique, vers les autres terminaisons libres de la même fibre. Il en résulte une dégranulation des mastocytes libérant de l'histamine. Ce phénomène est appelé « inflammation neurogène ». Il participe à l'extension de l'hyperalgésie « en tache d'huile » [17].

2-2 Thermorécepteurs

L'aspect morphologique des thermorécepteurs ne permet pas de les différencier des autres terminaisons libres. Seules leurs caractéristiques fonctionnelles (thermorécepteurs ou nocicepteurs) permettent de les distinguer [55, 56].

Ils ont une activité tonique basale faible liée à la température cutanée. Par contre ils ne répondent pas à des stimulations mécaniques. Leur mode de réponse est de type phasique avec, à la différence des nocicepteurs, un seuil d'activation bas.

Précisons que la sensibilité de la peau au chaud et au froid est localisée en différents points sensibles spécifiquement au froid ou au chaud. Ces points sont répartis sur la peau à des densités variables toujours inférieure à celles des mécanorécepteurs. De plus, les points sensibles au froid sont beaucoup plus nombreux que les points sensibles au chaud.

Par exemple, la surface de la main possède 1 à 5 points au froid par cm², mais seulement 0,4 au chaud par cm². Par ailleurs, c'est dans la peau du visage que l'on trouve la plus grande densité en thermorécepteurs : 16 à 19 points au froid par cm² [17].

2-2-1 Sensibilité au chaud

Les terminaisons nerveuses libres impliquées dans la sensibilité au chaud sont majoritairement de type C. Elles sont moins nombreuses que celles codant le froid. Leurs champs récepteurs ont un diamètre de 1mm. Elles sont activées pour des variations de température comprises entre 30 et 45°C avec une sensibilité maximale entre 41 et 45°C. Au-delà de 45°C les nocicepteurs thermiques sont également activés alors que la fréquence de décharge des thermorécepteurs baisse.

2-2-2 Sensibilité au froid

Elle correspond à l'activation de thermorécepteurs (fibres Aδ et C). Leurs champs récepteurs sont de petite taille de l'ordre de 100µm de diamètre. Ils codent des variations de 0,5 à 20 °C par rapport à la température cutanée basale. Dans cette fourchette, ils seront activés par une diminution brutale de température et inhibés lorsque la variation de température rejoint l'état basal. Il existe donc une zone de chevauchement entre les deux types de sensibilité thermique (30-40°C). Dans cette gamme correspondant à la température cutanée physiologique les deux catégories de fibres sont actives.

Les températures froides capables de provoquer une sensation de douleur varient considérablement chez l'être humain, avec des températures entre 10 et 15°C et autour de 18°C pour la peau glabre et non glabre, respectivement [57, 58]. Avec une vitesse de refroidissement lente, le seuil de déclenchement de la douleur est plus élevé qu'avec une vitesse rapide, et les stimulus froids sont plus intenses [59]. L'intensité de la douleur provoquée par le froid augmente linéairement avec l'intensité du stimulus entre 20 et 0°C [57].

2-3 Mécanorécepteurs

La sensibilité mécanique cutanée correspond à trois qualités : pression, toucher et vibration. Ces qualités sont liées à la présence de récepteurs sensoriels différents dans l'épaisseur de la peau. Selon leur organisation anatomique, il est possible de distinguer six types de récepteurs : les disques de Merkel, les disques tactiles, les récepteurs des follicules pileux, les corpuscules de Meissner, les corpuscules de Ruffini et les corpuscules de Pacini (figure 4) [55].

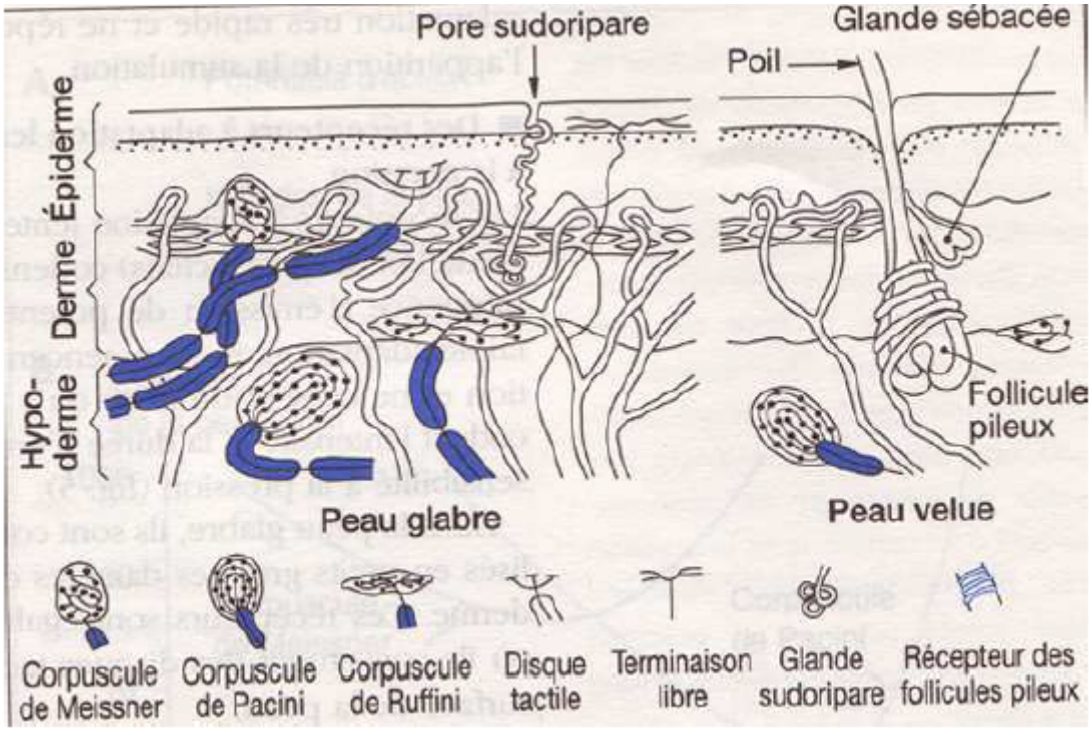


Figure 4 : Répartition des principaux types de récepteurs tactiles dans la peau glabre et velue [55].

Les mécanorécepteurs sont différents selon que la peau est glabre ou velue. Dans les régions velues, les récepteurs principaux sont ceux des follicules pileux, tandis que la peau glabre contient surtout des corpuscules de Meissner et des disques de Merkel. Les corpuscules de Pacini et de Ruffini, quant à eux, sont localisés dans le tissu sous cutané des deux types de peau.

2-3-1 Sensibilité à la pression

Les récepteurs à adaptation lente (corpuscule de Ruffini, disques de Merkel et disques tactiles) codent l'intensité de la stimulation par leur fréquence d'émission de potentiels d'action. Compte tenu de leur faible adaptation, ils commencent à être actifs au début de la stimulation et ne cessent de l'être qu'à la fin de celle-ci. De tels récepteurs codent l'intensité et la durée d'une stimulation et sont à l'origine de la sensibilité à la pression [17].

2-3-2 Sensibilité au toucher léger et à la vitesse

Au niveau de la peau velue, les follicules pileux à adaptation rapide sont responsables de la détection de la vitesse. Dans la peau glabre, les corpuscules de Meissner ont des propriétés comparables. Les corpuscules de Meissner interviennent dans la détection des vibrations situées entre 5 et 200 Hz [17].

2-3-3 Sensibilité aux vibrations

Les corpuscules de Pacini sont des récepteurs phasiques qui réagissent à une variation rapide de l'intensité de la stimulation. Ils répondent également à des fréquences de vibrations situées entre 30 et 1500 Hz avec une sensibilité optimale pour une fréquence de 300 Hz [17].

2-4 Voies afférentes

Les nerfs spécifiques au froid sont situés dans les neurones spinaux, thalamiques et corticaux [58].

Les afférences sont organisées autour de deux voies principales : le système lemniscal et le système antérolatéral (spinothalamique).

2-4-1 Système lemniscal

Les fibres myélinisées de gros calibre provenant des mécanorécepteurs (sensations tactiles, vibrations, position) entrent dans la moelle par les racines dorsales avant d'atteindre le bulbe rachidien (neurone de premier ordre). L'axone d'un neurone de second ordre croise le plan sagittal et monte jusqu'au thalamus controlatéral en empruntant le lemnisque médian. Les neurones projettent ensuite sur le cortex somesthésique primaire [17].

2-4-2 Système antérolatéral (spinothalamique)

Il est composé de trois voies ascendantes responsables de la transmission de la douleur, de la sensibilité thermique, ainsi que des sensations diffuses de tact et pression. Ces voies sont :

- Le système néo-spinothalamique
- Le système spino-réticulaire
- Le système spino-tectal ou spino-mésencéphalique

Dans tous les cas, le neurone afférent pénètre dans la substance grise spinale (corne postérieure où il est relayé par un neurone de second ordre. Ce deuxième neurone émet un axone qui croise le plan sagittal au niveau spinal. Les fibres du faisceau néospino-thalamique terminent dans le noyau ventro-postérieur du thalamus ainsi que dans les noyaux intralaminaires du thalamus. Comme pour la voie lémniscale, elles se terminent sur le cortex somesthésique primaire (figure 5).

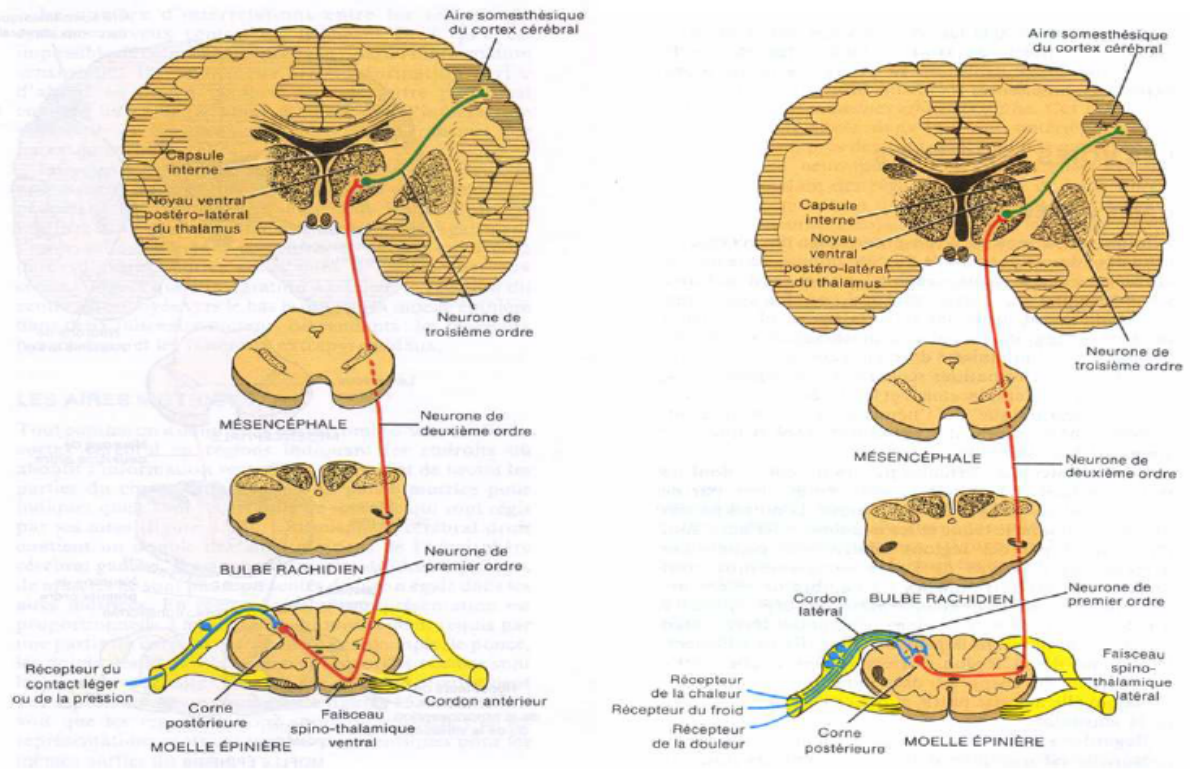


Figure 5 : Faisceaux spinothalamique ventral (à gauche) et latéral (à droite) [17].

2-5 Centres supérieurs

Les centres impliqués dans la thermorégulation sont situés dans l'hypothalamus antérieur et postérieur et forment une boucle de rétrocontrôle de la température centrale. Celle-ci est mesurée par des thermorécepteurs, l'information est transmise aux centres de contrôle qui comparent la valeur actuelle à une valeur de consigne. S'il y a écart, les centres mettront en jeu les mécanismes tendant à le faire disparaître.

Lors de l'exposition au froid la région postérieure de l'hypothalamus commande la production de chaleur par le frisson et réduit la perte de chaleur grâce à la vasoconstriction cutanée. Lors d'une exposition au chaud, l'hypothalamus antérieur commande la vasodilatation [60]. Les informations de températures internes (centrales) et de surface (cutanées) sont transmises à ce centre qui va coordonner les réponses efférentes appropriées [45, 61]. Toutefois, le noyau dorsomédial de l'hypothalamus, la substance grise péridurale du diencéphale et le noyau raphé pallidus dans la médulla ont aussi un rôle [62].

2-6 Voies efférentes

Elles sont essentiellement neurovégétatives orthosympathiques et mettent en action deux types de réponses, l'une systémique, l'autre locale.

2-6-1 Réponse systémique

La réponse systémique correspond d'abord à une libération de la noradrénaline par le deuxième neurone orthosympathique. Pour des intensités de stimulation froide plus grandes (seuil) l'adrénaline est libérée à son tour par les glandes médullosurrénales [63]. Cette mise en jeu orthosympathique est responsable d'une part de la vasoconstriction cutanée, musculaire, de la libération de substrats énergétiques lipidiques (récepteurs ß3-adrénergiques) utilisables par le muscle, et de l'activation du tissu adipeux brun. Parallèlement, une augmentation du tonus musculaire survient, ce qui augmente la production de chaleur, et peut déboucher sur le frisson musculaire (contractions involontaires de brève durée et répétées qui produisent davantage de chaleur que la seule augmentation de tonus).

Remarque :

En cas d'exposition prolongée au froid, le processus d'acclimatement met en jeu une activation hypothalamo-hypophysaire. L'hypothalamus antérieur libère du TRF (Thyroxine Releasing factor) qui déclenche la libération de TSH (Thyroxine Stimulating Hormone) dont l'action augmente le métabolisme basal [64]. Parallèlement la libération orthosympathique de noradrénaline diminue tandis que la sensibilité périphérique à ce médiateur augmente.

2-6-2 Réponse locale

Elle correspond à une vasoconstriction de la zone refroidie. Toutefois, il faut noter que la circulation cutanée humaine est unique car elle est contrôlée par deux populations de fibres sympathiques : les fibres noradrénergiques vasoconstrictrices qui coexistent avec d'autres fibres sympathiques vasodilatatrices (un système moins bien connu qui est activé lors d'hyperthermie). Ces deux populations de fibres innervent l'ensemble de la peau non glabre, alors que la peau glabre (paumes des mains, soles des pieds, lèvres) est innervée uniquement par les fibres vasoconstrictrices.

Toutefois, parallèlement à la réponse contrôlée par les centres supérieurs, il existe une réponse « loco-locale » différente selon qu'il s'agisse d'une peau glabre ou non glabre, avec la possibilité de mise en action d'anastomoses artério-veineuses (AAV). Dans la peau glabre, les AAV sont nombreuses et richement innervées par le système sympathique vasoconstricteur. Au contraire, dans la peau non glabre, il y a peu d'AAV, et celles-ci sont innervées par les deux systèmes vaso-constricteur et dilatateur [22].

Le refroidissement local de la peau peut provoquer une vasoconstriction locale très importante, faisant pratiquement disparaître le débit sanguin, ou le réduisant à une valeur insuffisante pour assurer la survie tissulaire. C'est le mécanisme des lésions ischémiques de type « pied de tranchée » et du stade initial des gelures (bien avant un abaissement de température capable de prendre en glace les liquides extra et intracellulaires dont la richesse en substances dissoutes abaisse fortement le point de congélation). Cette vasoconstriction dépend de l'activation locale des fibres noradrénergiques [65].

Une augmentation de l'affinité des récepteurs post-synaptiques α (surtout les α2) accompagne la diminution de la température et contribue aussi à cette vasoconstriction locale. Cette réponse ne repose pas forcément sur une connexion intacte avec le système neurovégétatif, puisqu'elle n'est pas modifiée par un blocage neuronal proximal [65]. Si le refroidissement local était suffisamment important, une vasoconstriction généralisée était observée, ce qui confirme l'extension d'une réponse locale à une réponse systémique [66, 67]. Le refroidissement d'un doigt plongé dans l'eau glacée déclenche une vasoconstriction locale, mais qui n'est pas accompagnée d'augmentation de la pression artérielle à distance, alors que l'immersion de la main dans l'eau froide déclenche l'augmentation d'une réponse systémique (humérale ou digitale sur le membre supérieur controlatéral) [39, 58]. Pour la même température d'eau, le degré de stimulation est donc bien différent en fonction de la surface concernée (peau de deux phalanges contre surface totale d'une main), ce qui traduit la gradation d'activation des réponses : vasoconstriction réflexe localisée ou étendue à la circulation systémique, et de nature alors à stimuler à son tour les baroréflexes artériels. Plusieurs caractéristiques de ces mécanismes restent à préciser, notamment les seuils de stimulation systémique : amplitude et vitesse du refroidissement... Il est intéressant de noter que des réponses systémiques analogues (vasoconstriction avec augmentation de pression artérielle) médiées par la libération graduée de noradrénaline et d'adrénaline sont obtenues en refroidissant non pas la peau, mais le sang et les tissus profonds [63, 68].

III- Différentes formes de cryothérapie

Il existe différentes formes de cryothérapie. Nous pouvons distinguer la forme locale avec des poches de glace, cold pack, de gels, cryothérapie compressive, de sprays cryogènes ou encore de pulvérisation gazeuse, la forme plus globale et générale comme l'immersion en eau froide, et la cryothérapie corps entier (CCE) [69].

1 Méthodes de cryothérapie locale

La cryothérapie locale est depuis longtemps utilisée pour soulager les douleurs, limiter ou diminuer les inflammations et les œdèmes. Il existe plusieurs sortes de cryothérapie locale : T-shirts rafraîchissants munis d'accumulateurs thermiques, packs ou sacs de glace, immersion d'un ou plusieurs membres dans un bac d'eau glacée ou froide, sachets de petit pois congelés, massage avec de la glace, ventilateurs, … Toutes les techniques provoquant le refroidissement d'un membre sont exploitées. Un refroidissement local va en effet permettre d'augmenter les seuils d'apparition et de tolérance à la douleur en réduisant la vitesse de conduction nerveuse [70] et en diminuant la réponse du système nerveux autonome [71].Cette diminution peut être expliquée par la stimulation des mécanismes inhibiteurs des nocicepteurs ou encore par la réduction de leur sensibilité [72]. Il faut cependant prendre en compte que la température cutanée atteinte avec la cryothérapie est un facteur primordial dans l'obtention d'un effet analgésiant. Les différentes méthodes de cryothérapies locales vont induire des refroidissements tissulaires différents. Les réponses physiologiques ne seront alors pas les mêmes. Il a été démontré que pour créer une analgésie locale, la température cutanée doit descendre en dessous de 13,6 °C [73] , pour diminuer la vitesse de conduction nerveuse de 10 %, en dessous de 12,5 °C [74] , et pour ralentir l'activité enzymatique métabolique de 50 %, entre 10 et 11 °C [75]. Le tableau I met en avant les différentes températures cutanées relevées dans plusieurs études scientifiques sur l'application du froid avec diverses méthodes et sur diverses parties du corps [76]. Il est intéressant de voir que la température cutanée varie en fonction des méthodes et des temps d'applications.

La cryothérapie locale est utilisée pour plusieurs types d'inflammations : Les inflammations chroniques (arthrites, polyarthrite rhumatoïde, spondylarthrite ankylosante, …) ou les inflammations aigües (œdèmes, rougeurs, …) due à une activité physique ou à un coup [77].

Tableau I : Traduction du tableau de Chesterton et al sur les études réalisées sur la diminution de la température cutanée en fonction de plusieurs méthodes de cryothérapie locale et de leurs durées d'applications [76].

Etude	Méthode	Partie du corps	Temps d'application (min)	Diminution moyenne de la température cutanée (°C)
Lewis	Immersion en eau froide	Doigt	12	26,1
Bugaj	Massage glacé	Mollet	10	26,6
Lewis et Clayfield	Massage glacé	Mollet	15 (s)	7,0
Mcmeeken et al	Pack de froid	Bras	20	17,7
Belitsky et al	Pack cryogène	Mollet	15	8,4
Knight et al	Pack de gel	Cuisse	30	20,5
McMeeken et al	Pack de glace	Bras	20	25,6
Belitsky et al	Pack de glace	Mollet	15	12,1
Mancuso et Knight	Pack de glace	Cheville	30	22,2
Belitsky et al	Sac de glace	Mollet	15	9,9
Knight et al	Sacs de glace Durakold	Cuisse	30	21,2

Note : Pack de glace, glace dans une serviette humide ; Sac de glace, glace dans un sac plastique

1-1 Eau, glace et dérivés

1-1-1 Eau

Du fait de sa grande conductibilité, l'eau est utilisée dans les traitements utilisant le froid ou la chaleur. L'utilisation d'eau pour obtenir un refroidissement des tissus est une technique simple et couramment utilisée. L'eau est appliquée soit à l'aide d'un tuyau d'arrosage, soit par immersion.

1-1-1-1 Eau appliquée avec un tuyau d'arrosage

- Modalités d'application :

L'eau appliquée à l'aide d'un simple tuyau d'arrosage est une méthode couramment utilisée en physiothérapie. Cette méthode présente un intérêt thérapeutique uniquement si

la douche est « baveuse » pour permettre un contact permanent avec le froid. L'eau doit avoir une température inférieur à 12°C, l'idéale étant de 4-5°C, ce qui est rarement le cas [78].

La pression du jet d'eau peut varier et alors permettre une action différente : les douches à faible pression ont une action proche de celle des bains mais agissent également sur les éléments nerveux sensitifs cutanés en « émoussant leur sensibilité » ; Elles combinent donc les effets obtenus par le froid et par un massage léger. Les douches à plus forte pression présentent l'avantage de masser plus efficacement [79].

- Avantages :

Les avantages sont la disponibilité et le coût négligeable en équipement. C'est une méthode qui réclame peu d'attention quant à l'hygiène, et il n'y a pas de danger de provoquer de la nécrose due à un froid trop intense [78].

- Inconvénients :

Cette technique ne permet pas d'atteindre des froids suffisants pour obtenir tous les effets bénéfiques de la cryothérapie et elle présente un inconvénient économique et écologique avec une consommation d'eau importante. C'est tout de même une méthode intéressante pour prévenir certaines pathologies sportives, comme les tendinites, lorsque l'eau est appliquée après un effort [78].

1-1-1-2 Immersion dans l'eau froide

- Modalités d'application :

Une autre méthode simple d'appliquer de l'eau froide, en particulier sur les membres, est l'immersion dans l'eau froide. Cette méthode provoque une rapide et importante diminution de la température tissulaire, et une immersion totale provoque rapidement une hypothermie. En physiothérapie, l'immersion dans des bains froids concerne donc essentiellement les parties distales des membres. De la glace pilée peut-être additionnée à l'eau pour abaisser la température de celle-ci. La température idéale du mélange se situe vers 4-5°C afin d'obtenir les effets recherchés ; Un thermomètre est alors utile pour contrôler la température de l'eau. Les bains froids entrainent un refroidissement sur une profondeur de 1 à 3cm. Par ailleurs, les bains peuvent être munis de jet aquatiques ou, de façon plus

courante, de mécanismes produisant des bulles dans l'eau (« bains bouillonnant ») : en plus de l'effet thermique, le massage anarchique produit par les bulles sur le corps permet un massage périphérique doux, stimulant mécaniquement les nerfs périphériques [79].

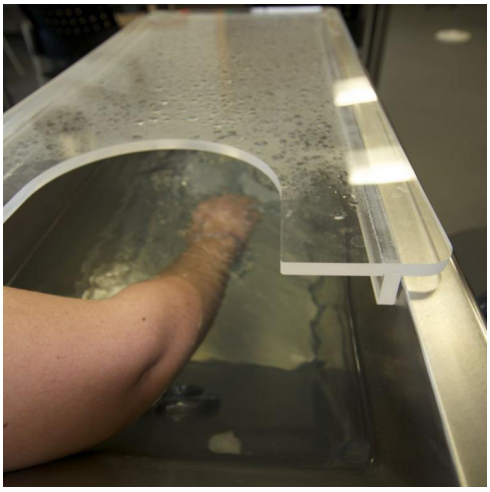


Figure 6 : Immersion dans un bain d'eau froide à 14°C après séance de rééducation d'une patiente traumatisée au poignet [80]

- Avantages :

Il s'agit d'une méthode simple et très efficace, et peu onéreuse. Cependant les spas d'eau froide et autres système d'hydrothérapie coûtent chères et nécessitent des structures spécialisées [78].

- Inconvénients :

Il faut se montrer prudent lors de l'utilisation des bains en période post-chirurgicale en raison des risques de contaminations septiques de la plaie et de ramollissement de la cicatrice [78].

1-1-2 Glace

La neige et la glace ont sans doute été les premières manières d'utiliser les vertus du froid en médecine. Actuellement, la glace peut être fabriquée

- Sous forme de cube : les cubes sont fabriqués en réfrigérateur ou en machine à glaçons [81]

- Sous forme de glace pilée : la fabrication de glace pilée a permis l'utilisation souple et malléable de la glace que l'on peut modeler autour d'une articulation ou d'un membre, améliorant ainsi son efficacité. Il s'agit de glaçons de petites tailles fabriqués par écrasement ou dans machine à glace pilée [81, 82].

1-1-2-1 Vessie de glace

- Modalités d'application :

La glace est le plus souvent contenue dans une poche de glace, appelée vessie de glace. Elle est appliquée directement sur la peau ou à travers un linge humide ou un sac en plastique. L'inconvénient de la glace placée dans une serviette humide est l'eau qui s'égoutte. L'utilisation de la vessie en latex a permis d'avoir un produit hygiénique, souple et étanche. Largement utilisée au quotidien, notamment dans les hôpitaux, elle s'utilise toujours [81, 83, 84]. Chez les patients sensibles au niveau cutané, il faut interposer un linge entre la peau et la vessie de glace. Dans ce cas, il est nécessaire que ce soit un linge humide : en effet, l'humidité est un bon conducteur thermique à l'inverse du linge sec, qui retarde et limite la chute de la température cutanée. Les poches à glace, aussi appelées « icepack », épousent mieux tous les reliefs, évitant alors la formation de poches d'air isolantes qui retardent ou empêchent le choc thermique. Classiquement, les poches de glace sont appliquées pendant une durée de 15 à 30 minutes [85]. (Figure 7).

Il s'agit du mode de cryothérapie le plus utilisé [5].

Figure 7 : Poche traditionnelle de glace [1].

- Prix : Entre 35 et 80 Dhs.

- Avantages :

Coût négligeable, matériel et mise en place simples, permet un glaçage prolongé et régional et effets durables après glaçage.

- Inconvénients :

Lorsque la glace est contenue dans une enveloppe non hermétique (linge, sac à glaçons), l'eau s'en écoule au fur et à mesure que la glace fond.

- Profil thermique :

Température cutanée aux alentours de 10°C

1-1-2-2 Massage à la glace

- Modalités d'application :

Pour le massage à la glace, un gobelet en plastique est remplit d'eau à ras bord et placé au congélateur à -18°C. Il est ensuite appliqué pendant 5 à 10 minutes sur l'aire douloureuse en massages circulaires ou longitudinaux selon la zone ou la structure à glacer (ce n'est pas une application statique qui est contre-indiquée). Le massage à la glace constitue ainsi une des techniques de cryothérapie des plus économiques, des plus simples mais aussi des plus efficaces : en effet le froid humide est plus efficace que le froid sec, et permet une pénétration du froid relativement profonde. Là aussi, l'inconvénient du massage à la glace est qu'à mesure que la glace fond, l'eau s'écoule. Le massage à la glace est indiqué pour diminuer la douleur et l'inflammation dans une zone localisée. Il convient d'être prudent et de ne pas appliquer la glace plus de 30 minutes au risque de voir apparaître des effets secondaires. De plus, il semble que la température baisse significativement dans les 10 premières minutes puis la baisse de la température est moins marquée entre 10 et 20 minutes.

Les méthodes de cryothérapie utilisant la glace sont plus efficaces lorsqu'elles sont appliquées un certain temps après leur sortie du congélateur car la glace en fusion est plus efficace pour refroidir les tissus. Ainsi, pour un meilleur résultat, le moyen cryogène doit être

sorti du congélateur et mis au frigo 5 minutes avant l'application pour le massage à la glace, et 10-15 minutes pour les poches à glace [17, 79].

- Avantages :

Coût négligeable, encombrement réduit, possibilité de glacer une zone très localisée et analgésie superficielle rapide.

- Inconvénients :

Fonte du glaçon, température inconstante du glaçage au fur et à mesure de la fonte et glaçage de courte durée.

- Profil thermique :

Température cutanée aux alentours de 15°C.

1-1-3 Dérivés de la glace

1-1-3-1 Poches ou compresses froides (Cold Packs) (Figure 8)

- Modalités d'application :

Les poches réfrigérantes, aussi appelées packs à froid ou cold packs sont des poches en plastique ou en tissus remplies d'un gel cryogénique, de boues thermales, d'argile. Il existe également des compresses à base de graines de lin. De nombreux types et modèles de packs sont proposés par divers fabricants. Certains sont d'utilisation mixte par absorption soit de chaleur (par chauffage au micro-ondes) pour l'application de chaud, soit de froid (par mise au congélateur) pour la cryothérapie.

Le gel contenu dans ces poches contient de la gélatine ou un produit antigel : ainsi, le pack garde une certaine souplesse une fois congelé, permettant alors un modelage autour de la zone à refroidir. Certains gels sont plus efficaces que la glace mais entraînent un risque important de nécrose tissulaire par contact prolongé [86-88]. Cependant, il semblerait que l'adjonction d'un produit antigel diminue l'efficacité du refroidissement.

Pour garder une capacité de maintien d'un froid efficace pendant toute la durée du traitement, les cold packs doivent être conservés de préférence à -18°C entre leur

utilisation. Le compartiment à glace du réfrigérateur, dont la température est d'environ -3°C ne permet pas un refroidissement suffisant pour une cryothérapie efficace. En effet, les cold packs congelés à -18°C conservent une température négative pendant 1h à 1h30, alors que s'ils sont conservés à -3°C, ils retrouvent une température positive en 15-20 minutes [17].

Par ailleurs, afin d'éviter les risques de lésions cutanées, les packs à froid ne doivent pas être appliqués directement sur la peau, mais enveloppés dans un linge froid, de préférence humide pour permettre une plus grande efficacité en vitesse et en degrés de refroidissement des tissus. Pour abaisser la température cutanée à 15°C, il faut une application minimale de 20 minutes. Il est donc recommandé d'appliquer les cold packs pendant une durée comprise entre 20 et 30 minutes. Il arrive que le patient manifeste des signes d'intolérance ou d'inconfort : dans ce cas, on peut être amené à réaliser des applications intermittentes avec des arrêts de 1 minute [89].

Il existe des dispositifs plus adaptés à la région à traiter car ils enveloppent mieux la zone comme par exemple les bandes tubulaires de refroidissement : Il s'agit de tube remplit d'un gel refroidissant conservé au réfrigérateur dans un conditionnement de type « boite de conserve » qui s'utilise comme un bandage à enrouler autour de la zone à traiter. Elles sont à usage unique [17].

Figure 8 : Packs à froid constitués de gel [78].

- Prix : Entre 60 et 90 Dhs.

- Avantages :

Coût acceptable compte tenu de la réutilisation possible et de l'efficacité accrue par rapport aux méthodes précédentes. Utilisable sur le terrain (sac isotherme), possibilité de l'utiliser à l'inverse, en compresse chaude et très bonne qualité de refroidissement.

- Inconvénients :

- Les packs de gel sont d'efficacité moindre que la glace : en effet, ils ont tendance à voire leur température remonter rapidement au cours du traitement, contrairement à la glace qui garde pendant toute la durée du traitement une température négative, permettant un refroidissement plus rapide, plus intense et surtout plus constant, même si elle a tendance à fondre. Le produit contenu dans ces poches peut être toxique en cas d'ingestion.

- Nécessite la réfrigération au congélateur pendant 2 heures.

- Si la poche se perce, elle est perdue

- Brûlures assez fréquentes

- Profil thermique :

- Température cutanée entre 5 et 10°C

1-1-3-2 Sachet à cristaux cryogènes instantanés

- Modalités d'application :

Une autre variante est représentée par les sachets à cristaux cryogènes instantanés : il s'agit d'une poche divisée en deux compartiments, l'un contenant de l'eau et le second des cristaux de nitrate d'ammonium (également appelés nitrate d'ammoniaque ou salpêtre d'ammonium, font partie de la famille des sels inorganiques. Ils se présentent sous la forme de cristaux blancs, inodores, hygroscopiques). Lorsque l'eau et les cristaux rentrent en contact, par compression du dispositif, il en résulte une réaction chimique endothermique produisant du froid. Ils sont à usage unique même s'il est possible de les réutiliser comme des cold packs par la suite [17, 76, 79].

Ils sont utilisés dans les milieux sportifs et dans les secteurs d'activité où la production de froid est complexe [90].

La durée de refroidissement efficace (<15°C) est de 28 minutes et le pic d'efficacité se situe à la 11ème minute [5].

Figure 9 : Cold Packs avec Sels de nitrate d'ammonium [91].

- Avantages :

Il s'agit d'un système permettant de produire du froid instantanément et facilement transportable [78].

- Inconvénients :

C'est une technique onéreuse, peu écologique, permettant une température de refroidissement efficace mais fluctuante rapidement [5].

1-1-3-3 Sac de petit pois

- Modalités d'application :

Les sacs de petits pois congelés peuvent très bien dépanner, de plus qu'ils épousent bien les reliefs. Chez l'Homme, il a été montré que l'application d'un sac de petits pois surgelés permet d'obtenir une température de la peau suffisante pour induire une analgésie cutanée localisée, une réduction de la vitesse de la conduction nerveuse, et une diminution de l'activité enzymatique du métabolisme à des niveaux cliniquement pertinents [78].

- Avantages :

En dépannage, les sacs de petits pois congelés peuvent représenter une bonne alternative aux packs à froid en cas de nécessité [78].

- Inconvénients :

Le froid produit est tout de même relativement limité.

1-2 Cryothérapie compressive

1-2-1 Cryothérapie compressive statique (Cryo-Cuff)

- Modalités d'application :

La cryothérapie compressive associe cryothérapie et compression localisée. Il s'agit d'un système composé d'une glacière et de manchons (correspondant à des cold packs) : la glacière génère une source de froid en continu et alimente le manchon par un système de circulation. La circulation de l'eau est basée soit sur le principe des vases communicants, le réservoir doit alors être surélevé afin de permettre le remplissage du manchon (Figure 10), soit une pompe permet la circulation de l'eau froide dans le manchon réfrigérant. Le cold pack reste donc à une température constante pendant toute la durée du traitement [78].

Figure 10 : Appareil Cryocuff [91].

Des études cliniques, réalisées chez l'homme, ont montré que le traitement par contention compressive froide permet de réduire la tuméfaction postopératoire, d'atteindre une mobilité précoce et une réduction de la douleur engendrant un retour à la fonction plus rapide. De plus, comparée aux cold packs, la cryothérapie compressive assure une température à l'interface peau-compresse plus stable, une température minimale plus basse et une chute de température plus importante. Elle permet de réduire de manière optimale les œdèmes, les hématomes et la douleur lors d'inflammation aigue [92]. (Figure 11).

Une autre étude, réalisée chez l'homme, a comparé l'efficacité clinique de la cryothérapie seule et de la cryothérapie associée à une compression. Les résultats indiquent que la combinaison de la cryothérapie et d'une compression après une chirurgie de reconstruction de ligament croisé crânial permet une meilleur amélioration fonctionnelle, un soulagement de la douleur à court terme et diminue la probabilité de dépendance aux narcotiques [93].

Figure 11 : Système de cryothérapie Cryo Cuff [78].

- Prix : Entre 1200 et 2200 Dhs.

- Avantages :

Il s'agit d'un système de cryothérapie efficace (de par son association du froid et de la compression), pratique, adaptable à la région à traiter, très adapté aux articulations,

portatif, la température est constante dans le temps et le froid utilisé est un froid sec donc mieux toléré.

- Inconvénients :

La cryothérapie compressive est un système relativement couteux.

- Profil thermique :

Température cutanée entre 5 et 10°C.

1-2-2 Cryothérapie compressive intermittente

- Modalités d'application :

La cryothérapie compressive intermittente permet d'appliquer du froid sec à température constante, auquel l'on peut associer une compression active modulable et intermittente. L'alternance de compression et de relâchement favorise la circulation sanguine et le drainage des molécules néfastes. Le traitement peut être adapté en choisissant le niveau de compression, la durée du traitement et, pour certains appareils, la température.

Il s'agit d'un appareil portable, utilisable sur le terrain. Les bénéfices séparés de la cryothérapie et de la compression externe intermittente semblent amplifiés lorsque les deux modalités thérapeutiques sont combinées. La compression externe aide à restaurer les processus physiologiques normaux dans les tissus endommagés et augmente la profondeur de la baisse de température obtenue par l'application de froid à la surface de la peau. L'importance et l'amplitude du refroidissement des tissus sont augmentées par la combinaison de ces deux moyens thérapeutiques, comparé aux effets de l'application de froid sans compression. Plus la compression est importante, plus le temps pour refroidir les tissus est raccourci [90].(Figure12).

Le système se compose d'une unité de commande, remplie d'eau et de glace, et reliée par un tube flexible à une enveloppe ergonomique qui se fixe autour de la zone à traiter. Il existe plusieurs types d'enveloppes, adaptées en fonction de la zone d'application du froid. Elles comprennent un échangeur de chaleur avec deux chambres internes séparées, une pour l'air et l'autre pour l'eau ; Cela assure l'application simultanée d'une compression

intermittente via la variation de pression de la chambre à air et d'une cryothérapie réglable. Ce système permet d'ajuster le niveau de compression et de température : il est donc facilement adaptable à la pathologie et à la tolérance du patient. La compression est intermittente et sa valeur peut être réglée entre 0 mmHg et 75 mmHg. L'eau froide circule rapidement du réservoir de glace de l'unité de commande par le flexible de raccordement vers l'enveloppe, avant de la rediriger vers le réservoir à glace. Grâce à sa boucle continue, le système permet une cryothérapie à température constante. Le froid utilisé est sec ce qui permet son application directement sur les bandages et peut être mieux toléré que la glace sur la peau. Cet appareil est portatif et autonome grâce à une batterie, il peut donc être facilement employé sur le terrain. Enfin, la largeur du pack permet de couvrir une grande zone et de faire tout le tour d'un membre [78].

Il a été démontré que le processus de guérison des lésions des tissus mous est amélioré, avec un retour à une activité fonctionnelle plus rapide, lors d'utilisation de la cryothérapie compressive intermittente. Le mécanisme d'action qui permet l'amélioration de la guérison des tissus mous est hypothétique et inclus l'amélioration de la vascularisation, la production de monoxyde d'azote et la diminution des médiateurs de l'inflammation. Le flux sanguin serait amélioré par la stimulation de la production de monoxyde d'azote NO, par les cellules endothéliales au niveau de la zone traitée. En outre, la production de monoxyde d'azote inhibe l'agrégation plaquettaire et l'adhérence des polynucléaires neutrophiles. En résumé, la compression intermittente pandémique permet de stimuler la guérison tissulaire, d'augmenter le débit sanguin et d'apporter de l'oxygène sur le site lésionnel, d'optimiser le drainage lymphatique, et de mimer la contraction musculaire, améliorant ainsi la résorption de l'œdème [94].

La comparaison de l'efficacité de la cryothérapie avec compression statique (utilisation de glace et d'un pansement compressif) et de la cryothérapie avec une compression intermittente a été menée chez 89 patients humains justes après une chirurgie du genou. Les résultats montrent que le groupe traité avec la cryothérapie compressive intermittente permet un meilleur rétablissement physique et fonctionnel ainsi qu'une diminution plus importante de la douleur et un gonflement des tissus moins important. En conclusion, cette

étude indique que la cryothérapie compressive intermittente permet une amélioration et une accélération des capacités physiques plus rapidement après la chirurgie, réduit la douleur en postopératoire, et permet de démarrer plus rapidement la phase de rééducation et un retour précoce aux activités quotidiennes, par comparaison à la cryothérapie compressive statique [94].

Figure 12 : Type de matériel utilisé en cryothérapie compressive intermittente et exemples d'utilisation [78, 95, 96].

- Prix : Entre 15000 et 57000 Dhs.

- Avantages :

Cet appareil semble constituer un système de cryothérapie efficace, pratique, adaptable à la région à traiter, portatif, le froid utilisé est un froid sec donc mieux toléré, et la température est réglable et stable dans le temps.

- Inconvénients :

L'appareil coûte relativement cher à l'achat, mais son coût de fonctionnement est faible [78].

1-3 Cryothérapie par conduction moderne

- Modalités d'application :

L'utilisation de glace se révèle efficace mais la température n'est ni constante, ni vérifiable. La cryothérapie par conduction moderne est constituée d'un « glaçon artificiel » qui garde une température prédéfinie, de manière constante, régulière et vérifiable, tout en gardant l'efficacité de la glace. Le froid est produit par un module thermoélectrique par un effet Peltier [78].

En 1822, Thomas Seebeck découvre le phénomène du courant thermoélectrique se produisant dans un circuit fermé, formé de conducteurs différents dont les jonctions sont à des températures différentes. Vers 1834, Jean Charles Athanase Peltier découvre les anomalies de température aux jonctions de conducteurs de nature différente soumis à un courant continu. En fait, ils ont tous deux découvert le même phénomène mais de façon inverse ! Les propriétés des circuits thermoélectriques ont été démontrées de manière précise par E. Altenkirch en 1919. La découverte des semi-conducteurs au milieu du 20ème siècle a permis d'exploiter ce phénomène [97].

Cet effet fait que l'une des jonctions se refroidit légèrement pendant que l'autre se réchauffe légèrement. L'effet peut-être suffisant pour faire apparaître du givre. Une Cellule à Effet Peltier (CEP) appelée aussi module thermoélectrique, est un assemblage d'éléments semi-conducteurs, entre deux semelles conductrices de la chaleur. Si l'on fait passer un courant électrique continu dans un tel montage, il apparaît une « face froide » qui absorbe des calories, et une « face chaude » qui dégage des calories. Une CEP est donc une pompe à chaleur, c'est-à-dire un dispositif capable de prendre des calories à une source froide pour les restituer à une source chaude [17].

Une CEP peut être utilisé :

- Soit en refroidissement : la source froide est alors le milieu à refroidir, la source chaude est l'air ambiant ou un autre fluide de refroidissement.
- Soit en chauffage : la source froide est l'air ambiant, ou un autre fluide de chauffage, la source chaude est le milieu à réchauffer.

Une des propriétés remarquables des CEP est qu'il suffit d'inverser le sens du courant d'alimentation pour passer du mode refroidissement en mode chauffage, et inversement, ce qui permet de réaliser des applications mixtes, néanmoins l'essentiel des applications des CEP se trouve dans le domaine du refroidissement.

Ce type de refroidissement obtenu à basse puissance (quelques dizaines de Watts) permet un écart de température limité entre source chaude et froide, jusqu'à 50°C environ. La température négative peut atteindre -30°C à la surface de la CEP.

Utilisé en médecine de rééducation pour la douleur et l'œdème ainsi qu'en médecine esthétique, ce système permet un refroidissement par conduction au niveau de la peau [98, 99]. (Figure 13). Le traitement se fait classiquement en deux phases : Lors de la 1ère phase, la tête est portée à -5°C pendant 30 secondes à 1 minute jusqu'au choc thermique, puis, lors de la 2ème phase, la tête est portée à +5°C pendant 15 à 20 minutes pour stabiliser la température cutanée. Il est possible d'associer à cette méthode de cryothérapie une compression à l'aide d'un bandage [79].

Figure 13 : Appareil de cryothérapie par conduction moderne UNIPHY Kryotur 600 [78].

- Avantages :

L'avantage est que le « glaçon » ne fond pas et la température est constante.

- Inconvénients :

L'appareil est onéreux, et très peu utilisé en médecine et physiothérapie humaines.

- Précautions d'usage :

Eviter un contact prolongé pouvant créer une gelure.

1-4 Cryothérapie gazeuse

1-4-1 Cryothérapie gazeuse à l'azote liquide

Dans les années 1980, Yamauchi au Japon, suivi de Fricke en Allemagne, utilisent l'azote liquide (-196 °C) vaporisé [11, 12]. Dans un vase de Deware, dans lequel est installé un tube muni d'une résistance électrique, après chauffage de l'azote, ils obtiennent un nuage de vapeur d'azote à -120°C qu'ils appliquent par vaporisation et balayage sur la zone cutanée à traiter. Les importantes pertes de charge autorisent toutefois, un refroidissement rapide de l'ordre de -100°C.

L'expérimentation clinique a montré le bénéfice de cette technique qui permet de diminuer la prise de médicaments anti-inflammatoires chez des patients atteints de rhumatismes inflammatoires chroniques [12, 13].

La comparaison du refroidissement des tissus superficiels et profonds (5 à 25 mm) lors de cryothérapie par azote liquide vaporisé et par glace (vessie de glace) appliquée sur la cuisse et l'avant-bras a montré que la cryothérapie à l'azote liquide induisait une diminution des températures superficielles et profondes plus importantes et plus rapides , et des réactions vasomotrices plus précoces et plus intenses qu'avec la glace. L'hyperhémie réactionnelle au froid est également plus intense qu'après un traitement à la glace. Il apparaît que le facteur primordial intervenant dans le déterminisme du type de réponse soit l'intensité de la stimulation associée à une vitesse de refroidissement élevée, pour aboutir à ce qu'on appelle le « choc thermique » [100].

Cette technique a par contre des contraintes de sécurité et d'utilisation. L'azote évaporé diminue notablement la fraction d'oxygène dans l'ambiance, ce qui nécessite un renouvellement régulier de l'atmosphère de l'enceinte où se déroule le soin. D'autre part, l'enceinte contenant l'azote ne peut être close (variation de pression). Il s'en suit une perte importante de gaz par évaporation naturelle (environ 48%).

Pour toutes ces raisons et malgré l'important pouvoir refroidissant de l'azote, cette technique est pratiquement abandonnée [100].

- Posologie :

Après réchauffage et évaporation de l'azote, le traitement consiste en un balayage permanent de la zone à traiter. Le temps de balayage est fonction de la surface à traiter.

De façon habituelle, le traitement dure environ deux à trois minutes. La fréquence des séances était de l'ordre d'une par jour dans les soins d'urgence ou pour des douleurs aigues et de trois par semaine pour un suivi des patients en phase chronique [17].

- Sécurité :

Plusieurs sociétés ont développé ce matériel en le perfectionnant en raison du risque important de gelure cutanée [17].

1-4-2 Cryothérapie gazeuse hyperbare à l'air froid (Cryothérapie par air pulsé)

La cryothérapie hyperbare à l'air froid ou cryothérapie par air pulsé est un procédé par convection, né en Allemagne dans les années 1980 [11] qui consiste à refroidir de l'air afin d'obtenir un jet d'air froid dont la température varie entre -30 et -50°C à la sortie de l'appareil. L'air ambiant est aspiré à travers un réservoir à très basse température (-60°C) où il est refroidi et propulsé sous pression à un débit de 300 à 700 L/minute sur la zone à traiter avec un émetteur qui peut être muni d'embouts de différents diamètres.

Cette méthode permet d'obtenir un choc thermique avec un abaissement de la température cutané à 5°C en 30 secondes [11, 101-105]. Selon l'étendue de la zone

à traiter, le traitement dure ensuite de 1 à 5 minutes par balayage de la peau avec le jet froid à une distance de pulvérisation de 10 à 20 cm [17].

Cette technique est utilisée dans la traumatologie sportive pour traiter la douleur, l'œdème et l'hématome. (Figure 14).

- Avantages :

La cryothérapie hyperbare à l'air froid constitue une technique de cryothérapie très efficace et ne nécessite pas de consommables, ce qui revient à la longue moins chère qu'un appareil à cryothérapie au CO2. En outre, il y a peu de réactions cutanées et de gelure [78].

- Inconvénients :

Le prix de l'appareil est élevé et le compresseur est volumineux ce qui le rend non transportable et donc pas adapté à une activité ambulante ou de terrain. De plus, la pression du jet est nettement moindre que celle des appareils de cryothérapie gazeuse au CO2, ce qui pourrait diminuer l'efficacité du choc thermique [78].

Figure 14 :Appareil de cryothérapie par air pulsé [106].

1-4-3 Cryothérapie gazeuse hyperbare au dioxyde de carbone

Au début des années 1980, Christian Cluzeau, un kinésithérapeute, mène des recherches plus approfondies sur le froid. En 1993, il dépose un brevet pour une nouvelle méthode de cryothérapie par sublimation, utilisant, cette fois, du CO2 liquide. A partir d'une bouteille de gaz carbonique médical, mise à 50 bars de pression, on aboutit à la production d'un froid de -78°C à la sortie de l'appareil. Cette température est facilement supportable en raison du gaz parfaitement sec. En se détendant jusqu'à la pression atmosphérique, l'anhydre carbonique se trouve sous deux formes : solide et gazeuse. C'est la phase solide, appelée carboglace, qui permet de soutirer le maximum de chaleur au niveau de la peau du patient, par sublimation à son contact. Ce procédé consiste à pulvériser un jet de microcristaux de neige carbonique (carboglace) au moyen d'un diffuseur alimenté par un réservoir de carbone en phase liquide. Le jet est utilisé pour balayer la peau à une distance de 15 cm environs, ce qui, pour une température ambiante de 15°C, délivre sur la peau une pression de 2.2 bar. Les microcristaux de carboglace vont immédiatement se sublimer à la surface de la peau, permettant une chute très rapide de la température cutanée et créer sur le tissu cutané un choc thermique, appelé sublimation transcutané, en raison de la rapidité et de l'amplitude de l'abaissement de la température cutanée (environ 1°C/s) : la température cutanée peut ainsi descendre de 32-33°C jusqu'à 4°C en 30 secondes à 1 minute de vaporisation. Après 2 minutes de traitement, le refroidissement est égal, voire supérieur, à une application de 20 minutes de glace. Cette rapidité de refroidissement est déterminante pour stimuler les thermorécepteurs : en effet, avec un refroidissement plus lent, un plus grand abaissement de la température est nécessaire pour les activer car le seuil de stimulation est sensiblement relevé. Les appareils sont en général munis d'un capteur, sensible au dixième de degré près, qui avertit le thérapeute dès que la peau atteint les 2°C. Parmi les techniques existantes permettant de mesurer une température, les plus intéressantes en cryothérapie sont regroupées en trois catégories : les sondes résistives, les timbres thermosensibles autocollants et les pyromètres à distance, en particulier les pyromètres à infrarouge ; Cette dernière catégorie, fonctionnant sur le principe que tout corps émet un rayonnement proportionnel à sa température à la puissance 4, correspond bien au caractère autonome et portable. De plus, les pyromètres à infrarouge sont capables d'effectuer des mesures extrêmement rapides

et précises, sous réserve de bien adapter la distance focale du pyromètre. Pour maintenir la température constante par la suite, il suffit d'augmenter la distance de pulvérisation [17].(Figure 15).

Différents appareils ont vu le jour, les plus récent sont autonomes (grâce à des cartouches de CO2) et portatifs, donc adaptés aux terrains de sport, aux champs de courses et aux centres équestres. Des fonctions supplémentaires ont été rajoutées, comme la programmation du temps d'application, le niveau de charge de la bouteille de gaz et de la batterie, ou bien la visualisation de la surface de traitement par une lumière.

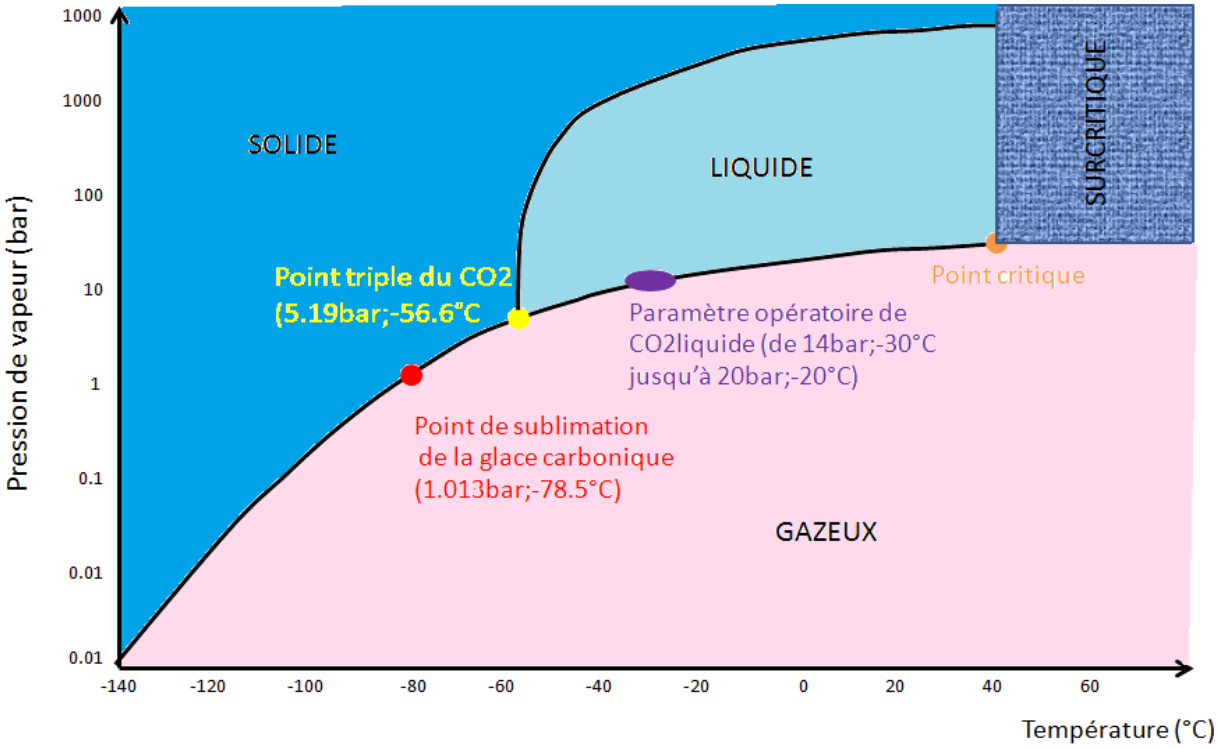


Figure 15 : Courbe d'équilibre du CO2 avec représentation du changement d'état en fonction de la pression et de la température [78].

- Commentaires :

Le dioxyde de carbone à l'état gazeux est liquéfié sous pression dans la bouteille. En passant dans l'air ambiant, le gaz liquéfié se détend très rapidement. Sous l'effet de cette détente, la température du CO2 diminue brusquement et le liquide passe à l'état solide sous forme de microcristaux de carboglace extrêmement froids. Cependant, à température

ambiante et pression atmosphérique, le dioxyde de carbone passe directement de l'état solide à l'état gazeux au contact de la peau : ce changement d'état est désigné par le terme de «sublimation». Le point triple est un point unique où les courbes de changement d'état sont concourantes : en ce point, les trois phases (solide, liquide, gaz) coexistent, c'est-à-dire que les trois équilibres entre phases sont simultanément observés. La pression du point triple correspond à la pression la plus basse à laquelle le liquide peut exister. La courbe de vaporisation s'arrête en un point, appelé le point critique, dont les coordonnées sont caractéristiques du corps pur considéré [107].

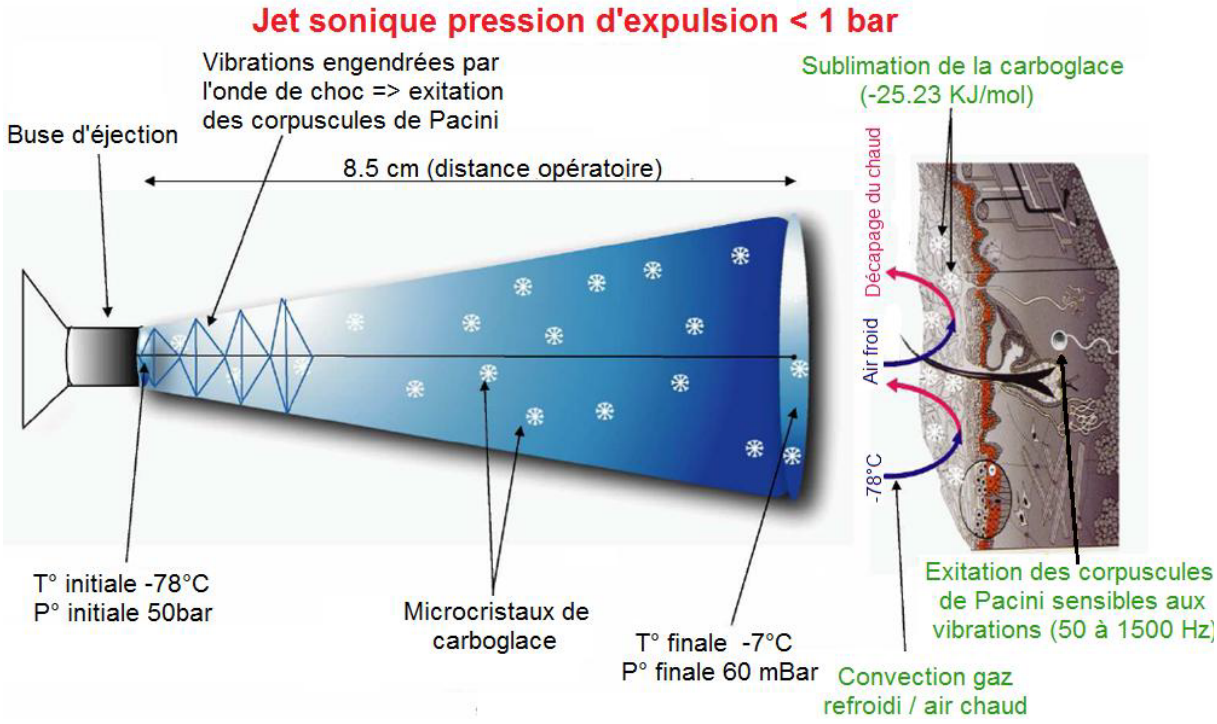


Figure 16 : Principe du fonctionnement de la cryothérapie gazeuse hyperbare au CO2 et son action au niveau de la peau [17].

Figure 17 : Pistolet utilisé pour la cryothérapie gazeuse hyperbare au CO2 [78].

Figure 18 : Appareil de cryothérapie gazeuse hyperbare au CO2 Cryo One avec la bouteille de gaz et les recharges [78].

Figure 19 : Pistolet d'éjection du gaz de l'appareil de cryothérapie gazeuse hyperbare au CO2, ses cartouches de gaz et sa bouteille de gaz [78].

Il est préconisé un traitement en deux étapes [17]:

- La 1ère étape consiste à créer un choc thermique par pulvérisation à 10-15 cm de la zone pendant 30 secondes à 1 minute en fonction de la surface à traiter, jusqu'à obtenir une température cutanée de 4°C. Une pulvérisation trop proche des tissus engendre une douleur pour le patient en raison de la pression élevée, tandis qu'une pulvérisation trop éloignée ne permet pas un abaissement suffisant de la température pour déclencher un choc thermique. Le cône d'éjection en sortie de buse doit toujours être perpendiculaire à la surface à traiter afin d'éviter tout phénomène de pulvérisation tangentiel, pouvant amener à une irrégularité du refroidissement entre les différentes zones de la surface balayée et un risque de point de fixation pouvant entrainer un point de nécrose du fait du pouvoir refroidissant très important. Afin d'éviter toute lésion tissulaire par gelure, il faut réaliser un balayage lent et régulier de la zone à traiter : des cristaux de carboglace apparaissent et disparaissent, ils ne doivent pas se fixer mais il faut qu'ils soient visualisés car ils sont à l'origine de la réaction par sublimation responsable de l'exothermie cutanée nécessaire pour déclencher le choc thermique. Il est donc impératif de réaliser une mesure instantanée de la température pendant le traitement avec un thermomètre laser infrarouge, même si l'appareil est muni d'un capteur permettant d'avertir par un signal lumineux dès que le choc thermique est réalisé (température comprise entre 2 et 4°C). L'abaissement

de la température ne sera jamais inférieur à 2°C, pour la raison que l'ensemble des récepteurs cutanés est saturé entre 2 et 4°C. Ainsi, aucune réaction physiologique ne se produira au-delà de cette température alors que le risque de lésions cutanées augmente.

- La 2ème étape consiste en une stabilisation et au maintien de la température grâce à un balayage lent (5cm/s), à rebrousse poils, plus large, à une distance 25-30 cm de la peau pendant 30 à 90 secondes. La fréquence d'application doit-être de 1 à 4 applications par jour pendant 3 jours, puis une fois par jour, jusqu'à 5 jours si nécessaire : comme les effets semblent être durables, cette courte période de traitement est habituellement suffisante pour observer des résultats. Dans le cas des contractures et points détentes (trigger points) aigus une seule séance peut suffire.

- Indications :

Les indications de la cryothérapie gazeuse hyperbare sont les affections tendineuses, ligamentaires et musculaires, les hématomes (il est impératif d'intervenir très rapidement, dans les heures qui suivent sa formation, sinon le traitement ne répondra pas si l'hématome est organisé), les œdèmes, les traumatismes péri-articulaires aigus, les contractures au stade aigue (le traitement se fait sur le point de sensibilité pendant 45 secondes puis le corps musculaire est balayé sur tout son trajet) et en postopératoire immédiat. Il faut particulièrement retenir que cette thérapeutique est souvent curative pour les douleurs aigues, particulièrement efficace sur les hématomes cutanés superficiels, et les douleurs musculo-squelettiques sont celles qui répondent le mieux à ce traitement. Il est contre-indiqué d'effectuer un exercice important dans les 3 heures après le traitement à cause des effets analgésiques et myorelaxant. Par contre, la cryothérapie peut être utilisée de manière préventive 3 jours avant un effort important pour décontracter les muscles. Il est nécessaire que la peau soit parfaitement sèche [17].

- Prix : L'appareil Cryo One coûte à peu près 35000 Dhs.

- Avantages :

Il s'agit d'une méthode de cryothérapie très efficace et mobile et donc adaptés aux exigences de la pratique de terrain. Le gaz pulvérisé étant pur et sec, on évite ainsi tout

problème d'asepsie, notamment lors des soins en postopératoire. De plus, ce gaz sec n'entraine aucun ramollissement des cicatrices.

- Inconvénients :

Il faut constamment renouveler le CO2, le coût d'utilisation de cette technique est donc plus élevé que celui des méthodes traditionnelles de refroidissement des tissus, les appareils de cryothérapie gazeuse hyperbare sont relativement chères [17, 78].

1-5 Sprays réfrigérants

Au début de leur utilisation, ces sprays contenaient du Chloro-fluoro-carbone (CFC) ; Cependant, depuis la convention de Montréal en janvier 1989, cette molécule a été proscrite en raison de son rôle destructeur sur la couche d'ozone, et remplacé par des alcanes ou par des produits à base de lanoline ou de butane. Ces sprays permettent la vaporisation d'un liquide volatil, qui au contact de la peau entraine une baisse de la température. Ils sont très utilisés sur les terrains de sport du fait de leur praticité. La température à la sortie du spray est de l'ordre de -20°C. Le refroidissement est très rapide mais l'action reste très superficielle et de courte durée. L'efficacité semble être moindre chez les animaux, du fait de la présence de poils et de l'épaisseur du tissu adipeux [17].

Ils sont appliqués en plusieurs courtes pulvérisations de 10 secondes d'un mouvement régulier et circulaire, de faible amplitude et centré sur la zone douloureuse, à une distance de 15 à 20 cm afin d'éviter tout risque de brûlure, jusqu'à apparition d'une fine couche de givre. Ensuite, pour entretenir le froid, une vaporisation plus large à 20 à 30 cm de la peau est réalisée pendant 10-20 secondes. La vaporisation ne doit pas dépasser les limites de la région douloureuse sous peine de provoquer des engelures dans les régions avoisinantes. Plusieurs types de gaz sont utilisés [17] :

1-5-1 Chlorure d'éthyle

Le chlorure d'éthyle encore appelé chloroéthane fait partie de la famille chimique des chloroalcanes. Il se présente sous forme d'un liquide limpide, incolore, que l'on peut pulvériser à l'aide d'un appareil de Dupuy de Frenelle (créé vers 1920) pour une anesthésie. C'est un agent de refroidissement par vaporisation à usage topique qui entraîne une forte

baisse de température par évaporation. Il est destiné essentiellement à l'anesthésie locale par réfrigération dans la lutte contre la douleur et pour les besoins de petites interventions chirurgicales [108, 109], en dermatologie et obstétrique (ex : abcès, furoncles, verrues, corps étrangers, hémorroïdes externes [110-112], ainsi qu'au soulagement des blessures sportives mineures [10, 113]. Il a été utilisé également comme révulsif pour le traitement de la douleur myofaciale (myalgies faciales) [114], de la limitation des mouvements et de la tension musculaire [114, 115].(Figure 20).

Figure 20 : Chlorure d'éthyle [116, 117].

- Posologie :

Anesthésie topique dans le cadre de petites interventions chirurgicales : Nettoyer le champ opératoire à l'aide d'un antiseptique approprié. Appliquer de la vaseline

pour protéger les zones adjacentes. Vaporiser le chlorure d'éthyle sur la zone à traiter, de façon continue, pendant 4 à 10 secondes, à une distance située entre 10 et 20 cm. Vaporiser jusqu'à ce que la peau devienne blanche ; attention à ne pas geler la peau, puis procéder rapidement à l'incision. La durée d'action de l'anesthésie est de quelques secondes à une minute [17].

- Contre-indications et précautions d'usage :

Le chlorure d'éthyle limité à un usage externe présente des contre-indications en raison de son effet narcotique et du risque de lésions de la fonction cardio-pulmonaire et des organes parenchymateux (cœur, foie, rein). Il ne doit pas être utilisé en anesthésie générale ni pour l'anesthésie par inhalation ainsi que dans le cas de plaies ouvertes.

Les risques locaux sont une atteinte cutanée par gelure [17].

1-5-2 Chlorofluorométhane

L'apparition des sprays réfrigérants de la famille des chlorométhanes encore appelé Fréon 31 a permis l'utilisation, essentiellement, en milieu sportif et dans le traitement de la douleur [118, 119], par glaçage en cas de soins d'urgence sur le terrain.

Faisant partie de la famille des HCFC (HydroChloroFluoroCarbone), la composition de ces sprays est interdite en raison de son impact sur la couche d'ozone.

La température à la sortie du spray est de l'ordre de -20°C [17].

1-5-3 Diméthylène et Butane

Les sprays réfrigérants de la famille des diméthylène et butane sont apparus après l'interdiction des HCFC à base de Fréon [119, 120].

Composés de gaz de butane associé souvent à des essences de menthe pour neutraliser l'odeur du butane, ils permettent un refroidissement équivalent à celui des Chlorofluorométhane. La température à la sortie du spray est de l'ordre de -20°C [17].(Figure 21).

- Prix : Environ 50 Dhs.

Figure 21 : Spray froid surnommé « la bombe magique » par les sportifs [121].

2 Méthodes de cryothérapie générale

Récemment, de nouvelles techniques de cryothérapie, non plus locales mais étendues au corps entier, sont apparues avec le développement de l'immersion en eau froide ou, plus récemment, de la cryothérapie corps entier (CCE) [13].

L'immersion en eau froide se distingue de la cryothérapie corps entier par le mode de refroidissement. En effet, dans l'immersion en eau froide il s'agit d'un refroidissement par conduction et non par convection comme en cryothérapie corps entier, ce qui change tout au niveau de la tolérance et au niveau du refroidissement en superficie et plus ou moins en profondeur (l'eau refroidit plus en profondeur que l'air [122]).

2-1 Immersion et nage en eau froide

Une des premières méthodes de CCE est la natation en eau froide. C'est est une activité pratiquée à la base dans les pays nordiques (Scandinavie, Russie, …). Elle va du barbotage simple de quelques secondes jusqu'au championnat du monde de natation en eau froide sur des distances de 1000 mètres et qui prennent plusieurs minutes (figure 22).

Figure 22 : Championnat du Monde de natation en eau glacée [123].

Cette coutume est relativement ancienne et était réalisée pour des raisons de santé. Pour ces nageurs de tout âge, l'immersion en eau très froide permet de diminuer les risques de tomber malade et d'améliorer leur tolérance face au stress de la vie quotidienne [124].

La seconde méthode utilisée proche de la natation en eau froide est l'immersion en eau froide. La différence avec la natation est que l'individu plongé dans l'eau reste immobile. Cette application peut être réalisée dans des bacs en tout genre (grande poubelle, baignoire, …). De la même manière que la cryothérapie locale, elle va être utilisée pour soulager les douleurs physiques [125]. Cette méthode a ensuite été développée dans le domaine du sport pour accélérer la récupération après exercice physique [126-128]. Il n'est pas nouveau de voir des joueurs de rugby se glisser dans des bacs d'eau et de glaces à la fin d'un match, ou encore des coureurs de fond debout dans des rivières avec de l'eau froide jusqu'à la taille à la fin de leur effort (figure 23).

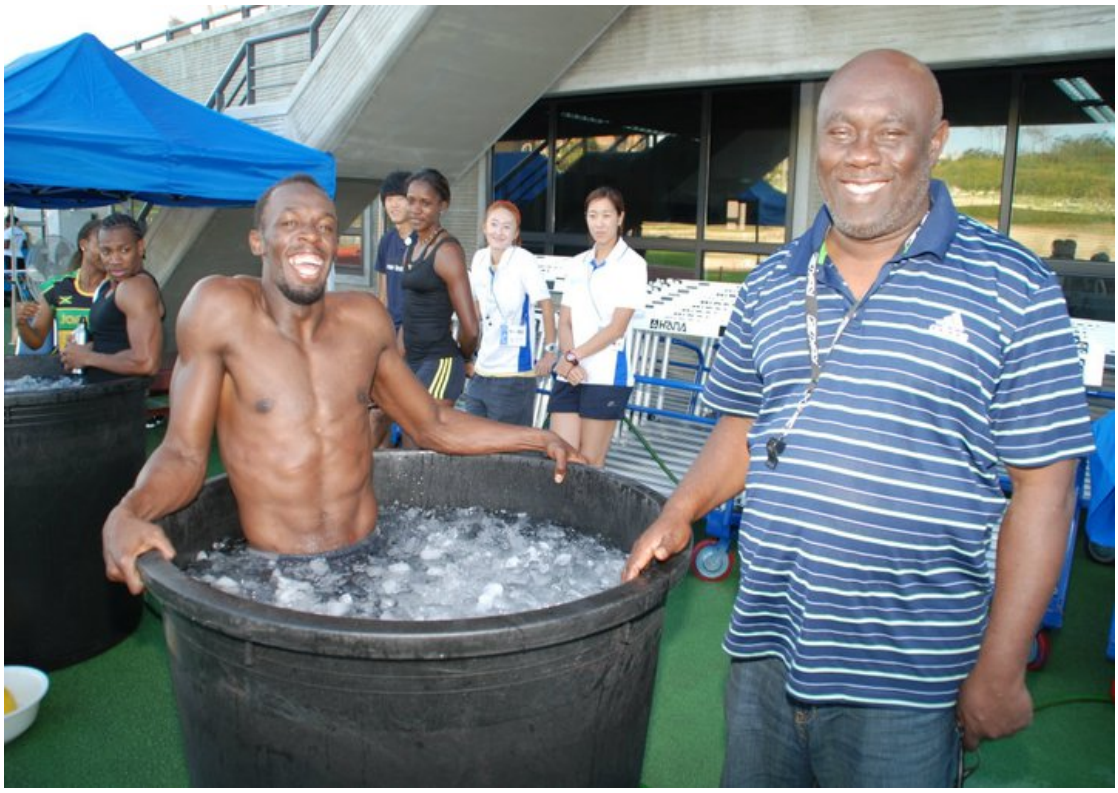


Figure 23 : Immersion en eau froide après entraînement pour Usain Bolt l'athlète le plus titré de l'histoire des Jeux olympiques en sprint [129].

2-2 Cryothérapie ou Cryostimulation Corps Entier (CCE) et Corps Partiel (CCP)

2-2-1 Présentation

La CCE consiste en une immersion du sujet, tête comprise ou non, à des températures extrêmement basses (inférieures à –100 °C) pour une période de temps très courte (2 à 4 minutes), dans une pièce ou dans une cabine spécialement conçues pour cet usage [130, 131].

L'exposition au froid extrême en cryothérapie corps entier se développe dans le monde entier et suscite un intérêt grandissant. Les effets généraux du froid sur l'organisme sont connus depuis bien longtemps, et la CCE semble servir de catalyseur à tous ces effets. De nombreuses réactions physiologiques positives sont observées et ce dans plusieurs domaines de soins. La rhumatologie, la médecine du sport, et le traitement de la douleur sont les premiers champs d'explorations étudiés pour mieux comprendre, notamment l'action anti-inflammatoire systémique, antalgique et oxydante après une séance de cryothérapie corps entier [132].

2-2-2 Histoire

La cryothérapie corps entier est une forme de cryothérapie très récente puisqu'elle voit le jour à la fin des années 1970. La première chambre froide est fabriquée au Japon en 1978, grâce aux travaux du professeur Yamauchi. Il voulait que les bénéfices de la cryothérapie locale puissent être élargis à l'ensemble du corps, et ce, dans le but de traiter les pathologies rhumatismales inflammatoires chroniques telle que la spondylarthrite ankylosante ou la polyarthrite rhumatoïde [13].

En Europe, c'est en Allemagne que la pratique se développe en premier. Au début des années 1980, le professeur R. Fricke reprend cette idée d'exposition à des températures extrêmement basses et en 1982, il présente sa propre version de la chambre à air froid dans laquelle la température descend jusqu'à -110°C. On y accède par deux sas afin de limiter les écarts brutaux de températures [15].

Le froid dans les caissons créés par Yamauchi provient de l'azote liquide, alors que la chambre mise au point par Fricke fonctionne grâce à trois compressions successives d'un gaz frigorifique [133].

En 1985, c'est à la Pologne de construire sa propre chambre cryogénique. Les États-Unis quant à eux, ne se sont intéressés à cette technique qu'au cours de la dernière décennie [134].

À partir de là, la technique se développe et les premières bases de son utilisation comme élément de traitement sont fixées.

De nombreuses chambres cryogéniques ont été construites ces dernières années, dans divers pays dans le monde, notamment en Europe du Nord et de l'Est (Allemagne, Autriche, Pologne, Russie, Estonie, etc.). L'utilisation de la CCE s'est ainsi démocratisée, et les études faites sur son impact dans différents domaines ont accru tant en quantité qu'en qualité [134].

2-2-3 Concept et Matériel

Il existe 2 principaux types de chambres cryogéniques qui diffèrent par leur conception (1, 2 ou 3 pièces), par la technique de refroidissement de l'air utilisée et/ou par le fait qu'elles s'utilisent seules ou par groupes.

2-2-3-1 Chambre cryogénique

La chambre cryogénique est constituée de 2 pièces au moins : la chambre préliminaire et la chambre principale. Dans la première, la température est approximativement de -60°C. Dans la chambre principale, la température est généralement maintenue entre -120°C et -140°C.

Ce type d'installation peut contenir une troisième pièce. Il s'agit en fait d'un sas supplémentaire situé avant la chambre préliminaire. La température y est fixée à environ -10°C (figure 24) [3].

Figure 24 : Chambre cryogénique (2 pièces). Criotec© [3].

2-2-3-2 Cabine cryogénique

Le « cryosauna » est une cabine individuelle où la température est comprise entre -120°C et -140°C. Le sol de la cabine est amovible ; cela permet de l'adapter à la taille du sujet et ainsi de ne l'immerger que jusqu'au cou. De cette manière, il respire l'air ambiant sans nécessité de porter un masque de protection sur le nez et la bouche.

Ce type de matériel est plus économique, plus facilement transportable et la communication entre le sujet et le thérapeute est plus aisée (figure 25) [3].

Figure 25 : Cabine individuelle « Cryosauna® » fonctionnant à l'azote liquide. Criotec© [3].

Le principe de la CCE veut que l'environnement à l'intérieur de la pièce soit totalement sec.

L'absence d'humidité permet à l'organisme de résister à de telles variations de température sans provoquer d'hypothermie ou tout autre traumatisme lié au froid.

La CCE vise à créer un choc thermique, c'est-à-dire à abaisser la température cutanée au maximum et en un minimum de temps.

Elle doit passer de 32°C à 12°C minimum, mais sans passer sous les 7°C. Au-delà, il y a un risque de lésions nerveuses. Il a été démontré qu'un tel choc thermique stimule des réactions physiologiques positives de l'organisme [69].

Les récepteurs cutanés envoient l'information à l'hypothalamus. Lui-même la transmet à l'aire somesthésique du cortex, lequel active une réponse neurovégétative, régulant l'homéostasie par une action à la fois mécanique et enzymatique [135].

2-2-4 Méthodes de cryothérapie générale

Les traitements sont effectués dans une enceinte sécurisée, le contact visuel et audio entre le patient et l'opérateur restent permanent. Le système est doté d'un arrêt d'urgence [132].

Il a été démontré [136] que la CCE incluant la tête permet une baisse de la température cutanée plus importante, de manière plus homogène et sur une plus grande surface corporelle que les systèmes n'offrant pas l'option corps entier « avec la tête » (figure 26).

Comparativement avec une exposition en CCP, la CCE a suscité une plus grande stimulation du système nerveux autonome (SNA). Ces données suggérant que, plus le corps est refroidi, plus le SNA est stimulé, avec un effet plus important sur le tonus parasympathique.

Les protocoles utilisés dans la pratique de la CCE sont assez semblables à quelques différences près.

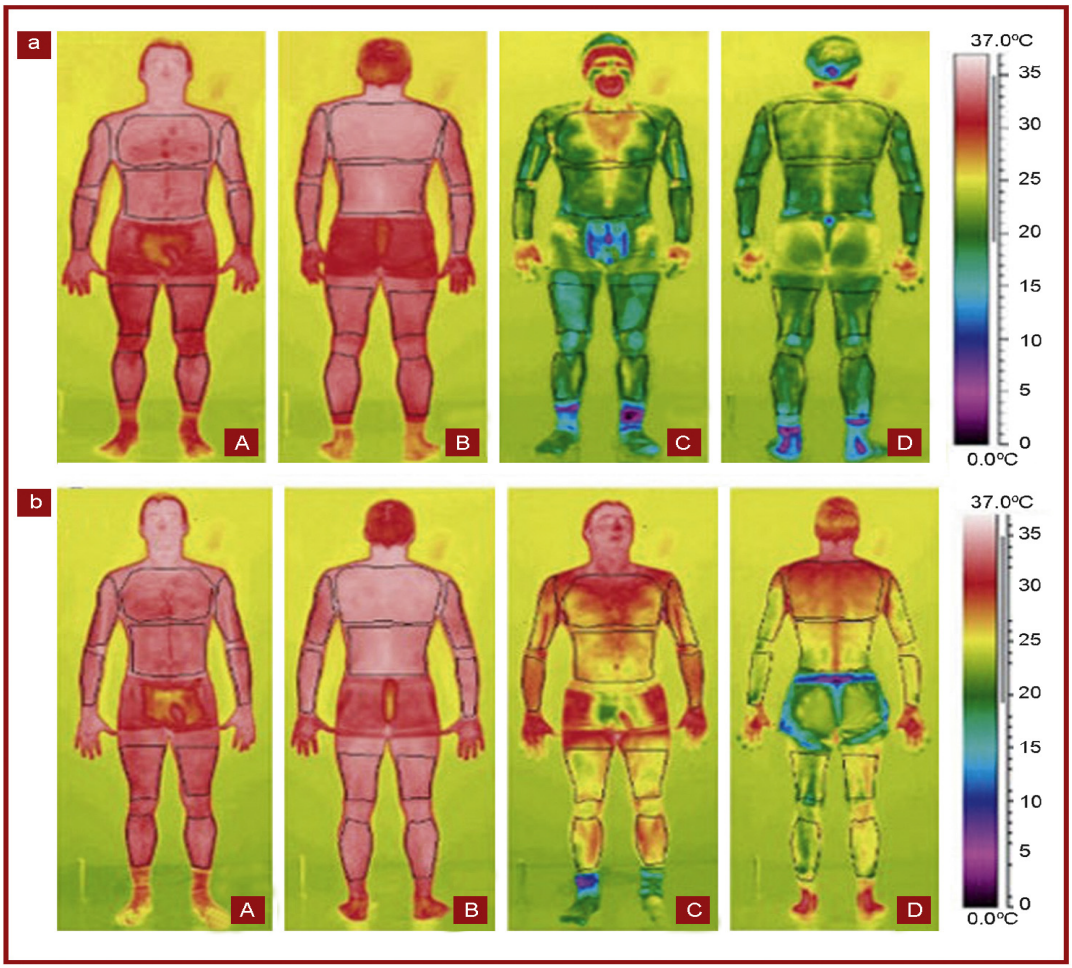
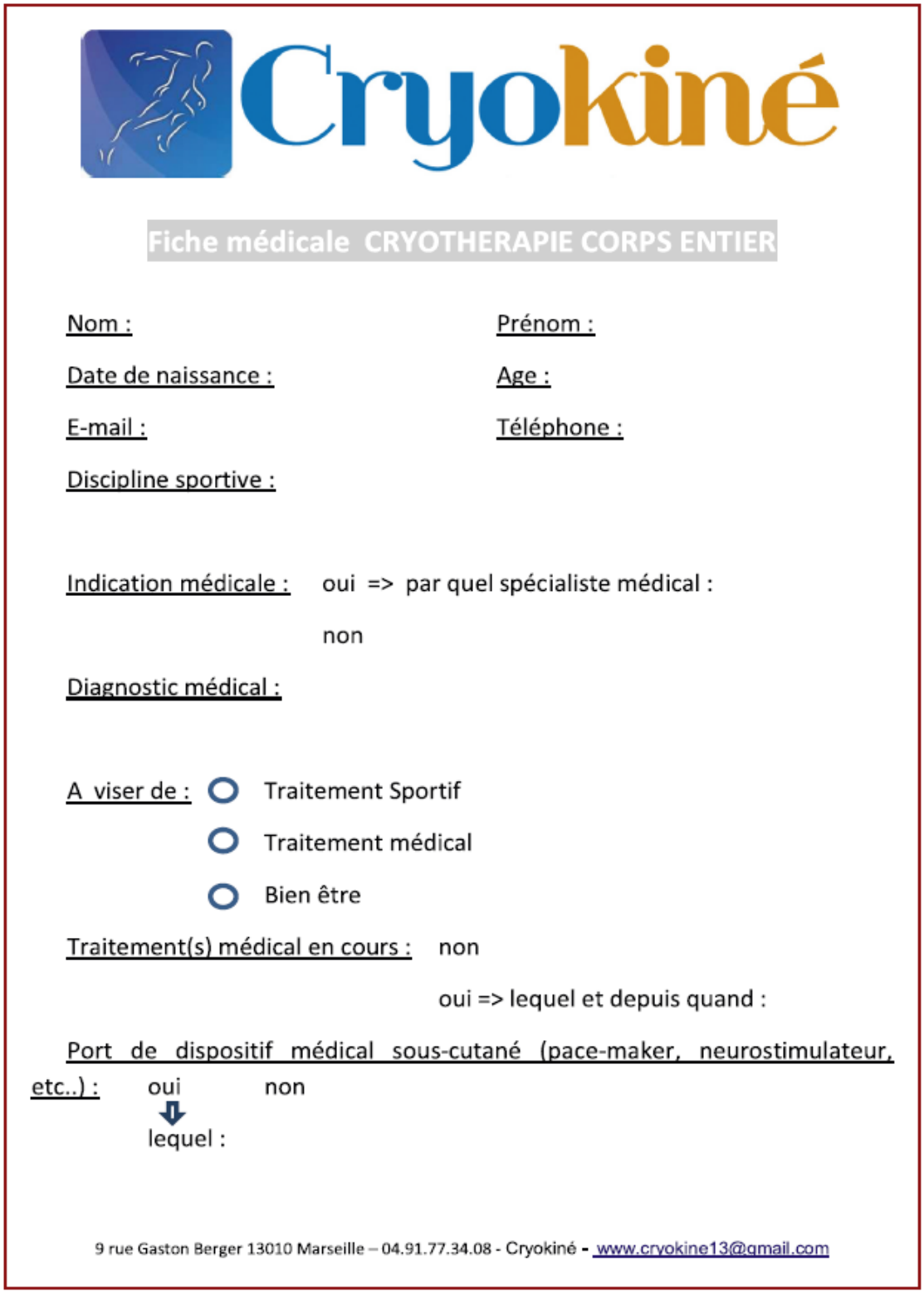


Figure 26 : a - exemples de thermogrammes avant (A, B) et après (C, D) cryostimulation corps entier CCE ; b - exemples de thermogrammes avant (A, B) et après (C, D) cryostimulation corps partiel CCP [136].

En France, le Centre européen de rééducation réservé aux sportifs (CERS) de Capbreton, puis l'Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP), en précurseurs, ont instauré la nécessité de renseigner au préalable un questionnaire (figure 27) sur l'état de santé du sujet, et d'obtenir un certificat médical de non contre-indication à cette pratique.



Cryokiné

Fiche médicale CRYOTHERAPIE CORPS ENTIER

Nom : Prénom :

Date de naissance : Age :

E-mail : Téléphone :

Discipline sportive :

Indication médicale : oui => par quel spécialiste médical :

non

Diagnostic médical :

A viser de : ○ Traitement Sportif

○ Traitement médical

○ Bien être

Traitement(s) médical en cours : non

oui => lequel et depuis quand :

Port de dispositif médical sous-cutané (pace-maker, neurostimulateur, etc..) : oui non

⇩

lequel :

9 rue Gaston Berger 13010 Marseille – 04.91.77.34.08 - Cryokiné - www.cryokine13@gmail.com

Figure 27 : Exemple de fiche médicale, avec recommandations et avis médical [132].

Antécédents cardio-vasculaire :

- infarctus du myocarde : oui non
- insuffisance coronarienne : oui non
- Hypertension artérielle non stabilisée : oui non
- Artériopathie des membres inférieurs : oui non
- Thrombose veineuse /phlébite : oui non
- Maladie de Raynaud : oui non

Antécédents généraux :

- BPCO : oui non
- Asthme : oui non
- Colique néphrétique / hépatique oui non
- Hyperuricémie (crise de goutte) oui non
- épilepsie oui non

Hospitalisation de moins de 6 mois : oui non

Intervention chirurgicale récente : oui non

Grossesse en cours : oui non

Allergie au froid : oui non

Prise de toxique/alcool récent : oui non

Examen clinique (rempli par l'opérateur):

TA : FC : FR : Saturation :

Pouls périphériques perçus :

Infection-lésion cutanée (plaie, cicatrice récente…) :

Piercing :

Lentilles de contact :

Implants :

Autres symptômes (état fébrile, troubles digestifs…) :

9 rue Gaston Berger 13010 Marseille – 04.91.77.34.08 - Cryokiné – www.cryokine13@gmail.com

Figure 27 (Suite) [132].

Informations relatives à la pratique de la Cryothérapie corps entier

La cryothérapie corps entier est un dispositif de traitement médical utilisant le froid.

La durée d'une séance de cryothérapie corps entier est de 3 minutes, à -110°c.

Les précautions d'usages sont :

- retirer les lentilles de contact
- être totalement sec (cheveux, corps et vêtements)
- arrêt de toute activité sportive 1 heure avant l'exposition au froid
- ne pas appliquer de crème corporelle au avant la séance
- protéger les extrémités corporelles (gants, cache-oreilles, chaussettes)
- si besoin protéger les zones corporelles sensibles au froid avec éventuellement des sparadraps
- enlever les objets métalliques au contact de la peau (bijoux, piercing…) ; le cas échéant mettre une protection par-dessus.
- temps de repos nécessaire après la séance.

Il convient de prévenir l'opérateur de tout nouveau problème de santé survenu entre les séances ou cure.

Déroulement d'une séance : premier accès à une pré-chambre où la température est de -60°c, on y reste 15-20 secondes, puis l'opérateur autorise le passage dans la chambre de traitement à -110°c, où l'on déambule associé à des petits mouvements de bras, durant 2'30 ''minutes environ, puis, sur ordre de l'opérateur retour dans la pré-chambre, puis c'est la sortie.

Les séances de cryothérapie corps entier sont effectuées dans un environnement médicalisé et encadrées par du personnel médical ou para-médical habilité, et qui peut surseoir aux séances.

CRYOKINE dispose des assurances légales à la pratique de la cryothérapie corps entier.

CONSENTEMENT

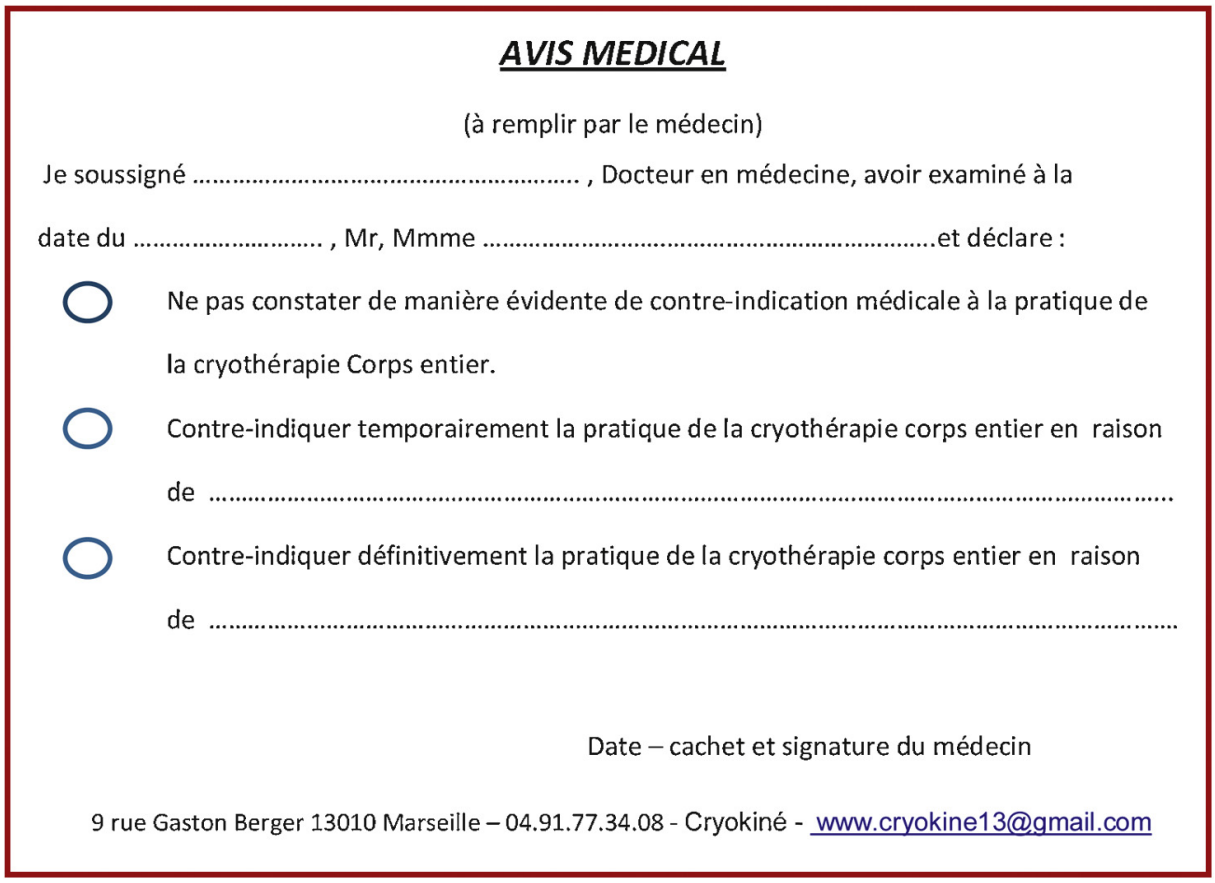
Je soussigné Mme, Mr…… certifie :

- avoir répondu sincèrement au questionnaire médical,
- signaler avant chaque séance tout éventuel nouveau problème de santé
- respecter les consignes de l'opérateur
- avoir été informé à la bonne pratique et aux contraintes de la cryothérapie corps entier.

Date et signature :

9 rue Gaston Berger 13010 Marseille – 04.91.77.34.08 - Cryokiné - www.cryokine13@gmail.com

Figure 27 (Suite) [132].



AVIS MEDICAL

(à remplir par le médecin)

Je soussigné ……. , Docteur en médecine, avoir examiné à la date du …….. , Mr, Mmme ……..et déclare :

- ○ Ne pas constater de manière évidente de contre-indication médicale à la pratique de la cryothérapie Corps entier.
- ○ Contre-indiquer temporairement la pratique de la cryothérapie corps entier en raison de ……
- ○ Contre-indiquer définitivement la pratique de la cryothérapie corps entier en raison de ……

Date – cachet et signature du médecin

9 rue Gaston Berger 13010 Marseille – 04.91.77.34.08 - Cryokiné - www.cryokine13@gmail.com

Figure 27 (Suite) [132].

Pour les patients admissibles à ce traitement, avant l'exposition au froid, il doit être réalisé un examen physique avec vérification de la symptomatologie, une inspection cutanée, une mesure de la fréquence cardiaque, de la tension artérielle et de la saturation en oxygène. Cela implique que la séance soit encadrée par un professionnel de santé, qui peut surseoir à la séance si nécessaire (en Finlande et en Allemagne recommandation : < 160/100 mmHg [137]). Mais en France, et dans d'autres pays, la pratique de la CCE n'est pas toujours encadrée par un professionnel de santé. Le certificat médical de non contre-indication n'est pas toujours demandé, comme en Suisse, par exemple.

Déroulement de la séance :

Le patient entre dans la chambre de cryothérapie équipé de protections aux mains, oreilles et aux pieds (gants, cache-oreilles ou bonnet, et chaussettes basses + chaussures). Les voies aériennes supérieures sont protégées par un masque chirurgical, qui peut être doublé. Masque indispensable afin d'éviter l'oppression respiratoire [4, 135] et le spasme bronchique.

Une fois à l'intérieur de la chambre de froid corps entier, le patient suit les recommandations de l'opérateur. Il se déplace pendant toute la séance à une vitesse lente de marche. Il est nécessaire de limiter l'activité musculaire afin d'éviter la stimulation du réchauffement corporel. On note peu d'effets indésirables.

La durée, le nombre et la fréquence de l'exposition au froid à -110°C sont fixés selon les caractéristiques du patient (pathologie ou sportif) [132]. La durée est de 2 à 4 minutes, et doit être progressive.

Le nombre de séances est un élément déterminant de l'efficacité du traitement.

D'après Lubkowska et al, 20 séances doivent être réalisées afin de tirer un plus grand bénéfice du statut antioxydant [138]. Il n'est pas reconnu un nombre précis de séances à pratiquer pour un effet durable, mais il est admis qu'une forte corrélation effet/nombre est plus que probable.

En ce qui concerne la fréquence des séances, il peut être pratiqué 1, 2 ou 3 expositions quotidiennes (un intervalle de 3 heures étant recommandé). A priori, il n'a pas été retrouvé de publication portant sur un intérêt à 3 expositions journalières, de même qu'il ne semble pas exister de consensus à ce sujet. Cette triple exposition journalière trouve pour l'instant son intérêt dans le compromis temps disponible du patient/efficacité du traitement. Néanmoins, une ou deux séances quotidiennes semblent a priori suffisantes.

2-2-5 Indications et contre-indications de la CCE [4, 139]

Ces dernières années, de nombreuses études ont été menées et permettent d'affiner les indications et contre-indications définies lors de la conférence de consensus de Bad Vöslau, Niederösterreich, en février 2006.

Indications :

- Pathologies à rhumatismes inflammatoires
- Spondylarthrite ankylosante ; polyarthrite rhumatoïde
- Troubles musculo-squelettiques inflammatoires
- Douleurs articulaires
- Tendinopathie
- Amélioration de la rééducation du sportif blessé
- Contusions et douleurs musculaires
- Récupération musculaire
- Sclérose en plaques
- Spasticité musculaire
- Fibromyalgie
- Neurodermites, psoriasis et lichen plan
- Dermatites atopiques
- Trouble du sommeil ; fatigue chronique
- Syndrome dépressif
- Migraine.

Contre-indications absolues :

- Troubles cardio-vasculaires instables :
- Hypertension artérielle non contrôlée
- Insuffisance cardiaque
- Insuffisance coronarienne
- Angine de poitrine
- Pacemaker
- Dispositif sous-cutané
- Insuffisance respiratoire aiguë ou chronique
- Insuffisance circulatoire :
- Artériopathie stades III et IV
- Thrombose veineuse profonde
- Syndrome de Raynaud
- Colique néphrétique
- Anémie profonde
- Allergie au froid
- Syndrome infectieux :
- Infection cutanée aiguë bactérienne ou virale
- Infection profonde aiguë
- Prise d'alcool ou de stupéfiants
- Présence de plaie ouverte.

Contre-indications relatives :

- Troubles du rythme cardiaque
- Insuffisance valvulaire
- Polyneuropathies
- Artériopathie stades I et II
- Claustrophobie
- Grossesse.

Pour les enfants, la Société française de la médecine du sport émet les recommandations suivantes : « Les effets potentiels de cette méthode sur les réponses vasculaires de thermorégulation et leurs conséquences potentielles sur les cartilages de conjugaison, en l'absence d'étude spécifique chez l'enfant, nous incitent à appliquer le principe de précaution. C'est pourquoi nous recommandons de ne pas soumettre des enfants en cours de croissance à ce type de méthode de récupération. Ne pouvant (pour différentes raisons) effectuer de contrôle de l'âge osseux et de la fermeture des cartilages de croissance en routine, nous recommandons de ne pas proposer cette méthode chez des jeunes de moins de 18 ans ».

2-2-6 Physiopathologie et applications

La réaction de l'organisme, lorsqu'il est exposé au froid, provoque un stress entraînant une cascade de réponses physiologiques.

Les étapes essentielles se situent au niveau du système sympathique (figure 28) et de l'axe hypothalamo-hypophysaire, entraînant la sécrétion de l'adrénaline et de la noradrénaline. Ces hormones permettent de lutter contre le froid avec vasoconstriction périphérique suivi d'une vasodilatation musculaire [132].

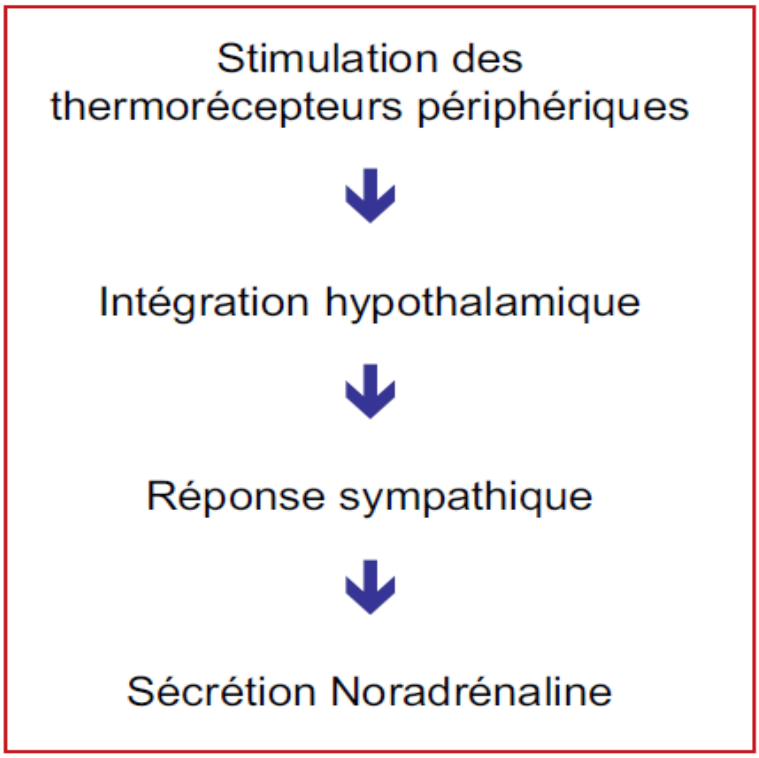


Figure 28 : Stimulation sympathique [132].

La CCE est très souvent utilisée pour son action de lutte contre l'état inflammatoire.

Les premières réponses physiologiques consécutives au traitement par CCE sont des effets analgésiques et anti-œdémateux [135]. Banfi et al ont montré que l'exposition au froid a un effet immunostimulant. Elle favorise la diminution de cytokines pro-inflammatoires (IL-2, IL-8) et l'augmentation des anti-inflammatoires (IL-10) [140]. Lubkowska et al ont observé que la cryostimulation conduit à l'augmentation des cytokines anti-inflammatoires IL-6 et IL-10 et la diminution des pro-inflammatoires IL-1 [141, 142].

La CCE est utilisée anarchiquement et surtout à visée symptomatique dans les pathologies à rhumatismes inflammatoires (polyarthrite rhumatoïde, spondylarthrite ankylosante, etc.). Dans de nombreux pays d'Europe (Allemagne, Autriche, Suisse, etc.), ce traitement est souvent associé au traitement médical de fond.

Récemment, en France [143], il a été conclu que l'application de CCE à -110°C chez des patients souffrants de rhumatismes inflammatoires réduit significativement la douleur et le DAS 28 dans la polyarthrite rhumatoïde.

Braun et al, ainsi que Lange et al ont également démontré l'efficacité de la CCE dans le cadre de pathologies inflammatoires rhumatologiques avec diminution du phénomène inflammatoire et de la douleur, ainsi qu'une amélioration de la qualité de vie [83, 144]. Quant à Wichmann et Fricke, ils ont conclu, que la CCE a un rôle important à jouer dans la prise en charge de la spondylarthrite ankylosante [145].

La cryostimulation extrême à -110°C augmente la puissance musculaire, diminue la douleur et l'œdème, ce qui améliore la qualité de la mobilité articulaire et l'amplitude du mouvement.

Dans de nombreux centres de physiothérapie, en Allemagne, Autriche ou Pologne, la kinésithérapie est consécutive à l'exposition en CCE [146]. De multiples études amènent leur cortège de curiosité et d'interrogations face aux résultats observés. Des améliorations significatives des symptômes sont associées à la CCE. C'est aussi le cas dans une étude menée sur la capsulite rétractile où les indicateurs de l'EVA, de la mobilité active et du score de l'ASES sont améliorés après traitement en CCE [147]. C'est également le cas dans une étude portant sur des patients fibromyalgiques , où là aussi, EVA, score du formulaire 36 et fatigue ressentie sont améliorés après traitement de 15 séances consécutives de CCE à -110°C [148]. On pourrait citer bien d'autres publications qui laissent des perspectives intéressantes.

En ce qui concerne l'antalgie ressentie par le patient en postséance de cryothérapie, on peut dire que c'est le résultat le plus apprécié des patients et des praticiens pour son effet immédiat. Savalli et al ont montré une diminution de la température cutanée inférieure à 13°C, cela induisant un ralentissement de la conduction nerveuse du message nociceptif [149].

La cryostimulation par CCE à -110°C est utilisée dans le domaine sportif dans le but d'une meilleure récupération musculaire, et d'une prévention/récupération de la blessure musculaire (figure 29) [132].

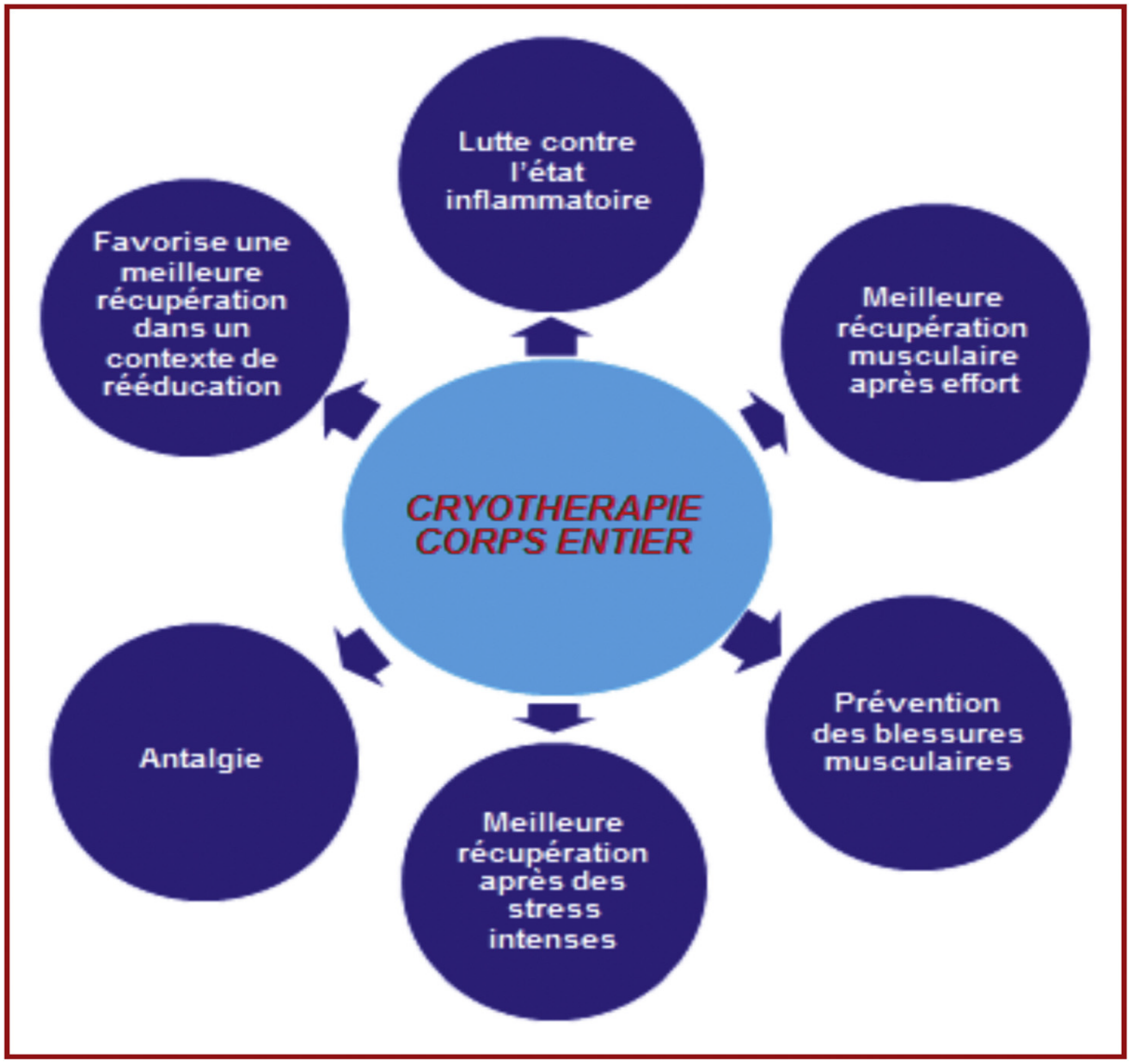


Figure 29 : Effets de la CCE chez le sportif [132].

Dans la récupération musculaire, la pratique de la CCE entraîne un effet de diminution sur les courbatures ressenties [133].

À l'INSEP, Hausswirth et al ont fait ressortir qu'une exposition au froid à -110°C en post-exercice immédiat (< 1 heure) améliore la récupération musculaire en limitant l'action inflammatoire, mais également le temps de récupération en ayant une action bénéfique sur des lésions musculaires post-entraînement. Par ailleurs, ils observent une amélioration significative des paramètres douleur, fatigue et bien-être [150].

Pournot et al confirment l'aspect positif d'une exposition en CCE à -110°C pour une action anti-inflammatoire en phase de récupération musculaire [151].

Banfi et al ont également promu la CCE comme méthode de traitement musculaire, tant en récupération que pour la blessure musculaire [152] (figure 30).

Figure 30 : Patient en CCE : Thomas Adamandopoulos, champion du monde de K-1 (forme de kick-boxing japonais) [132].

À propos du statut oxydant : une séance de CCE provoque un stress. La répétition, de séances de CCE chez l'adulte induit une adaptation de l'organisme avec diminution de la réaction oxydante. Certains résultats suggèrent que la répétition de séances de CCE permet de majorer le statut des défenses anti-oxydantes de l'organisme [138, 153]. Ce statut oxydant permet d'envisager des résultats positifs sur la SEP, par oxydation cellulaire et donc des défenses anti-oxydantes plus fortes [154].

Il a également été constaté que la CCE aurait un effet positif sur l'état dépressif [155, 156].

2-2-7 Impact de la cryothérapie corps entier sur la récupération musculaire chez le sportif

Un grand nombre de procédés sont à la disposition du sportif afin de limiter les effets néfastes de l'effort intense au niveau musculaire et d'améliorer sa récupération, tels que le repos évidemment, mais aussi les compléments nutritionnels, les massages, la contention, la chaleur, les étirements ou la cryothérapie locale.

Initialement, la cryothérapie corps entier (CCE) a été développée pour le traitement des maladies rhumatismales inflammatoires chroniques. Cependant, il a été démontré que l'exposition à des températures extrêmement basses stimule des réactions physiologiques de l'organisme qui pourraient favoriser la récupération musculaire [135]. Ainsi, la CCE constitue désormais une aide au traitement dans les pathologies de l'appareil locomoteur comme les tendinopathies [157] ainsi que les traumatismes musculaires, articulaires ou osseux [158].

La CCE pourrait influencer la récupération musculaire de différentes façons. Tout d'abord, elle pourrait agir au niveau hématologique. En induisant une augmentation de la production des globules blancs, elle favoriserait le « nettoyage » de l'organisme après l'activité physique. Également, l'augmentation de la production des globules rouges ou la réduction de l'hémolyse, c'est-à-dire la destruction des globules rouges, consécutive à l'effort intense préviendrait l'organisme contre une anémie d'effort et par là même, contre une fatigue musculaire excessive. Le marqueur de l'hémolyse est l'haptoglobine [159].

La CCE pourrait également contribuer à une meilleure récupération musculaire en limitant l'inflammation consécutive à l'effort intense. Les marqueurs de l'inflammation aiguë les plus courants sont les cytokines, la protéine C-réactive (CRP) et la prostaglandine E2 (PEG2).

Les dommages musculaires sont un bon indice de récupération. La CCE pourrait améliorer la récupération en limitant les microlésions liées à une activité physique intense. Les marqueurs de ces microlésions sont les enzymes musculaires comme la créatine kinase (CK) et la déshydrogénase lactique (LDH) ainsi que les enzymes lysosomiales.

Enfin, la CCE pourrait influencer la récupération via l'équilibre pro-oxydant/antioxydant de l'organisme. En effet, en réduisant l'oxydation ou en améliorant les capacités antioxydantes de l'organisme, la CCE réduirait les dommages liés à l'effort et donc favoriserait la récupération musculaire.

L'objectif de cette partie est donc de collationner les études faites sur le sujet afin d'objectiver l'impact de la CCE sur la récupération musculaire par l'observation de ses effets sur différents paramètres de la fatigue.

Quelques-unes des études les plus récentes se sont intéressées à l'utilisation de la CCE sur l'amélioration de la récupération des capacités physiques et des dommages après effort intense. Les résultats de ces premières études montrent une diminution des douleurs et de la sensation de fatigue musculaire ressenties et incitent donc à admettre l'effet bénéfique de la CCE sur la récupération musculaire [152, 160-162]. Cependant, ces travaux sont peu nombreux. De plus, évaluer ce paramètre, somme toute abstrait, n'est pas chose aisée. Afin d'objectiver l'impact positif de la cryostimulation sur la récupération musculaire, il semble plus judicieux d'évaluer son impact sur les différentes composantes de la récupération.

2-2-7-1 Hématologie

La littérature portant sur les changements hématologiques induits par la CCE est insuffisante et souvent hétérogène. Quelques travaux ont récemment étudié le statut hématologique de sportifs soumis à la CCE durant plusieurs jours. Plusieurs d'entre elles n'ont relevé aucune modification significative des composants sanguins malgré l'exposition au froid

[163-166]. Au contraire, Lubkowska et al en 2009, puis Ziemann et al en 2012 ont relevé une augmentation du nombre de leucocytes après respectivement 10 et 5 séances de CCE [142, 160].

Parmi toutes les études sur le sujet, seule celle menée par Dybek et al a mis en évidence une augmentation du nombre d'érythrocytes [167]. Aucune n'a évoqué d'augmentation de leur volume ou du taux d'hémoglobine après utilisation de la CCE. Au contraire, plusieurs publications rapportent une baisse du nombre d'érythrocytes et de l'hémoglobinisation, c'est-à-dire de la fabrication de l'hémoglobine [164-166] .

En 2009, Banfi et al se sont intéressés à l'hémolyse consécutive à la pratique sportive et à l'influence de la CCE dans la limitation de ce phénomène. Les résultats ont montré une augmentation significative du taux d'haptoglobine sanguin [166].

2-2-7-2 Inflammation

Les études investissant l'impact de la CCE sur l'inflammation associée à l'effort intense sont nombreuses. À l'exception de celle menée par Leppäluoto et al, tous les auteurs admettent une réaction anti-inflammatoire locale et systémique de l'organisme [168].

Des études ont été menées sur des rugbymen [140] ,des coureurs [151] , des tennismen [160] ou encore des hommes sains et physiquement actifs [141] ; tous les résultats montrent une augmentation de la sécrétion des cytokines anti-inflammatoires, associée à une diminution de la libération des cytokines pro- inflammatoires, de la prostaglandine E2 et de la CRP. Ceci grâce à la CCE appliquée après un exercice physique.

2-2-7-3 Enzymes musculaires

Plusieurs études ont investi les variations de l'activité des enzymes musculaires et lysosomiales chez des sportifs soumis à la CCE [140, 160, 169-171]. Ces études ont relaté une diminution significative des niveaux de CK,des enzymes lysosomiales et de la LDH.

2-2-7-4 Équilibre pro-oxydant/antioxydant

Les quelques premières études à s'intéresser à cet aspect ont rapporté l'effet bénéfique de la CCE pour aider l'organisme à lutter contre l'oxydation de ses tissus [172, 173] .

En 2007, Wozniak et al ont effectué une étude visant à évaluer l'impact de la CCE sur l'équilibre pro-oxydant/antioxydant chez des athlètes, 20 kayakistes olympiques. Les auteurs ont noté une nette diminution de l'oxydation des lipides grâce à la CCE, ainsi qu'une diminution de l'activité des enzymes antioxydantes [174].

2-3 Comparaison entre cryothérapie corps entier et immersion en eau froide

Peu d'études ont comparé les effets de l'immersion en eau froide et de la CCE. Il a récemment été montré que l'immersion en eau froide (10 min ; 10°C), par rapport à une exposition de CCP (3 min ; -110°C), permettait d'avoir une cinétique de récupération plus rapide 72 h après des exercices induisant des dommages musculaires pour les performances de saut en contre mouvement sur une jambe et sur deux jambes [175]. La fatigue musculaire était également moins importante et la perception de la récupération plus rapide avec l'immersion à 24 et 48 h après l'exercice. En revanche, aucune différence n'a été trouvée concernant la récupération de la force isocinétique. Il faut noter que la durée de la récupération dans cette étude était plus importante pour l'immersion en eau froide (10 min) comparé à la CCP (3 min). Au niveau thermique, pour des durées similaires (4 min), il a été montré que la température cutanée des individus diminuait davantage avec une exposition à la CCE (-110°C) qu'avec une immersion en eau froide (8°C) [134]. Aucune différence n'a par contre été trouvée entre les variations de températures centrales et musculaires relevées après les deux méthodes de cryothérapie.

Les comparaisons effectuées entre des expositions à la CCE (2 min ; -110°C) et en natation en eau glacée (20 sec ; en extérieur) ont rapporté que ces deux méthodes permettaient d'améliorer l'habituation au froid avec un effet encore plus prononcé pour la natation en eau glacée [176]. Aucune différence n'a en revanche été trouvée dans l'amélioration des capacités antioxydantes entre les deux méthodes [177].

Les effets de la cryostimulation à -110°C restent dépendant des protocoles (nombre, fréquence, durée) de traitements proposés, mais aussi bien évidemment du profil pathologique du patient.

La CCE est une approche thérapeutique nouvelle qui demande à être défrichée, et à ce titre ne peut encore faire l'unanimité. Cependant, les différentes publications laissent déjà entrevoir de belles perspectives. En effet, posséder un dispositif ayant une action sur les médiateurs de l'inflammation et sur la douleur ne pourra que valoriser notre action thérapeutique au quotidien.

3- Limites de la cryothérapie corps entier

Il existe deux freins dans la démocratisation des techniques de CCE : un frein technologique et un frein économique [1].

Le frein technologique le plus important est lié à la sécurité. L'azote est un gaz qui peut être dangereux. La respiration d'une quantité trop importante peut en effet induire un évanouissement et aller jusqu'à l'arrêt respiratoire. On compte malheureusement déjà un cas de décès lié à l'utilisation d'une cabine de cryosauna aux Etats-Unis. Les risques liés au contact direct de ce gaz sont donc majeurs. Il existe actuellement un vide juridique pour l'utilisation de l'azote, mais il est indéniable que celui-ci sera très prochainement comblé, notamment à la suite de cet accident mortel. Les technologies existantes vont donc devoir évoluer pour répondre aux futures normes de sécurité [1].

Le second frein technologique réside dans l'incapacité de mobilité de certaines technologies existantes. Les chambres de CCE sont des technologies fixes, principalement du fait de leurs tailles imposantes. Les technologies Zimmer ont en effet besoin de deux pièces, une première pour la chambre et une seconde pour pouvoir entreposer les moteurs avec les compresseurs. Il existe une nouvelle alternative de chambres disponibles dans des gros containers (Kriosystem, Wroclaw, Pologne), néanmoins leur mobilité reste réduite (figure 31). Un camion doit déposer le container afin qu'il puisse être utilisé, puis celui-ci est rechargé à la fin de la prestation. Cette logistique est trop complexe pour que ces chambres soient utilisées sur des compétitions sportives qui nécessitent un déplacement quotidien. Le développement de la cryothérapie étant indissociable des prestations sportives, il est indispensable de pouvoir proposer une technologie déclinable en version mobile [1].

Le frein économique est lié au coût d'exploitation. L'azote est un gaz relativement cher et sa consommation est élevée, notamment dans les cabines de CCP et dans certains types de chambres de CCE. Les chambres électriques, telles que les chambres Zimmer, ne nécessitent pas l'achat d'azote car elles utilisent l'azote présent dans l'air ambiant. Néanmoins, la consommation électrique essentielle à ce mécanisme est considérable. Les professionnels utilisant la CCE ne peuvent donc pas proposer des séances à un prix abordable pour tous car ils doivent rester rentables. Ces coûts d'exploitation élevés rendent cette thérapie élitiste, ce qui empêche sa démocratisation [1].

Figure 31 : Container contenant la chambre de CCP Kriosystem [1].

IV- Effets du froid

1 Effets locaux du froid [5]

L'efficacité du froid appliqué superficiellement est cliniquement et empiriquement incontestée mais l'explication rigoureuse des bases physiologiques de cette efficacité n'est pas aussi consensuelle.

Cliniquement les effets constatés sont :

- Anti-inflammatoire
- Anti-hémorragique
- Antalgique
- Anti-infectieux
- Protecteurs des transplants

Voyons pour chaque effet recherché, quelle est l'explication physiologique retenue mais retenons avant tout que les effets recherchés résultent in primum du refroidissement tissulaire que l'on obtient après exposition externe au froid.

Si les effets généraux sont mal connus, et doivent faire l'objet de recherches approfondies, les effets locaux de la CCE peuvent être appréhendés par référence aux nombreux travaux scientifiques qui existent au sujet de la cryothérapie locale.

Dr Savalli montre dans l'une de ses études que la température cutanée, mesurée au mollet à la sortie de la chambre de froid, descend à 9,04 +/- 3,78°C [178]. Westerlund montre une diminution de température cutanée, prise à la cuisse, à 7°+/- 3,9°C [179]. Par comparaison avec d'autres études, la température de la cuisse atteint 14,5°C après 15 min de Cold Pack, 12,3°C après 10 min d'application de petits pois surgelés (frozen peas) et 10,8°C après 20 min. On obtient au plus bas une température cutanée aux alentours de 5°C au moyen d'application de glace.

Il est donc clair que la CCE permet un refroidissement cutané optimal sans avoir les inconvénients du contact direct du froid sur la peau. Dans tous les cas, 15 à 20 min après l'exposition au froid les températures cutanées reviennent à 85% de leurs températures de départ.

L'évolution des températures superficielles après exposition à la CCE est proche de celle obtenues avec la cryothérapie locale, il est donc raisonnable de penser que les phénomènes locaux induits en profondeur se calquent sur ceux de la cryothérapie locale.

1-1 Effet anti-inflammatoire

Les effets anti-inflammatoire du froid sur les tissus de quelque nature soient ils sont connus et les études qui le démontrent sont nombreuses.

Cet effet est dû à la base aux phénomènes vasomoteurs que le froid provoque. Il s'agit de vasoconstriction et donc d'une chute du débit sanguin. Ces deux phénomènes expliquent la moindre tendance œdémateuse.

Par ailleurs le froid est à l'origine d'une diminution du métabolisme cellulaire, du fait de la déperdition calorique, ce qui inhibe localement la libération ou la sécrétion des médiateurs de l'inflammation (amines et peptides) lesquels sont impliqués dans l'exsudation plasmatique, notamment l'histamine qui est elle-même impliquée dans l'accroissement de la perméabilité des vaisseaux sanguins.

Knight a également montré que l'usage de la cryothérapie locale au décours d'un traumatisme musculo-squelettique permet de limiter les lésions secondaires, de nature hypoxique et de limiter l'œdème sans influer sur les lésions primaires. Cette action bénéfique est directement liée à l'effet protecteur contre l'hypoxie et à la réduction du métabolisme cellulaire, laquelle entraîne une diminution des lésions d'hypoxie tissulaire et par conséquent permet d'abaisser la pression oncotique liée à l'accumulation de fibrine et de débris tissulaires [180].

De ces phénomènes s'en suit une inhibition des phénomènes œdémateux.

1-2 Effet antihémorragique

Là aussi ce sont les phénomènes vasoconstricteurs loco-régionaux qui expliquent cet effet. La vasoconstriction réduit le calibre des vaisseaux sanguins, sains ou lésés, et entraîne ainsi une « hémostase » accélérée.

L'action anti-hémorragique du froid est donc la propriété de phénomènes mécaniques simples mais est également due à la facilitation des mécanismes d'hémostase. En effet le spasme vasculaire induit par le froid et l'accroissement de l'adhésion des cellules endothéliales facilitent l'agrégation plaquettaire et donc l'hémostase primaire.

1-3 Effet antalgique

L'effet antalgique du froid sur l'organisme résulte de la convergence de plusieurs phénomènes qui rentrent en synergie.

Les études qui ont été menées en chirurgie orthopédique ont d'ailleurs démontré une réduction de la consommation d'antalgiques grâce à la cryothérapie locale.

Cet effet antalgique découle tout d'abord des phénomènes anti-inflammatoires que nous venons de voir. En diminuant le passage des médiateurs de l'inflammation (histamine, sérotonine …) on diminue également les messages nociceptifs dont ils sont responsables, c'est un premier point.

Par ailleurs la réduction du métabolisme tissulaire protège les tissus contre l'ischémie (consommation d'O2 diminuée), entraînant de ce fait une réduction de la douleur.

Enfin, l'abaissement de la température cutanée en dessous de 13°C (au lieu de 32°C) est à l'origine d'un ralentissement de la conduction nerveuse au niveau des fibres C et A delta, responsables de la sensibilité thermo-algique périphérique.

La neuro-conduction de ces fibres est déjà très lente normalement pour les axones périphériques, et ce ralentissement peut aller jusqu'au blocage des impulses pour une température cutanée de l'ordre de 5°C. A noter que les durées d'exposition doivent rigoureusement être contrôlées afin d'assurer la réversibilité de ce phénomène.

C'est justement sur ce point que la CCE fournit des résultats étonnants puisque malgré la réversibilité de l'inhibition nociceptive les premières études cliniques montrent que les phénomènes d'antalgie persistent sans désensibilisation des tissus cutanés. Et c'est là que certains auteurs ont émis des hypothèses.

La plus vraisemblable serait liée au bombardement de la réticulée au niveau du bulbe cérébral par des influx véhiculant la sensation de froid. Ceci réaliserait un blocage des influx nociceptifs par un mécanisme d'inhibition compétitive ou de contre irritation.

Ce mécanisme serait alors particulièrement vrai dans le cadre de la CCE puisque l'ensemble des récepteurs thermiques de la surface cutanée fait l'objet d'une stimulation par le froid. Cette stimulation thermique réalisant alors un véritable « détournement » du cerveau vis-à-vis de ses capacités à intégrer la douleur.

Ce principe de « détournement » connaît d'ailleurs de nos jours un fort engouement, en particulier avec l'essor de l'hypnose qui, sans stimulation mécanique certes, cherche un effet similaire.

1-4 Effet anti-infectieux

Pour Bingham, la cryothérapie locale serait un complément intéressant dans la lutte contre les infections. Cette hypothèse se base sur une étude clinique qui montre que le taux de complications infectieuse est diminué grâce à la cryothérapie locale [181].

Le froid diminuerait la virulence des germes ainsi que leur prolifération. Cependant dans le cadre de la CCE, la réaction anti-inflammatoire recherchée est d'ordre systémique et les premiers auteurs ne prennent pas le risque de confronter un patient infecté à la CCE de peur que le processus anti-inflammatoire limite la réponse de l'organisme à une infection plus profonde.

La thèse de Bingham ne s'appliquerait donc qu'à la cryothérapie locale et à des infections superficielles.

1-5 Effet protecteur du greffon

Comme certaines études ont pu récemment le montrer, le froid diminue l'activité des collagénases du liquide synovial. Or des taux élevés de collagénases dans le liquide articulaire sont corrélés à une plus grande laxité résiduelle.

Par conséquent, le froid peut être considéré comme un facteur susceptible de protéger le greffon contre l'activité des enzymes collagénases.

Rappelons que les collagénases sont, comme leur nom l'indique, les enzymes responsables de la digestion du collagène et que le greffon utilisé dans la plastie du LCA est presque exclusivement composé de collagène.

2 Effets généraux du froid

Les effets physiologiques et systémiques du froid ont été étudiés dans des études mettant le corps humain en entier en contact avec une température inférieure à celle cutanée en condition ambiante.

Elles suivent donc des protocoles parfois différents en ce qui concerne le refroidissement cutané. Il peut s'agir de chambre froide à 4°C, d'eau froide entre 2 et 24°C, mais encore peu de publications ont été faites sur la méthode de CCE.

2-1 Effet cardio-vasculaire

2-1-1 Effet cardiaque

Dès 1975, Atterhog et al se sont intéressés aux effets d'une exposition aiguë au froid sur la fonction cardiaque. Pour ce faire il a étudié un groupe de 8 volontaires sains au contact d'un air à 15°C. Les résultats obtenus ont montré une augmentation du volume d'éjection systolique significative mais aucune comparaison n'a été recherchée en ce qui concerne les modifications de la fréquence cardiaque à plus ou moins long terme et aucune hypothèse physiologique n'a été proposée [182].

La même année, LeBlanc publie une étude plus complète et rigoureuse pour aboutir là encore à des résultats significatifs en faveur d'une élévation de la fréquence cardiaque lors d'une exposition au froid [36].

Mais cette fois-ci il propose de nouvelles perspectives. Cette augmentation de fréquence est reliée à une stimulation du système nerveux sympathique en réponse au stress que le froid induit. Il va également plus loin dans ces recherches puisque cette étude compare les réactions d'hommes blancs occidentaux à celles d'un groupe d'esquimaux. L'élévation de la fréquence cardiaque dans le groupe occidental est significativement plus élevée que celle du groupe d'esquimaux. Il est alors un des premiers à émettre l'hypothèse d'une possibilité d'adaptation au froid lorsqu'une exposition prolongée et quotidienne a lieu.

Il n'explique pas avec certitude le mécanisme physiologique d'adaptation mais propose une hypothèse par laquelle des expositions répétées au froid entraîne 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.

Ces résultats sont d'ailleurs corroborés par les mesures qu'il effectue sur la pression artérielle systolique que nous détaillerons par la suite.

A la fin des années 90, Marsh et Sleivert mettent en place une étude qui viendra compléter les travaux déjà effectués dans les années 70 [183]. En effet les premières études ont pu montrer que la fréquence cardiaque est augmentée lors d'une exposition aiguë au froid mais ne discute pas son évolution dans le temps, et en particulier à l'effort.

Au repos, après une exposition au froid, la fréquence cardiaque est rapidement de retour à la normale. Dans l'étude de Marsh 13 cyclistes ont été testés à 2 jours d'intervalle lors d'un effort de 10 minutes sur cycle à 60% de leur VO2 max. Le premier test permettait de suivre leur fréquence cardiaque dans des conditions standard, le deuxième test permettait de suivre leur fréquence cardiaque, lors de l'effort, mais après qu'ils se soient immergés pendant 30 minutes dans une eau à 12°C.

Les résultats obtenus ont montré que la fréquence cardiaque des patients ayant été refroidis est certes plus élevée au début de l'exercice comparativement aux résultats du test contrôle mais que dès la 2ème minute du test ils présentaient une fréquence cardiaque à l'effort moins élevée que lors du premier test, et que cette différence devient significative à la 5ème minute jusqu'à la fin du test. Ces résultats sont concordants avec les études menées par Bergh et al en 1979 ou encore Olschewski et al en 1988 [184, 185].

Par ailleurs lors de la phase de récupération leur rythme cardiaque demeurait inférieur à celui du premier test.

Les études d'Olschewsi ou Bergh ne proposaient d'explication physiologique sur ce phénomène tandis que l'explication physiologique de ce phénomène par Marsh et Sleivert réside dans la phase post-refroidissement.

La vasoconstriction périphérique qui a lieu lors du refroidissement par immersion est à l'origine d'une redistribution centrale, et donc cardiaque, du flux sanguin. Le volume d'éjection systolique est donc augmenté (comme l'avait déjà supposé Atterhog en 1975). Le flux sanguin au niveau musculaire est alors plus important, l'apport en O2 à leur niveau est meilleur et l'élimination des déchets (ex : lactate) est facilitée. Ainsi lors de l'effort, étant donné la meilleure délivrance en oxygène le rythme cardiaque ne nécessite pas une fréquence aussi élevée qu'en condition standard. Cette explication est d'ailleurs poussée un peu plus loin par Marsh qui prend garde de préciser que cet effet est directement lié à la température cutanée dans le temps.

C'est cette explication qui est retenue en 2004 par Joch en conclusion de sa publication. Elle alimente seulement les conclusions de Marsh par une étude qui utilise cette fois la cryothérapie corps entier comme vecteur frigorigène. Le test d'effort est dans cette étude plus long (26 minutes contre 10 pour Marsh) et entrecoupé par des fréquences de pédalages rapides et lentes de telle sorte que l'on mesure la fréquence cardiaque dans des conditions d'effort différentes. Ces résultats sont éloquents puisque la fréquence cardiaque des patients refroidis est significativement inférieure à celle des patients témoins tant à l'effort qu'au repos (assis 5 minutes à 24°C).

C’est une des études qui a permis de parler de choc thermique plus que de refroidissement cutané en ce qui concerne les effets de la CCE. Il semblerait qu’une exposition aiguë à un froid sévère ait des conséquences cardio-vasculaires plus importantes et plus durables qu’un refroidissement cutané progressif.

En conclusion, il est à mon sens licite de retenir que les phénomènes vasomoteurs liés au refroidissement cutané assurant une redistribution vasculaire centrale, sont à l’origine des différences de rythme cardiaque étayées dans les études citées. Cependant aucune étude ne montre que ces effets sont durables et permettent de réduire le rythme cardiaque de sportifs lors de préparation à la performance.

Il parait donc prudent de voir, pour l’instant, dans la CCE un moyen efficace en ce qui concerne la récupération musculaire grâce à cette redistribution vasculaire. D’autant plus que la température cutanée après une séance de CCE demeure significativement inférieure à celle de départ au moins 30 minutes et que les phénomènes psychiques se poursuivent au moins deux heures après.

2-1-2 Effet vasculaire

Cette partie reprend les études précédemment citées dans la partie « effet cardiaque » puisque tous les auteurs qui se sont intéressés aux modifications du rythme cardiaque ont également mesuré la pression artérielle lors de leurs travaux.

Ainsi, il a été montré que la pression artérielle systolique augmente de façon significative pendant l’exposition au froid et que les individus adaptés au froid, c'est-à-dire exposés depuis plusieurs mois et quotidiennement au froid, présentent une augmentation de leur pression artérielle systolique significativement moindre.

Les précédentes études à ce sujet ont d’ailleurs permis de définir l’hypertension artérielle comme contre-indication à la CCE.

2-2 Effet sur l'exercice musculaire

2-2-1 Effet sur la performance musculaire

La difficulté dans l'analyse de la littérature traitant des bénéfices apportés par le refroidissement cutané en ce qui concerne la performance musculaire est la diversité des protocoles d'étude, des conditions de refroidissement (eau, air, durée, température du réfrigérant, période de réchauffement ou non, etc…) et des conditions dans lesquelles l'exercice musculaire a eu lieu (sec, humide, chaude, tempérée).

On peut cependant dégager deux principaux types d'étude. Premièrement les études évaluant la performance musculaire pour des exercices « maximaux et brefs », que nous appellerons efforts maximaux et deuxièmement les études évaluant la performance musculaire pour des exercices « prolongés et non maximaux », que nous appellerons efforts sous maximaux.

- Exercices maximaux :

Peu d'études ont été réalisées sur ce type d'exercice. En effet, certains auteurs ne voient pas l'intérêt mais le risque d'effectuer un effort intense, maximal après une période de refroidissement cutané, et donc par contiguïté, de refroidissement musculaire.

En conclusion, les études évaluant les bénéfices que pourrait apporter un refroidissement cutané et donc musculaire juste avant un effort maximal ne permettent pas de donner une réponse définitive [183, 184, 186-188]. Objectivement il semble qu'il n'est pas de bons conseils de préconiser un bain dans l'eau glacée à un sprinter juste avant sa course, tant sur le plan de la performance que sur celui de sa sécurité.

Cependant, à la lecture de la littérature, on peut penser que la faille méthodologique réside peut-être dans la période de réchauffement allouée au sportif avant l'exercice maximal. Il se pourrait que les résultats soient plus en faveur de refroidissement cutané si la méthodologie prévoyait un retour à la température cutanée avant d'effectuer l'effort maximal.

Enfin, la seule étude explorant ce paramètre associant la CCE est toutefois intéressante, le principe de choc thermique a peut-être d'autres conséquences sur la force musculaire que n'ont pas les méthodes faisant intervenir un froid moins sévère.

- Exercices sous maximaux :

Sur ce point, les publications sont plus nombreuses et plus consensuelles [185, 189-192].

Les résultats montrent que le refroidissement cutané améliore les performances musculaires pour des efforts d'endurance. Cependant d'autres paramètres semblent avoir une influence sur les résultats obtenus. Ainsi la température extérieure et le taux d'humidité sont à prendre en compte. Il semble que le refroidissement cutané avant un effort d'endurance dans des conditions chaudes et sèches apporte un bénéfice non négligeable.

Les efforts proposés dans ces études sont de l'ordre de 30 à 40 minutes, ce qui correspond à des efforts d'endurance (surtout avec une VO2 max aux alentours de 65%) mais aucune étude n'est proposée pour des efforts de plus d'une heure. Il serait intéressant de vérifier dans quelle mesure les gains obtenus sur des efforts d'une demi-heure peuvent se prolonger dans le temps sur des efforts beaucoup plus longs.

Le mécanisme physiologique proposé pour expliquer ces performances est tiré des publications de Booth et Kay qui supposent que les capacités de stockage de chaleur est plus importante chez les patients refroidis avant exercice et donc que l'épuisement à l'effort survient en décalé par rapport aux patients non refroidis. La méthode de calcul de cette « capacité de stockage de chaleur » n'est pas claire dans cette littérature [189, 190].

2-2-2 Effet sur les lactates

Quelques études ont évalué le taux de lactate après exposition au froid, dans le cadre d'un effort musculaire.

L'étude de Booth montre que ce taux est plus élevé chez les patients qui ont subi un refroidissement cutané avant l'effort [189].A l'inverse, Joch mesure des taux de lactates significativement inférieurs chez les patients préalablement refroidis après un effort de 26 minutes sur cycle [89].

Mais Lee en 1995 montre que ces taux de lactates ne présentent pas de différence significative entre le groupe refroidi et le groupe qui ne l'est pas [193].

Ces quelques exemples expriment volontiers une méconnaissance de la littérature en ce qui concerne l'évolution de ce paramètre en relation au froid.

2-3 Effet sur le système hypothalamo-hypophysaire

D'après l'ouvrage de physiologie humaine de Vander-Sherman-Luciano, il est fort probable que l'ensemble du système neuro-endocrinien est modifié par le stress. Il précise également que la réponse neuro-endocrinienne au froid, comme facteur de stress diffère très probablement de la réponse au stress psychologique ou infectieux [194]. Par ailleurs l'interdépendance de tout le réseau hormonal fait qu'un schéma unique est inimaginable à l'heure actuelle.

Sur un plan physiologique nous avons vu que les auteurs s'accordent à dire que le froid est à l'origine d'une stimulation du système nerveux sympathique. Cette stimulation va à la fois augmenter le taux de noradrénaline et d'adrénaline circulant, ses neuromédiateurs, mais également avoir une action directe sur l'hypothalamus et son contrôle dans les différentes sécrétions hormonales.

Il a été montré dans plusieurs études que le taux de la noradrénaline augmente de façon significative et donc confirme l'activation du système nerveux sympathique en réponse au stimulus « froid ».

2-3-1 Effet sur le cortisol et l'ACTH

Chaîne de réaction [194]:

Exposition au froid

↓

Stimulation du système nerveux sympathique

↓

Stimulation hypothalamo-hypophysaire

↓

Augmentation ACTH

↓

Augmentation du Cortisol

Après une analyse des études réalisées il semble possible d'admettre que l'exposition au froid est à l'origine d'un stress contre lequel l'organisme répond par une augmentation du cortisol plasmatique [124, 195, 196]. Par ailleurs au cours d'exposition prolongée, on ne peut pas retenir que la fonction surrénalienne s'en trouve durablement modifiée mais qu'il est probable qu'une « désensibilisation » du système nerveux sympathique se produit en réponse au stimulus « froid ».

Enfin, il semble également que la réponse au froid soit plus rapide chez l'homme que chez la femme, mais il s'agit ici d'une hypothèse encore très peu documentée. Aucune étude de ce type n'a été réalisée au moyen de la CCE.

2-3-2 Effet sur l'hormone de croissance (GH)

L'hormone de croissance est une hormone sécrétée par l'antéhypophyse en réponse à la libération de GHRH (Hormone de libération de l'hormone de croissance). La GHRH est libérée par l'hypothalamus en réponse à une stimulation sympathique.

Il s'agit donc ici d'une confirmation quant à la stimulation sympathique causée par le froid.

Le principe de libération de la GH peut ainsi être résumé [194] :

Exposition au froid
↓
Stimulation du système nerveux sympathique
↓
Stimulation hypothalamique
↓
Sécrétion de GHRH
↓
Stimulation de l'antéhypophyse
↓
Sécrétion de GH

Peu d'études ont étudié les variations du taux de GH au cours de l'exposition au froid et leurs résultats sont contradictoires. Il est donc difficile de tirer une tendance ou des explications physiologiques. Il ne parait pas cependant que la stimulation sympathique

causée par le froid soit en relation directe avec la production de GH et il est fort raisonnable de penser que d'autres mécanismes interviennent dans cette régulation. Aucune étude anglo-saxonne ne traite ce sujet avec la CCE [64, 196-198].

2-3-3 Effet sur les hormones thyroïdiennes

Les hormones thyroïdiennes sont sécrétées par la glande thyroïde. Leur synthèse folliculaire est stimulée par la TSH qui est sécrétée par l'antéhypophyse. La régulation de la sécrétion de la TSH est assurée par la TRH, sécrétée par l'hypothalamus, dont le taux est augmenté par une stimulation sympathique.

Le principe de sécrétion des hormones thyroïdiennes peut être ainsi résumé :

Exposition au froid
↓
Stimulation du système nerveux sympathique
↓
Stimulation hypothalamique
↓
Sécrétion de TRH
↓
Stimulation de l'antéhypophyse
↓
Sécrétion de TSH
↓
Stimulation de la glande thyroïde
↓
Sécrétion d'hormones thyroïdiennes
↓
Rétrocontrôle négatif au niveau de l'antéhypophyse
↓
Diminution de la sécrétion de TSH

Là encore la littérature permet de penser que le froid, en exposition aiguë a une forte tendance à agir sur le bilan thyroïdien en le stimulant mais compte tenu des résultats parfois discordants il est raisonnable de penser que d'autres études devront être suivies afin de déterminer le mode d'action exacte du froid sur la fonction thyroïdienne [64, 198-200].

Par ailleurs, certains ouvrages de physiologie mentionnent que l'exposition répétée au froid est à l'origine d'une hyperthyroïdie, il s'agit d'exposition chronique (constante, comme les eskimos) et non aigue [194]. Aucune étude n'a étudié les effets de la CCE sur la fonction thyroïdienne.

2-3-4 Effets sur la prolactine

La prolactine est sécrétée par l'antéhypophyse. Sa sécrétion est médiée par la dopamine qui lorsqu'elle augmente inhibe sa sécrétion. La dopamine est sécrétée par l'hypothalamus en réponse à une stimulation sympathique.

On peut ainsi résumer le mécanisme de contrôle du taux de prolactine [194] :

Exposition au froid
↓
Stimulation du système nerveux sympathique
↓
Stimulation hypothalamique
↓
Sécrétion de dopamine
↓
Action sur l'antéhypophyse
↓
Inhibition de la sécrétion de prolactine

Beaucoup d'études ont montré l'augmentation des catécholamines au cours de l'exposition au froid mais aucune de celles-ci ne dosent la dopamine. Cependant, la dopamine étant le précurseur de l'adrénaline et de la noradrénaline il est possible de penser que si la noradrénaline augmente c'est que son précurseur également. Il s'agit d'une hypothèse qui demande à être confirmée.

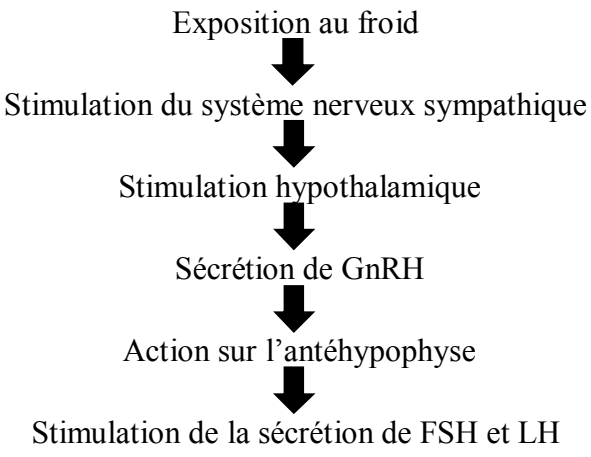
Les ouvrages de physiologie présente la sécrétion de prolactine comme soumise à une inhibition en réponse à l'exposition au froid [194]. Les quelques études effectuées sur ce sujet ont tendance à aller dans le même sens bien que l'étude de Dugué apporte des éléments supplémentaires [124]. Il est donc possible de conclure à un probable effet inhibiteur du froid sur la sécrétion de prolactine tout en précisant que d'autres études seraient

intéressantes afin de préciser sa physiologie. Aucune étude anglo-saxonne ne traite ce sujet avec la CCE.

2-3-5 Effets sur la FSH et la LH

La FSH et la LH sont sécrétées par l'antéhypophyse. Leurs sécrétions sont médiées par la GnRH qui lorsqu'elle augmente stimule leurs sécrétions. La GnRH est sécrétée par l'hypothalamus en réponse à une stimulation sympathique.

On peut ainsi résumer le mécanisme de contrôle du taux de FSH et LH [194] :



Peu d'études explorent le taux de FSH et de LH en réponse à l'exposition au froid et les bases de données utilisées ne permettent de retenir que celle d'Hermanussen en 1995 [64]. La FSH et la LH sont dosées au cours d'une période de 2 mois et demi pendant laquelle 6 hommes et 5 femmes pratique la nage en eau froide, au moins une fois par semaine dans une eau à 6,8°C en Octobre et 2°C en janvier. Les résultats montrent que leurs taux sont inchangés en fin d'étude et que les prélèvements effectués 30 et 60 minutes après l'exposition au froid concluent de la même façon. Aucune étude anglo-saxonne ne traite ce sujet avec la CCE.

D'autres investigations méritent donc d'être menées sur ce sujet afin de pouvoir mieux en expliquer la physiologie.

2-4 Effet sur le système immunitaire

Depuis de nombreuses années la nage en eau froide est pratiquée dans les pays nordiques et asiatiques. Cette pratique s'est développée plus de manière culturelle que sur des bases scientifiques et ont toujours permis aux pratiquants de penser que cette pratique leur permet d'améliorer leur résistance aux infections. Ils parlent donc volontiers d'amélioration de leurs défenses immunitaires.

Bien que cette pratique soit connue du grand public, elle n'a pas été très étudiée sur le plan scientifique. Ainsi les références bibliographiques des études dont nous allons parler se basent essentiellement sur des publications traitant du système immunitaire et de stress physique et non thermique. Les auteurs mentionnent d'ailleurs le manque de références bibliographiques dans leurs discussions.

Jansky explore ce paramètre en 1996 en immergeant 10 patients dans une eau à 14°C pendant une heure. Le principe est répété 3 fois par semaine pendant 6 semaines. Plusieurs marqueurs de l'immunité ont été mesurés et les résultats montrent une élévation significative des lymphocytes CD25 et des monocytes CD14. Une tendance à l'augmentation est remarquée pour l'IL6, TNF alpha, Lymphocytes T CD4 et CD8, la fraction C3 et C4 du complément. La CRP, la macroglobuline, l'Orosomucoïde demeurent inchangés [201]. L'IL6 étant un facteur stimulant la production de lymphocytes T [194], on peut considérer que ces résultats sont discordants.

Les résultats disparates de cette étude poussent l'auteur à ne pas donner de conclusions mais seulement d'ouvrir une voie de réflexion. Par ailleurs cette étude ne comporte pas de groupe témoins et la comparaison des 2 groupes pourrait montrer des différences plus remarquables.

En 1999, Dugué publie que les taux plasmatiques d'IL6, Leucocytes et Monocytes sont plus élevés chez les patients pratiquant habituellement la nage en eau froide que les patients ne la pratiquant pas. Il montre également qu'après l'exposition au froid, 5 minutes dans une eau à 2°C, l'augmentation de l'IL6 augmente de façon significative dans les deux groupes. De ces observations, Dugué propose que les nageurs en eau froide présentent, de part leur

taux plus élevé en IL6, un système immunitaire mieux préparé à la réponse inflammatoire, en particulier dans sa phase aiguë, et qu'une exposition répétée au froid peut ainsi être à l'origine d'une meilleure défense aux infections. Il propose également que les résultats indiquant que le taux d'IL6, Monocytes et Leucocytes est plus élevé chez les nageurs en eau froide pourraient être une piste tendant à montrer qu'une adaptation au froid se produit à ce niveau [124].

Cependant la méthodologie utilisée par Dugué associe sauna+nage en eau froide ce qui pousse à se demander si l'association de ces stress thermiques ne perturbe pas les résultats et donc les conclusions à tirer sur les effets du froid quant à la simple exposition au froid.

Il est donc possible que le système immunitaire puisse être stimulé par le froid de telle manière que la prédisposition aux infections soit moindre chez les individus adaptés. Mais la littérature à ce sujet est encore peu exhaustive et il parait difficile de conclure de manière affirmative. Aucune étude anglo-saxonne ne traite ce sujet avec la CCE.

2-5 Effet sur la fonction respiratoire

Le principe de base qui est étudié dans ce paragraphe prend en compte que l'organisme réagit au froid par une stimulation du système nerveux sympathique. Il est connu qu'une stimulation sympathique est à l'origine d'une bronchodilatation [194].

Chez l'asthmatique on évalue facilement l'état de constriction des bronches par le Peak Flow (PF) et de manière spirométrique par le volume expiré maximum par seconde (VEMS).

En 1993, Bandopadhyay publie les résultats d'une étude dont le protocole consistait à comparer la fonction respiratoire de 10 hindous à Dehli, en Arctique et à leur retour aux Indes. Les résultats ont montré que dans les premiers jours le VEMS est significativement diminué. A 4 semaines d'exposition Arctique, le VEMS retrouve son niveau de départ pour suivre une amélioration significative à la fin des 9 semaines que compte le protocole. De retour à Dehli, le VEMS revenait sans autre modification aux valeurs de départ. L'hypothèse physiologique retenue est que l'exposition au froid dans un premier temps est à l'origine d'une réaction sympathique de stress telle que le système nerveux parasympathique produit une réaction de défense qui fait plus que contre balancer les effets

des voies sympathique. Dans un second temps la sensibilité du système sympathique est moindre au froid de telle manière que les réactions inverses se produisent de moins en moins jusqu'à laisser au terme des 9 semaines les réactions sympathiques prendre le dessus et améliorer les valeurs de VEMS [202].

En 2006, Smolander étudie les effets de la CCE sur la fonction respiratoire chez 25 sujets non-fumeurs. Ces sujets pratiquaient 3 séances de CCE par semaine, pendant 12 semaines, chaque séance durant 2 minutes. Les paramètres pris en compte étaient le PF et le VEMS, mesurés avant la séance de CCE, 2 minutes et 30 minutes après chaque séance. Les résultats n'ont montré aucune modification du PF et du VEMS avant les séances de CCE ni après 2 minutes au cours des trois mois d'étude, ce qui signifie que l'exposition au froid régulière dans cette étude ne modifie pas la fonction respiratoire, en ce qui concerne ces volumes. En revanche à 30 minutes de la séance les résultats ont montré que le PF était significativement réduit après 1 mois et 3 mois de protocole. Le VEMS quant à lui est significativement réduit après 1 mois de CCE. Pour toutes les autres étapes de mesure, le PF et le VEMS sont également inférieurs à celles avant la séance mais de manière non significative. L'auteur explique ces résultats en prenant l'hypothèse qu'un effet parasympathique réflexe suit l'exposition au froid. L'effet sympathique a probablement bien lieu juste après l'exposition mais est rattrapé à 30 minutes, et dépassé par le système parasympathique. Il précise également que si l'exposition au froid était plus fréquente dans son protocole il aurait peut être obtenu des résultats plus marqués, et le fait que les patients portent un masque nasal et buccal empêche probablement un effet plus local sur la muqueuse respiratoire puisque l'air respiré est réchauffé par ce masque. Il conclut que la CCE doit au moins être utilisée avec précaution chez les patients asthmatiques [203].

L'effet du froid sur la fonction respiratoire est donc discuté dans cette littérature. Plusieurs paramètres interfèrent très probablement sur les conséquences respiratoires du froid, en particulier la durée et surtout la fréquence d'exposition, mais aussi le contact direct de l'air froid avec la muqueuse respiratoire. D'autres études nécessitent d'être menées afin de pouvoir conclure de façon affirmative.

V- Autres utilisations de la cryothérapie

1 Cryobiologie ou Cryopréservation

Cette technique permet la conservation d'organes, de cellules ou tissus par la congélation.

2 Chirurgie :

- Cryothérapie de rattrapage après radiothérapie prostatique :

Les options thérapeutiques de rattrapage à visée curative en cas d'échec biochimique après radiothérapie prostatique sont représentées par la prostatectomie radicale de rattrapage, la curiethérapie, les ultrasons focalisés de haute intensité et la cryothérapie. La cryothérapie prostatique de rattrapage est une technique à l'heure actuelle bien standardisée, dont la morbidité est faible et acceptable (excepté pour la dysfonction érectile) dans ces situations de récidive locale après radiothérapie pour cancer de la prostate. Il s'agit de l'un des traitements de rattrapage actuellement à privilégier car de moindre morbidité que la prostatectomie radicale de rattrapage qui était jusqu'à présent classiquement le traitement de référence [204].

- Cryothérapie pour les tumeurs rénales :

La cryoablation percutanée pour les petites tumeurs rénales représente un traitement efficace sur le plan oncologique et fonctionnel, qui s'adresse à une population sélectionnée, et qui se positionne comme une alternative mini-invasive au traitement de référence pour les patients ne pouvant relever d'une chirurgie d'exérèse. Les larges tumeurs ($\geq$ 3 cm) restent associées à un plus fort risque de traitement incomplet [205].

- La cryothérapie percutanée sous guidage radiologique des tumeurs des parties molles :

Les études s'intéressant à la cryothérapie percutanée dans le traitement des tumeurs des parties molles, bénignes ou malignes, sont rares et portent pour la plupart sur de faibles populations. Néanmoins, les résultats montrent tout le potentiel de la cryothérapie en termes de contrôle tumoral local, d'efficacité antalgique, de diminution des complications per- et post-procédure ainsi que de réduction de la durée de convalescence après l'intervention.

En raison de son excellente tolérance, la cryothérapie présente l'avantage de pouvoir être réalisée sous anesthésie locale et en ambulatoire. De plus, cette technique peu invasive semble mieux tolérée par les structures à proximité que la radiofréquence ou les micro-ondes. Le coût reste encore une limite à ce jour (de l'ordre de deux fois supérieur à la radiofréquence) mais qui peut être relativisé en comparaison aux coûts d'une chirurgie ou de convalescence pour des patients en impasse thérapeutique. Il apparaît maintenant nécessaire de valider cette technique à plus grande échelle et de façon prospective [206].

3 Dermatologie :

-Traitement des verrues : Une étude hollandaise a montré que la cryothérapie était le moyen le plus efficace pour le traitement des verrues cutanées, comparée aux autres méthodes, notamment l'application de l'acide salicylique [207].

En effet, le stylo anti-verrues est une méthode sûre et innovante pour éliminer à domicile les verrues des mains et des pieds. Son action est de courte durée et graduelle, limitant ainsi les sensations douloureuses. C'est un stylo prêt à l'emploi qui englobe et gèle la verrue au cœur par son embout spécifique (Figure 32).

Prix : Environ 150 Dhs.

Figure 32 : Stylos anti-verrues [208, 209].

4 Médecine du sport :

- Cryothérapie corps entier et exercice :

Afin de mieux cerner ce paragraphe concernant la CCE dans le contexte de l'exercice et plus particulièrement celui de la récupération je vous propose le tableau suivant (Tableau II) qui se base sur les connaissances actuelles et prend en compte les limites de cette méthode :

Tableau II : Synthèse des effets de la CCE [210].

Effets	Situations d'entraînement		Récupération fonction-nelle	Dommages musculaires	Réponse inflamma-toire	Capacité antioxydante	Système nerveux autonome	Sommeil	Adaptations à l'entraînement
Aigu	Présence de dommages musculaires	Légers	😐	😐	😐😐	😐			
		Modérés ou forts	😐	😐	😐				
	Absence de dommages musculaires (situations écologiques)		😐😐			😐	😐😐		
Chronique	Entraînement en musculation (objectif hypertrophie)								?😐?
	Entraînement intermittent de haute intensité								?😐?
	Augmentation de la charge d'entraînement							😐😐	

😐😐 : effets positifs significatifs ; 😐 : effets positifs faibles ; 😐 : absence d'effet positif ou absence de consensus ; 😐 ; effet négatif ; effet potentiellement négatif (? 😐 ?) ou positif (? 😐 ?) mais absence de preuves scientifiques spécifiques à la CCE actuellement.

5 Médecine vétérinaire

- La cryothérapie en pathologie locomotrice équine :

Le froid, par ses effets physiologiques intéressants et ses effets secondaires peu nombreux, est un moyen de traitement profitable dans les pathologies locomotrices équines.

Les multiples formes d'application permettent au praticien de s'assurer de l'observance du traitement par le propriétaire. Les possibilités d'utilisation en posttraumatique immédiat, en prévention des tendinopathies ou en traitement de la contracture musculaire en font un outil intéressant dans l'arsenal thérapeutique du vétérinaire[79].

- La cryothérapie en physiothérapie vétérinaire canine [78]:

Il existe une grande variété de techniques de cryothérapie, présentant des propriétés thermodynamiques différentes et donc une efficacité de refroidissement variable.

Une étude récente a évalué neuf modalités d'application du froid chez les chiens. Il en ressort le résultat suivant :

La cryothérapie gazeuse hyperbare d'une part, et la glace, en particulier le massage à la glace d'autre part, représentent les modalités d'application du froid les plus efficaces. Les cold packs contenant du gel réfrigérant permettent d'abaisser la température cutanée efficacement, mais il est nécessaire de changer les cold packs toutes les 10 minutes pour maintenir un refroidissement efficace pendant une durée minimale de 20 min. Les sprays réfrigérants abaissent très vite la température d'une peau tondue, mais leur effet est très fugace et nécessite des applications répétées fréquemment. L'appareil à cryothérapie compressive permet de maintenir la température de refroidissement pratiquement constante pendant toute la durée d'application, mais la vitesse de refroidissement et la température minimale obtenue se sont montrées peu performantes. Les packs à froid à base de tourbe et d'argile d'une part, et de grains de blé d'autre part, ont montré les performances les plus faibles et ne présentent donc que peu d'intérêt en cryothérapie. Enfin, les tests évaluant l'effet du pelage, ont montré une différence significative du refroidissement de la peau tondue par rapport à la peau non tondue. Des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer les effets du refroidissement des tissus en profondeur au moyen de thermocouples d'une part, et dans les situations pathologiques d'autre part.

VI- Indications et contre-indications

1 Indications

A partir de plusieurs observations, les indications principales de la cryothérapie ont été définies et sont au nombre de 3 :

- Le soulagement de la douleur
- La limitation des effets délétères de l'inflammation
- L'augmentation du drainage liquidien

1-1 Douleur

Tout d'abord, rappelons qu'avec l'application de glace sur le tissu cutané ou les « cold gel pack », il faut au moins 5 à 10 minutes pour atteindre une température suffisamment basse pour produire une analgésie locale [73], ce qui correspond à la vitesse de progression du refroidissement par conduction [28, 85, 211] .Ce temps traduit la progressivité du refroidissement dans les tissus autour des terminaisons nociceptives.

Cette lenteur de modification de la température des fibres nerveuses (terminaisons libres nociceptives) ne modifie que lentement leur excitabilité et donc n'induit l'analgésie que peu à peu. D'autre part, des thermorécepteurs phasiques, stimulables par des variations rapides ne sont pas activés dans ces conditions. La stimulation reste en place relativement longtemps (le plus souvent au-delà de 15 minutes). On peut qualifier cette cryothérapie de cryothérapie statique.

A contrario, nous avons montré que lors de l'application de la CGH (Cryothérapie Gazeuse Hyperbare), la modification de température cutanée (et vraisemblablement sous-cutanée) est rapide (« choc thermique »), et qu'en moins de 2 minutes elle déclenche une réponse systémique quasi-immédiate [66]. Par opposition à l'application d'un pack de glace sur la peau, cette cryothérapie peut être qualifiée de cryothérapie dynamique.

Nous savons qu'un refroidissement aux environs de 15°C entraîne une analgésie locale et qu'en dessous d'un seuil de 5°C, apparaît l'anesthésie locale [73].

La CGH aura une triple action sur le soulagement de la douleur [212-216] :

• Par diminution de la conduction des fibres nerveuses [70, 74, 217, 218]

• Par libération d'une protéine TRPM 8 dans la fibre nerveuse [219]

• Par diminution de l'activité biochimique dans les phénomènes inflammatoires

1-2 Inflammation

Le refroidissement de l'ensemble du corps peut être utilisé pour limiter l'inflammation [220, 221]. Le refroidissement local est toutefois plus couramment utilisé pour réduire l'inflammation superficielle [28, 222-229]. Le refroidissement tissulaire réduit le métabolisme et limite le développement de réactions secondaires au traumatisme, qui peuvent avoir des effets indésirables (réaction inflammatoire, extravasation, stimulations nociceptives...).

Il existe deux phases dans le processus inflammatoire : La phase d'installation ou phase vasculaire, et la phase de crise ou de poussée inflammatoire (encore appelée phase d'emballement) aux effets délétères.

• Phase vasculaire : l'action de la cryothérapie permet une limitation de l'extravasation vasculaire par vasoconstriction. Cette vasoconstriction, qui provoque aussi un appauvrissement de l'apport en oxygène, diminue la production enzymatique. Toutefois, précisons que la réaction inflammatoire n'est pas bloquée afin de permettre l'installation du processus de guérison.

• Phase de crise inflammatoire : pour le cas où l'on ne réduise pas les effets de la phase vasculaire, l'inflammation se développe et peut générer une augmentation de ses effets délétères (augmentation de la perméabilité tissulaire provoquée par les collagénases, hyaluronidases et élastases, augmentation de la douleur, installation chronique des phénomènes inflammatoires, voire une destruction tissulaire pouvant mener par exemple à la polyarthrite chronique évolutive). Le froid va dans ce cas permettre de limiter la vasodilatation donc la production enzymatique et de diminuer la douleur. De plus, il semblerait que les métalloprotéases (collagénases, hyaluronidases et élastases) soient thermosensibles : leur synthèse est rendue impossible par une température basse.

En dehors d'un abaissement rapide et conséquent de la température tissulaire, cette efficacité pourrait aussi être en rapport avec une mise en jeu particulière du système nerveux végétatif. Le refroidissement localisé de la peau stimule le système neurovégétatif orthosympathique par l'intermédiaire des thermorécepteurs cutanés sensibles au froid et du sang refroidi qui, en rejoignant la circulation générale, peut aussi stimuler les centres thermorégulateurs [26]. Cette mise en jeu provoque une vasoconstriction avec augmentation de pression artérielle [230-232]. Pour certaines intensités de stimulation froide et selon la dimension de la zone refroidie, une contre régulation à l'augmentation des pressions artérielles avec mise en jeu parasympathique peut être visible [233]. Le système neurovégétatif module certains mécanismes de l'inflammation [234]. La noradrénaline et l'adrénaline, libérées par les fibres nerveuses sympathiques et sécrétées par la glande médullosurrénale modulent la libération de cytokines et différentes facettes des phénomènes inflammatoires, notamment en se fixant sur les récepteurs alpha- et bêta- adrénergiques des cellules immunitaires. Par ailleurs, l'activité efférente vagale (parasympathique) inhibe la libération de cytokines pro-inflammatoires et donc le développement de l'inflammation dont celles-ci sont responsables [235, 236].

1-3 Système vasculaire

Le froid est utilisé pour réduire l'œdème en déclenchant la mise en action du « réflexe vasomoteur » : il s'agit d'une alternance de vasoconstriction et de vasodilatation permettant une augmentation du débit sanguin local et un drainage liquidien [237, 238].

Il semblerait que le froid à très basse température (cryothérapie) pulvérisé sur les chaînes ganglionnaires (membres supérieurs et/ou inférieurs) accélère les phénomènes de drainage lymphatique.

2 Contre-indications et accidents dus au froid

2-1 Allergie/Urticaire au froid

Cette réaction est retrouvée dans 1 cas sur 1 000 000 de sujets. Elle entraîne un urticaire géant associé à un purpura hémorragique [215].

Ce sont des affections rares. Elles surviennent sur des zones cutanées exposées au froid par contact direct avec des substances froides ou des courants d'air froid ou de l'eau froide. Elles peuvent être associées à des manifestations générales : malaise, nausées, douleurs abdominales, tachycardie, dyspnée voire syncope avec état de choc anaphylactique.

Le diagnostic se fait grâce au test du glaçon : on applique un glaçon pendant 2 à 10 minutes sur l'avant-bras du patient. En cas d'urticaire au froid, une plaque urticarienne va apparaître au niveau de la zone de contact.

2-2 Syndrome de Raynaud

Le risque principal est un risque d'ischémie, puisque le froid peut aggraver la vasoconstriction déjà présente des vaisseaux [215].

La phase syncopale est marquée par la pâleur intense, cireuse des doigts, remontant parfois sur la main voire jusqu'au poignet. Elle s'accompagne de paresthésies ou même d'une anesthésie des doigts qui deviennent parfois très maladroits. Dans certaines formes intenses, il existe un œdème associé. Lors de la récupération, quelques minutes à une demi-heure après le retrait du froid, la sensibilité réapparaît parfois de façon douloureuse et les doigts retrouvent une mobilité normale. Leur couleur est passée du blanc cireux à la cyanose puis à une rougeur diffuse.

Il existe fréquemment des antécédents familiaux analogues, sinon il faut rechercher une maladie de système associée. Le diagnostic est affirmé devant la vasoconstriction continue, sans oscillation vasomotrice et sans survenue de vasodilatation paradoxale au froid (pléthysmographie digitale par jauge de contrainte, mesure de température digitale) [39].

2-3 Drépanocytoses

Chez les patients atteints de drépanocytose, le refroidissement cutané est un facteur déclenchant les crises douloureuses qui sont associées à une nécrose vasculaire de la moelle osseuse (par falciformation et précipitation de l'hémoglobine S anormale) [17].

2-4 Trouble de la sensibilité cutanée

Suite à une atteinte neurologique, la diminution de la perception du froid pourrait entraîner un risque de nécrose tissulaire (gelure) [17].

2-5 Hémoglobinurie paroxystique au froid

Risque de destruction des globules rouges; l'hémoglobinurie paroxystique au froid est un passage non désiré de l'hémoglobine dans l'urine causé par une dégradation rapide (lyse rapide) des globules rouges après application de glace [239, 240].

2-6 Plaie ouverte profonde et atteintes cutanées

Risque de ralentissement du processus de cicatrisation [215, 241]. La vasoconstriction liée au froid diminuera l'apport sanguin et le métabolisme de la plaie. De plus, la sensibilité risque d'être altérée. Enfin il serait contre-indiqué de traiter un patient présentant une atteinte de type impétigo ou eczéma suintant.

2-7 Hypersensibilité au froid (Aversion au froid)

Refus de la part du patient de l'application du froid : attitude d'opposition du patient qui peut générer un effet d'augmentation de la douleur d'origine psychosomatique [17].

2-8 Problèmes cardiaques graves ou Hypertension grave

Risque de causer une vasoconstriction importante des artères coronaires. Éviter de traiter l'épaule gauche chez ces patients [17].

2-9 Cryoglobulinémie

Risque d'ischémie à la suite d'une application de glace (vasoconstriction augmentée).

La cryoglobulinémie consiste en une agrégation de protéines sériques dans les petits aisseaux distaux après une application de froid, il y a donc un plus grand risque de thrombose [242].

2-10 Engelures

Ce sont des placards de couleur violette ou rouge, souvent diffus, douloureux au froid, à la pression et atteignant les extrémités. Elles sont souvent précédées de l'onglée douloureuse : les orteils ou les doigts deviennent soit pâles, soit rouges, des périodes de vasoconstriction succédant aux périodes de vasodilatation. C'est un signe d'alarme précieux. À un degré de plus, il y a vasoconstriction intense avec anesthésie complète qui durera jusqu'au réchauffement qui sera douloureux avec sensation de brûlure intense et rougeur due à la vasodilatation. Ces douleurs peuvent durer plusieurs heures suivies d'une hyperesthésie de plusieurs jours. Des crevasses douloureuses peuvent apparaître surtout en cas de traumatismes associés, mêmes minimes. De plus les petites plaies sont lentes à guérir à basse température [243].

2-11 Gelures

Un refroidissement prolongé doit être évité, car il peut conduire à des gelures et à des lésions nerveuses [229, 244-246].

Les gelures superficielles sont marquées par un érythème, un œdème et des phlyctènes claires. Elles guérissent sans séquelle.

Les gelures profondes se rencontrent lors d'une exposition prolongée à de basses températures. La coloration des tissus est bleuâtre avec anesthésie locale plus ou moins complète. Après quelques heures, de grosses phlyctènes séro-hématiques couvrent les parties gelées. Puis apparaissent les escarres de profondeur variable, souvent surinfectées et pouvant à terme, conduire à des amputations.

Les gelures de la face sont particulièrement insidieuses car elles donnent peu de symptômes. Sur le visage apparaissent des tâches livides ou grises avec des sensations de piqûres d'aiguilles ou de petites douleurs aiguës et soudaines, puis survient l'anesthésie complète. Lors du réchauffement, la gelure devient rouge et chaude, se déprime, suinte. Ainsi, il peut y avoir des mutilations à bas bruit des extrémités du nez ou des oreilles. Ces gelures peuvent être particulièrement graves chez les sujets atteints de Cryoglobulinémie.

2-12 Acrocyanose

Maladie se caractérisant par des troubles circulatoires passagers responsables de cyanose (coloration bleue-violette) des extrémités des doigts, des orteils et des autres extrémités de l'organisme : oreilles, mains, etc... Ceci s'explique par la diminution de l'arrivée d'oxygène au niveau de ces tissus.

Cette coloration cyanique persistante des extrémités s'accentue au froid en s'associant à une sudation plus ou moins importante[17].

VII- Etude économique de la CCE

Il existe actuellement au Maroc un seul centre de cryothérapie corps entier ou à immersion partielle du corps. Aucune société ne vend ces dispositifs sur le territoire marocain.

Si, au Maroc, parler du salaire ou de l'argent relève du tabou .Discuter sur le revenu, la rentabilité ou le coût de l'investissement relève de l'impossible.

Mon enquête a été un échec total. Aucune information concernant le coté économique du projet ne m'a été révélée.

Pour cette raison je m'appuie dans cette partie de mon travail sur une étude réalisée en France par Catherine Legrand et coordonnée par Michel Gedda, tous les deux masseurs kinésithérapeutes [247].

L'objectif de cette étude était de faire une estimation des coûts de fonctionnement et d'investissement des différentes technologies proposées afin de donner des estimations réalistes collectées auprès des utilisateurs ou sur les données des fabricants.

L'enquête a parfois été difficile du fait du faible nombre d'unités actuellement en service en France. De plus, ces informations qui sont des données importantes sur le plan de la veille concurrentielle comme sur le plan de l'information des lecteurs, ont parfois été difficiles à recueillir.

1 Différentes technologies

Il existe différentes technologies qui permettent de pratiquer la cryothérapie corps entier :

- Les chambres de cryothérapie à compresseur électrique qui refroidissent l'air jusqu'à -110°C ou -120°C. Il existe pour cette technologie des chambres 1 compartiment à -85°C, des chambres 2 compartiments (une préchambre à -60°C et une chambre thérapeutique à -110°C) et des chambres 3 compartiments : 2 préchambres à -10°C et -60°C et une chambre thérapeutique à -110°C.

- Les chambres de cryothérapie à azote qui autorisent des températures de l'ordre de -140°C. Cette technologie est utilisée selon 2 modalités :

- chambres à 2 compartiments : une préchambre et une chambre thérapeutique, qui permettent l'exposition du corps entier.
- « caisson » parfois appelé « sauna » où seul le haut du corps est exposé au froid : la tête et le cou sont en dehors du caisson (cryothérapie corps partiel ou CCP).

- D'autres technologies existent (exemple : chambre de cryothérapie à air liquide synthétique), mais ne sont pas utilisées en France et/ou ne permettent pas un recul suffisant pour collecter des données concernant les coûts de fonctionnement et d'investissement.

2 Etude des coûts d'investissement

Les coûts d'investissement sont 2 fois plus élevés pour l'achat d'une chambre de cryothérapie à compresseur électrique (220 000 €) par rapport à une chambre 2 compartiments à azote (100 000 € à 120 000 €) (Tableau III).

Pour un « caisson » à azote en cryothérapie corps partiel, les coûts d'investissement sont plus faibles (46 000 €).

Toutefois, les frais annexes inhérents aux installations à azote sont plus importants, liés à la sécurité notamment : installation des tuyauteries d'arrivée de gaz et d'extraction d'air (sécurité contre le risque d'asphyxie) ou le détecteur de taux d'oxygène ou d'azote avec son alarme (1700 € HT + 2500 € HT).

Dans le cadre de l'installation d'une chambre 2 compartiments à azote, les frais annexes sont encore beaucoup plus élevés. En effet, ils nécessitent l'installation d'une citerne extérieure de 1200 à 10 000 Litres sur un support de sol adapté, d'un accès extérieur à la citerne sécurisé et normalisé pour la livraison du gaz. Enfin, le coût d'installation de la tuyauterie est d'autant plus élevé que la distance entre la citerne et la chambre de cryothérapie est importante. Le système d'extraction d'air est également un point sensible.

Dans le cadre des « caissons », le stockage du gaz peut être réalisé sous la forme d'un investissement initial : achat du contenant plutôt que dans le cadre d'un coût

de fonctionnement (le contenant peut être loué). L'investissement peut s'avérer intéressant (6000 € dans notre exemple) car il autorise un contenant double-paroi qui limite les risques d'évaporation d'azote. L'évaporation d'azote représente un coût caché qui peut aller jusqu'à 10 % de déperdition en cas de stockage dans une bonbonne simple paroi.

D'autres coûts d'investissement, non chiffrés dans notre étude et non obligatoires, peuvent être envisagés : climatisation (recommandée quelle que soit la technologie employée), cloisonnement, vestiaires, etc. Ces coûts initiaux sont variables en fonction de la configuration de chaque site et des choix de l'investisseur.

Si l'on compare des systèmes de capacités équivalents pour les 2 technologies (systèmes 2 compartiments), il faut savoir que les coûts annexes d'installation des systèmes à azote concernant la sécurité intérieure et extérieure, les réseaux d'arrivées de gaz et d'extraction d'air sont difficiles à estimer car ils sont fonction des caractéristiques de chaque site d'implantation et peuvent très rapidement devenir importants. Il serait approprié de les comparer à un investissement à une chambre à compresseur électrique 1 compartiment, et là encore l'investissement initial est plus élevé dans le cadre de la technologie électrique.

Enfin, un élément important est à prendre en compte : le type d'exercice à visée commerciale ou médicale permet à l'investisseur de récupérer ou non la TVA à hauteur de 20 % du montant de l'investissement. Ce point est à prendre en considération car dans une structure commerciale, on paie la TVA sur les recettes (séances) et on la récupère sur les frais et l'investissement (achat), alors que dans une structure médicale, on ne récupère pas la TVA sur les achats et on ne paie pas de TVA sur les actes conventionnés, uniquement sur la part qui dépasse 32 900 € par praticien et par an en cas de réalisation d'actes médicaux non conventionnés.

En résumé, les coûts d'investissement initiaux sont plus élevés dans le cadre d'un investissement dans une chambre de cryothérapie à compresseur électrique mais les systèmes azote ont des coûts d'investissement supplémentaires, cachés ou non, qui sont significatifs et difficiles à évaluer car très souvent dépendants de la configuration intérieure et extérieure du site d'installation. L'impact juridique et fiscal de la TVA est un point important à intégrer.

Tableau III : Tableau des coûts d'investissement et de fonctionnement [247].

	Chambre de cryothérapie corps entier électrique à 2 chambres	Chambre de cryothérapie corps entier à gaz à 2 chambres	Caisson de cryothérapie à gaz (cryothérapie corps partiel)
Investissement initial			
Étude de faisabilité-Construction-Livraison = -installation. Tarif HT	220 000 €	80 000 €/120 000 € Prix moyen 100 000 €	40 000 € à 50 000 € Prix moyen 46 000 €
Coûts d'installation annexes : travaux immobiliers	Coût pour porte isophonique local technique contigu recommandé pour installation machinerie	Coût pour installation citerne (1200 L à 10 000 L) avec stockage normalisé de l'azote et accès extérieur normalisé pour camion de livraison du gaz	Coût pour arrivée de gaz et extracteur d'air : 1700 € HT
	Climatisation souvent recommandée	Coût pour arrivée de gaz et extracteur d'air : il est à noter que plus la distance entre la citerne et la chambre est longue plus l'installation est coûteuse (éventuel coût pour arrivée d'oxygène)	Climatisation souvent recommandée
	Coût variable en fonction des locaux non obligatoires mais recommandés	Climatisation souvent recommandée	
Coûts sécurité surveillance oxygène	Non	Coût pour système de détection d'oxygène, alarme et installation : 2500 € HT	Coût pour système de détection d'oxygène, alarme et installation : 2500 € HT
Coûts de fonctionnement			
Coût contenant		Coût location citerne (EX : 3000 L environ 400 € par mois)	Coût d une bonbonne pressurisée à double paroi (achat) 6000 € HT volume 200 L. La location des bonbonnes simple ou double paroi est également possible
Coût d'azote	Non	Coût d'un remplissage de cuve et volume du contenant ; peut descendre à 0,40 € HT pour des cuves de gros volume	0,70 € HT le litre à 1 € le litre (dépend du volume du contenant)
Azote : consommation et coût	Non	Refroidissement de la chambre 50 kg + 2,5 kg par minute	Refroidissement 3 kg puis environ 1 kg par minute soit 4 à 6 L par session. Information site importateur + évaporation ou selon information utilisateur, refroidissement 8 L puis 4,5 L par séance de 3 minutes si séances se succèdent. Si les séries de séances sont espacées de plus de 2 h, la consommation sera environ 5,5 à 6 L par séance
	Non	Coût de l'évaporation de l'azote. Plus élevé si grande distance entre citerne et chambre de cryothérapie	Coût de l'évaporation de l'azote. Elle peut aller jusqu'à 10 % si bonbonnes industrielles simple paroi. Elle sera de 1 à 2 % en cas de bonbonne médicale double paroi neuve (paroi interne en bon état)
Maintenance	Toutes 1500 H à 2800 € HT (hors frais de déplacement) 4000 € annuel déplacement inclus. Attention toutefois les contrats ne couvent pas tous exactement les mêmes services et conditions		2 fois par an pour vérification notamment des circuits, fuite, etc. 4000 € annuels

Tableau III : Tableau des coûts d'investissement et de fonctionnement (suite) [247].

	Chambre de cryothérapie corps entier électrique à 2 chambres	Chambre de cryothérapie corps entier à gaz à 2 chambres	Caisson de cryothérapie à gaz (cryothérapie corps partiel)
Coût d'électricité	Pour une utilisation de 8 h par jour pendant 8 h tous les jours et 4 h le samedi à raison de 288 jours par an : 480 € d'électricité par mois (base 0,12 € du KW)	3 KW max : consommation très faible	1,5 KW max consommation très faible Non significatif
Coût moyen gaz estimé pour 1 séance si séances successives			9,50 €. Attention au nombre de séances successives limité selon constructeur car un séchage doit être fait régulièrement entre les séries
Coût moyen estimé pour 1 séance isolée			15 €

3 Etude des coûts de fonctionnement

3-1 Coûts de fonctionnement des technologies à azote

Les coûts de fonctionnement sont beaucoup plus élevés et difficiles à maîtriser dans le cadre des technologies à azote (Tableau III).

En effet, les technologies à azote requièrent des coûts supplémentaires :

- De location du contenant (s'il n'a pas été acheté et passé en investissement).

- De coût du consommable azote : de 0,40 € le litre à 1 € le litre, en fonction de la localisation du site et du volume d'azote à chaque remplissage.

- Des coûts de consommables majorés suivant l'importance du dispositif : plus important pour une chambre de cryothérapie corps entier à azote 2 compartiments plutôt que pour 1 caisson de cryothérapie corps partiel. Ils sont plus importants lors de la première mise à température et diminuent si les séances sont faites de manière successive (9,50 € la séance) jusqu'à une certaine limite. Il est en effet nécessaire entre 2 séries de traitements, de sécher le « caisson » pendant une durée de 1 h 30 à 2 h 00. Une nouvelle mise en température et donc une consommation supérieure de gaz est alors nécessaire pour réaliser une nouvelle série de séances.

De même, le fait de réaliser des séances isolées dans le cadre d'une technologie à azote est également beaucoup plus consommateur de gaz, car à chaque séance il faut faire une mise en température, à laquelle on ajoute la consommation pendant la séance elle-même (coût d'une séance 15 €).

- Des coûts cachés de l'évaporation de l'azote : dans le cadre d'un caisson de cryothérapie corps partiel, l'évaporation est de 1 % à 10 % en fonction de la qualité du contenant, plus ou moins les éventuelles fuites du circuit. Dans le cadre d'une chambre de cryothérapie corps entier à azote 2 compartiments, l'évaporation augmente d'autant plus que la longueur de la tuyauterie d'arrivée d'azote est importante.

3-2 Coûts de fonctionnement des technologies à compresseur électrique

Les coûts de fonctionnement d'une chambre de cryothérapie 2 compartiments à compresseur électrique sont variables en fonction du nombre d'heures d'utilisation.

Les chambres de cryothérapie à air peuvent fonctionner en continu toute la journée ou uniquement aux heures d'ouverture. Le reste du temps (nuit, période des repas, etc.), elles restent en veille ou en mode dégivrage. Ces cycles sont programmables par période de 24 heures et par semaine, de manière à réguler la consommation électrique de façon optimale tout en ayant une durée de fonctionnement possible pendant la totalité des heures d'ouverture du site. La consommation électrique coûte environ 5700 € annuels pour un fonctionnement de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, et 4 heures le samedi. Il n'y a pas d'autres coûts de fonctionnement cachés ou non. Les coûts de fonctionnement sont significativement supérieurs dans le cadre des technologies à azote. Ces surcoûts étant importants, ils obligent les utilisateurs à optimiser cette consommation en regroupant les séances par séries successives. De plus, l'arrêt toutes les 1 h 30 pour sécher les caissons d'azote en diminue la rentabilité. Les coûts cachés d'évaporation d'azote sont également non négligeables.

3-3 Coûts de maintenance

Les coûts de maintenance sont de l'ordre de 2500 € à 4000 € HT annuel ; ils varient en fonction du nombre d'heures d'utilisation et de la technique utilisée. Toutefois, les contrats de maintenance ne sont pas forcément comparables. Les maintenances sont préventives ; en cas de panne, les réparations en dehors des cadres de garantie constructeur sont réalisées après acceptation d'un devis.

4 Etude des coûts de rentabilité

Cette étude de coûts est complétée par une étude de rentabilité (Tableau IV et V).

Pour ce faire, nous avons recueilli les données de tarifs patients pratiqués (Tableau IV).

Nous avons ainsi constaté que le tarif moyen d'une séance est de 40 € TTC, quelle que soit la technologie employée. C'est le tarif pratiqué dans la cadre de forfaits de 10 séances environ.

Pour le calcul de rentabilité (Tableau V), nos simulations montrent à première vue que les « caissons » de cryothérapie corps partiel à azote offrent une rentabilité supérieure si l'on pratique mensuellement 10 séances par jour pendant 22 jours ouvrés (bénéfice : 2980 € HT contre 2190 € HT).

À partir de 20 séances par jour, la meilleure rentabilité est celle des chambres à 2 compartiments à compresseur électrique, puisque les coûts fixes ne varient pas dans le cadre d'une utilisation intensive avec la technologie électrique (bénéfice : 9450 € HT contre 8150 € HT).

Tableau IV : Tableau des prix de vente des séances aux patients [247].

	Chambre de cryothérapie corps entier électrique à 2 chambres	Chambre de cryothérapie corps entier à gaz à 2 chambres	Caisson de cryothérapie à gaz (cryothérapie corps partiel)
Tarif pour 1 séance	– cher 40 € TTC + cher 48 € TTC	1 seul centre équipé en France. Pas d'information obtenue	– cher 29 € TTC + cher 50 € TTC
Prix moyen constaté pour 1 séance	45 € TTC soit 37,50 € HT		48 € TTC soit 40 € HT
Tarif d'une séance dans le cadre d'un forfait 10 séances (± 2)	– cher 33 € TTC + cher 41,25 € TTC		– cher 23 € TTC + cher 41,71 € TTC
Prix moyen constaté d'une séance dans le cadre d'un forfait 10 séances (± 2)	40 € TTC soit 33,33 € HT		40 € TTC soit 33,33 € HT

Tableau V : Tableau de rentabilité [247].

	Chambre de cryothérapie corps entier électrique à 2 chambres	Chambre de cryothérapie corps entier à gaz à 2 chambres	Caisson de cryothérapie à gaz (cryothérapie corps partiel)
Charges d'exploitation directes	220 000 €	100 000 €	45 000 €
Charge de remboursement mensuelle en crédit bail sur une durée de 7 ans	3060 €	1390 €	625 €
Côuts mensuel des installations techniques annexes amortissement sur 10 ans		Aucune information recueillie	35 €
Maintenance lissée mensuellement	330 €	Aucune information recueillie	330 €
Coût électricité mensuelle pour un fonctionnement de 8 H par jour pendant 5,5 jours par semaine	480 €	Aucune information recueillie	
Coût moyen estimé pour 1 séance en forfait		Aucune information recueillie	9,5 €
Simulation de coût mensuel azote pour une utilisation de 10 séances par jour pendant 22 jours		Aucune information recueillie	2090 €
Équivalent coût masse salariale temps partiel	1200 €	Aucune information recueillie	1200 €
Total charges mensuelles 10 séances par jour	5070 €	Aucune information recueillie	4280 €
Total charges mensuelles 20 séances par jour	5070 €	Aucune information recueillie	6370 €
Total charges mensuelles 40 séances par jour	5070 €	Aucune information recueillie	10 550 €
Recettes			
Recettes moyennes pour 1 séance (base forfait 10 séances en € HT)	33 €	Aucune information recueillie	33 €
Recettes pour 10 séances par jour pendant 22 jours ouvrés	7260 €	Aucune information recueillie	7260 €
Recettes pour 20 séances par jour pendant 22 jours ouvrés	14 520 €	Aucune information recueillie	14 520 €
Recettes pour 40 séances par jour pendant 22 jours ouvrés	29 040 €	Aucune information recueillie	29 040 €*
Résultats			
Résultats mensuels HT pour 10 séances jour (somme des recettes moins somme des charges)	2190 €	Aucune information recueillie	2980 €
Résultats mensuels HT pour 20 séances jour (somme des recettes moins somme des charges)	9450 €	Aucune information recueillie	8150 €
Résultats mensuels HT pour 40 séances jour (somme des recettes moins somme des charges)	23 970 €	Aucune information recueillie	18 490 €*

*40 séances par jour avec un « caisson » à azote à raison de 6 personnes à l'heure et en incluant les temps de séchage obligatoires du caisson ne sont pas possible à réaliser.

Dès lors que l'on atteint 40 séances par jour et plus, le résultat positif de rentabilité reste toujours exponentiellement supérieur pour la technologie électrique quel que soit le nombre de patients puisque les charges restent constantes dans cette technologie alors qu'elles augmentent en raison du coût du consommable azote dans la technologie à gaz.

Il est à noter que le Tableau V de calcul de rentabilité ne tient pas compte d'autres charges telles que le loyer, les assurances responsabilité civile et multirisques professionnelles, le chauffage/climatisation du local, etc. Ces éléments sont prépondérants et peuvent faire basculer la rentabilité de positive à négative. Une étude personnalisée préalable est donc indispensable, ainsi qu'une étude de marché approfondie dans la zone d'installation prévue.

5 Conclusion

L'étude des coûts de fonctionnement est en faveur des technologies à compresseur électrique.

L'étude des coûts d'investissement initiaux est en faveur des technologies à immersion partielle du corps type « caisson » à azote.

L'étude de rentabilité permet de recadrer le niveau d'équilibre entre technologie à azote et technologie électrique.

La technologie à azote semble plus rentable dans le cadre d'un faible nombre de séances journalières (moins de 10) ; mais dès lors qu'on ajoutera loyer, assurance et autres frais divers (électricité, eau, taxes. . .), la rentabilité réelle sera négative.

Au-delà de 20 séances par jour, la technologie électrique est plus rentable. Quarante séances journalières ne sont pas possibles à réaliser avec un « caisson » de cryothérapie corps partiel à azote dans le cadre d'une prise en charge qualitative de la patientèle.

Cette étude n'est toutefois établie qu'au travers de chiffres. Le côté « Pratique » d'utilisation au quotidien n'est pas étudié. Celui-ci est à considérer, notamment par le fait que l'utilisation du gaz nécessite le regroupement des séances pour optimiser les coûts et le fonctionnement, ce qui peut impacter la rentabilité par manque de flexibilité horaire pour les patients.

Toutefois, cette étude qui n'a pu recueillir les éléments des chambres de cryothérapie corps entier à 2 compartiments à azote, demanderait à être complétée.

L'ensemble de ces chiffres donne une tendance à titre indicatif, mais chaque cas reste individuel et les contraintes de sites, normatives, de sécurité, d'objectif d'utilisation, de contraintes d'assurance, de salaire, de loyer, etc. doivent impérativement être prises en considération de manière individuelle pour affiner les calculs du présent document.

VIII- Cryotherapie au Maroc

La cryothérapie ou la thérapie par le froid est une pratique ancienne au Maroc.

Dès notre jeune âge, le premier réflexe de nos parents devant un bobo ou une petite piqûre est d'appliquer de la glace d'une manière traditionnelle (Glaçons dans une serviette).

On grandit et on se retrouve un jour dans un terrain de sport. Et là encore, au moindre choc, le premier conseil pour diminuer et soulager les coups et les bleus est de mettre de la glace sur l'endroit concerné.

La cryothérapie au Maroc ne s'est pas arrêtée à la poche de glace. Ce moyen thérapeutique a évolué ces dernières années, mais cette évolution reste encore très lente et ne permet pas d'exploiter toutes les vertus de cette technique.

En 2015, Dr Najib Garti, cardiologue, réalise une intervention rarissime à l'échelle du continent qui consiste à réguler le rythme cardiaque de deux patients par cryothérapie (Une première dans la chirurgie cardiaque au Maroc). L'objectif de cette technique d'ablation est la disparition de la fibrillation auriculaire. Le patient retrouve ensuite des palpitations cardiaques normales [248].

1 Quelques services proposés au Maroc

1-1 Cryothérapie corps entier

Traitement rapide du corps entier en l'exposant à des températures extrêmes (de -110°C à -140°C) pour favoriser la santé globale, la remise en forme, la perte de poids, la récupération musculaire ainsi que la beauté. Un seul centre possède cette technologie au Maroc et plus précisément à Casablanca (La franchise américaine Cryo center).

Prix de la séance (450 Dhs).

1-2 Cryothérapie localisée

Méthode thérapeutique utilisant le froid sous différentes formes pour atténuer une inflammation, lutter contre la douleur, l'œdème, pour détruire certaines dermatoses et adiposités localisées.

1-3 Cryothérapie faciale

La Cryothérapie faciale est un soin restructurant, une véritable solution anti-âge alternative à la chirurgie esthétique ou encore au Botox. La Cryothérapie faciale retarde considérablement le vieillissement de la peau.

Elle s'applique au contact ou à travers un jet de froid.

Ses bienfaits sont : Diminution de la taille des pores, diminution des rides et les ridules, stimulation de la production de collagène et amélioration de la circulation sanguine.

1-4 Cryolipolyse

La cryolipolyse est une solution non invasive d'amincissement. Elle procède par la destruction grâce au froid (-7°C) des amas graisseux localisés. Les cellules adipeuses cristallisées sont progressivement détruites et éliminées naturellement par le corps. (Le prix d'une séance varie entre 1500 et 3000 Dhs).

2 Conclusion

La CCE qui est la méthode la plus évoluée, a des indications de bien-être, des indications sportives et des indications thérapeutiques. Au Maroc on l'utilise surtout pour le coté bien-être qu'elle procure. Ses indications sportives sont très peu sollicitées et son application thérapeutique est rare. Cela peut s'expliquer par le manque d'information, les prescriptions médicales rares ou presque inexistantes ainsi que le prix des séances qui reste relativement cher.

Il faut signaler qu'aucune loi ni aucune autorité de santé au Maroc ne régit les compétences nécessaires pour délivrer des séances de CCE ou de Cryothérapie localisée, alors que les risques ne sont pas anodins : risque mortel par asphyxie, brûlure, hypothermie ou risques divers pour non-respect des contre-indications. Étant donné le risque patient encouru, il est important que le patient puisse être informé des qualifications du « praticien » (coiffeur, instituteur, kinésithérapeute, médecin, cuisinier, etc.), ainsi que de l'existence de la souscription par l'utilisateur d'une assurance dédiée couvrant totalement les risques

encourus par le patient. En effet, les multirisques ou RCP classiques ne couvrent pas ces risques et le « praticien » bien souvent ne le sait pas, et surtout le patient n'est pas couvert.

Remarque :

Tous les produits cités dans ce travail et dont le prix est mentionné en Dirhams existent dans le marché marocain et peuvent être vendu en pharmacie.

Conclusion

Le froid est utilisé comme moyen thérapeutique et de relaxation depuis des millénaires. Les différentes méthodes de cryothérapie ont déjà montré une multitude de bienfaits sur l'Homme. Leurs conceptions ont évoluées et permettent une utilisation de plus en plus facile.

A travers les études de terrain en situation de compétition, la CCE a montré qu'elle était une méthode efficace et peu contraignante.

Cependant, malgré les preuves cliniques de l'efficacité du froid, il reste encore beaucoup d'interrogations concernant les modes d'application et les temps d'application.

La cryothérapie pourrait ainsi représenter une alternative ou permettre une épargne en traitements corticoïdes et anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), responsables d'une morbidité et d'une mortalité croissante chez des patients arthritiques présentant déjà un sur-risque cardio-vasculaire.

Elle a besoin d'être démocratisée afin de pouvoir être accessible à un plus grand nombre.

Résumés

RESUME

Titre : Cryothérapie : Effets anti-infectieux et conseil à l'officine

Auteur : AZROUGUER Mohammed Achraf

Mots clés : Cryothérapie - Froid - Choc thermique - Récupération sportive - Anti-inflammatoire

Le froid est utilisé depuis des millénaires pour ses nombreux effets sur l'organisme (anti-inflammatoire, antalgique…). La description de la thermorégulation et des différents récepteurs cutanés a permis d'expliquer le mécanisme associé à chaque effet.

Le terme « Cryothérapie » a été employé pour la première fois en 1908 par Allen William Pusey pour décrire le traitement des lésions cutanées par des températures très basses. Aujourd'hui, on parle de cryothérapie (ou thérapie par le froid) pour tous les traitements dont le but est d'abaisser la température corporelle sans destruction des tissus (Cette température extrême provoque chez le bénéficiaire un choc thermique activant ainsi des réactions physiologiques et hormonales).

Les différentes modalités d'application du froid vont des techniques les plus simples

(Eau et glaçons) à des techniques plus élaborées (cryothérapie gazeuse). Il existe ainsi différentes formes de cryothérapie : Le traitement local avec des poches de glaces, des sprays cryogènes, des pulvérisations gazeuses … Le traitement plus global, avec l'immersion en eau froide (on parle de refroidissement par conduction) et la cryothérapie corps entier, dans laquelle le refroidissement est dit par convection.

Ses indications sont aussi très nombreuses et vont du traumatisme banal à la polyarthrite rhumatoïde et la spondylarthrite ankylosante en passant par la récupération sportive. Elle pourrait ainsi représenter une alternative ou permettre une épargne en traitements corticoïdes et anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), responsables d'une morbidité et d'une mortalité croissante chez des patients arthritiques présentant déjà un sur-risque cardio-vasculaire.

Enfin, après son développement dans les domaines de la douleur et de la récupération, une nouvelle tendance voit la Cryothérapie gagner le milieu du bien-être, de l'esthétisme et de la relaxation.

SUMMARY

Title: Cryotherapy: anti-infectious effects and advice at the pharmacy

Author: AZROUGUER Mohammed Achraf

Key words: Cryotherapy - Cold - Thermal shock - Sports recovery - Anti-inflammatory

Cold has been used for millennia for its many effects on the body (anti-inflammatory, analgesic ...). The description of the thermoregulation and the different cutaneous receptors made it possible to explain the mechanism associated with each effect.

The term "Cryotherapy" was first coined in 1908 by Allen William Pusey to describe the treatment of skin lesions at very low temperatures. Today, we talk about cryotherapy (or cold therapy) for all treatments whose purpose is to lower body temperature without destruction of tissues (This extreme temperature causes the beneficiary a thermal shock thus activating physiological and hormonal reactions).

The different methods of applying the cold range from the simplest techniques (Water and ice cubes) to more elaborate techniques (gas cryotherapy). There are different forms of cryotherapy: Local treatment with ice packs, cryogenic sprays, gas sprays ... More global treatment, with immersion in cold water (we talk about conduction cooling) and whole body cryotherapy in which the cooling is said by convection.

Its indications are also very numerous and range from common trauma to rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis to sports recovery. It could thus represent an alternative or allow a savings in corticoids and non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs), which are responsible for increasing morbidity and mortality in arthritis patients already suffering from cardiovascular risk.

Finally, after its development in the areas of pain and recovery, a new trend sees Cryotherapy gaining the environment of well-being, aesthetics and relaxation.

ملخص

العنوان: **العلاج بالتبريد: الآثار المضادة للعدوى والمشورة في الصيدلية**

الكاتب: **أزروكر محمد أشرف**

الكلمات الأساسية: **علاج بالتبريد – برد – صدمة حرارية – انتعاش رياضي – مضاد الالتهابات**

يستخدم البرد منذ آلاف السنين نظرا لآثاره الكثيرة على الجسم (مضاد للالتهابات، مسكن...). الوصف الدقيق للتنظيم الحراري والمستقبلات الجلدية المختلفة جعل من الممكن تفسير الآلية المرتبطة بكل تأثير.

مصطلح "العلاج بالتبريد" تمت صياغته لأول مرة في عام 1908م من قبل ألين ويليام بوزي لوصف علاج الآفات الجلدية بدرجات حرارة منخفضة جدا. اليوم، نتحدث عن العلاج بالتبريد بالنسبة لجميع العلاجات التي تهدف إلى خفض درجة حرارة الجسم دون تدمير الأنسجة (درجة الحرارة المتطرفة هاته تسبب عند المستفيد صدمة حرارية وبالتالي تفعل ردود فعل فيزيولوجية و هرمونية).

الطرق المختلفة لتطبيق البرد تنطلق من أبسط التقنيات (الماء ومكعبات الثلج) إلى تقنيات أكثر تفصيلا (العلاج بالتبريد الغازي). هناك أشكال مختلفة من العلاج بالتبريد: العلاج المحلي باستعمال حزم الجليد، بخاخ مبردة، بخاخ غازية ... العلاج العامي، باستعمال الانغماس في الماء البارد (نتحدث هنا عن التبريد بالتوصيل) والعلاج بالتبريد للجسم كله الذي يقال عنه التبريد عن طريق الحمل الحراري.

مؤشراته هي أيضا كثيرة جدا وتتراوح من الصدمة الشائعة إلى التهاب المفاصل الروماتويدي والتهاب الفقار اللاصق مرورا بالانتعاش الرياضي. وبالتالي يمكن أن تمثل بديلا أو تسمح بإنجاز مدخرات في الستيرويدات القشرية وكذا الأدوية المضادة للالتهابات غير الستيرويدية (المسكنات)، والتي هي المسؤولة عن زيادة الاعتلال والوفيات في مرضى التهاب المفاصل الذين يعانون من مخاطر القلب والأوعية الدموية.

وأخيرا، بعد تطوره في مجالات الألم والانتعاش، يتجه العلاج بالتبريد نحو افاق جديدة تتمثل في بيئة الرفاه، وعلم الجمال والاسترخاء.

Références bibliographiques et webographiques

[1] **Bouzigon R.** Development of a new technology of whol-body Cryotherapy (WBC) chamber.Université de Franche-Comté 2016.

[2] **Zagrobelny Z, Zimmer K.** The use of cryogenic temperatures in sports medicine and physiotherapy.Rehab Med 1999;94(15):8-13.

[3] **Adam J.** Cryothérapie corps entier : histoire, concept et matériel. Kinésithérapie, la Revue 2014;14(152):41-4.

[4] **Lubkowska A.** Cryotherapy: physiological considerations and applications to physical therapy.Physical Therapy Perspectives in the 21st Century-Challenges and Possibilities 2012:155-76.

[5] **Barbiche E, Polin D.** 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 2006.

[6] **Marreiro A et al.** Note sur la possibilité de modéliser analytiquement la température cutanée en cryothérapie corps entier (CCE).Science & Sports 2017;32(5):316-319.

[7] **Clerc D.L.** Histoire de la médecine.Genève 1696.

[8] http://www.hcs.harvard.edu/rhazes-web/?page_id=219 visité le 05/01/2018

[9] **Lewis T.** Observations on Some Normal and Injurious Effects of Cold upon the Skin and Underlying Tissues: I. Reactions to Cold, and Injury of Normal Skin.British Medical Journal 1941;**2**(4222):795-7.

[10] **Razemon J.P, Cachera J.P.** Treatment of sprains with ethyl chloride.Lille Chir 1955;10(4):198-202.

[11] **Fricke R.** FLokale Kaltlufttherapie-eine weitere kryotherapeutische Behandlungsmethode.Z. phys. Med. Balneol. Med. Klimatol. Gräfelfing 1984;13:260.

[12] **Yamauchi T, Nogami S, Miura K, Sakawoto K.** Various applications of the extreme cryotherapy and strennuous exercise program - focusing on rheumathoid Arthritis.Physiotherapy and rehabilitation 1981;26:89-101.

[13] **Yamauchi T.** Whole-body cryotherapy is a method of extreme cold (-175°C)treatment initially used for rheumatoid arthritis.Zeitschrift für physikalische Medizin, Balneologie, medizinische Klimatologie 1988;15:311.

[14] **Engel P, Fricke R, Taghawinejad M, Hildebrandt G.** Ganzkorperkaltebehandlung bei Patienten mit chronischer Polyarthritis.Phys Med Baln Med Klim 1989;18:37-43.

[15] **Fricke R.** Ganzkörperkältetherapie in einer Kältekammer mit Temperaturen um -110°C.Zeitschrift für physikalische Medizin, Balneologie, medizinische Klimatologie 1989;18:1-10.

[16] **Zagrobelny Z, Halawa B, Negrusz-Kawecka M, Spring A, Gregorowicz H, Wawrowska A, Rozwadowski G.** Hormonal and hemodynamic changes caused by whole body cooling in patients with rheumatoid arthritis.Polskie Archiwum Medycyny Wewnetrznej 1992;87:34-40.

[17] **Cluzeau C.** La cryothérapie gazeuse hyperbare : conception, validation, observations cliniques d'une nouvelle technique de cryothérapie.Besançon: Franche Compté 2010;(97 f.):1

[18] **Brannigan D et al.** Hypothermia is a significant medical risk of mass participation long-distance open water swimming.Wilderness Environ Med 2009;20(1):14-8.

[19] **Maron M.B, Wagner J.A, Horvath S.M.** Thermoregulatory responses during competitive marathon running.J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 1977;42(6):909-14.

[20] **Jessen C.** Temperature Regulation in Humans and Other Mammals.Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 2001;85(9-10):333.

[21] **Nagashima K et al.** Neuronal circuitries involved in thermoregulation. Auton Neurosci 2000;85(1-3):18-25.

[22] **Charkoudian N.** Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why.Mayo Clin Proc 2003;78(5):603-12.

[23] **Regnard J, Dinh-Xuan A.T, Matran R.** Mechanisms of bronchial hyperreactivity. Bronchial edema, mechanical and vascular factors.Rev Mal Respir 1994;11(2):161-70.

[24] **Stocks J.M et al.** Human physiological responses to cold exposure.Aviat Space Environ Med 2004;75(5):444-57.

[25] **Johnson J.M et al.** Sympathetic, sensory, and nonneuronal contributions to the cutaneous vasoconstrictor response to local cooling.Am J Physiol Heart Circ Physiol 2005;288(4):H1573-9.

[26] **Sawasaki N, Iwase S, Mano T.** Effect of skin sympathetic response to local or systemic cold exposure on thermoregulatory functions in humans.Auton Neurosci 2001;87(2-3):274-81.

[27] **Yamazaki F et al.** Cardiac and peripheral vascular responses to head-up tilt during whole body thermal stress.J uoeh 2000;22(2):147-58.

[28] **Kerschan-Schindl K et al.** Cold and cryotherapy. A review of the literature on general principles and practical applications.Acta Med Austriaca 1998;25(3):73-8.

[29] **Scotto G et al.** Reduction of cutaneous blood flow in cold fingers.Boll Soc Ital Biol Sper 1998;74(3-4):35-41.

[30] **Frank S.M et al.** Adrenergic, respiratory, and cardiovascular effects of core cooling in humans.Am J Physiol 1997;272(2 Pt 2):R557-62.

[31] **Frank S.M et al.** Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans.J Appl Physiol (1985) 1999;86(5):1588-93.

[32] **O'Brien C et al.** Role of core temperature as a stimulus for cold acclimation during repeated immersion in 20 degrees C water.J Appl Physiol (1985) 2000;89(1):242-50.

[33] **Simon E.** The enigma of deep-body thermosensory specificity.Int J Biometeorol 2000;44(3):105-20.

[34] **Victor R.G et al.** Effects of the cold pressor test on muscle sympathetic nerve activity in humans.Hypertension 1987;9(5):429-36.

[35] **Mourot L et al.** Cardiovascular autonomic control during short-term thermoneutral and cool head-out immersion.Aviat Space Environ Med 2008;79(1):14-20.

[36] **LeBlanc J et al.** Autonomic nervous system and adaptation to cold in man.J Appl Physiol 1975;39(2):181-6.

[37] **Stemper B et al.** Evaluation of cold face test bradycardia by means of spectral analysis.Clin Auton Res 2002;12(2):78-83.

[38] **Daanen H.A.** Finger cold-induced vasodilation: a review.Eur J Appl Physiol 2003;89(5):411-26.

[39] **Regnard J, Beji M, Jallat-Daloz I.** Airway inflammation affects airway and distal circulatory control.Arch Physiol Biochem 2003;111(4):347-51.

[40] **Shephard R.J.** Adaptation to exercise in the cold.Sports Med 1985;2(1):59-71.

[41] **Cannon B, Nedergaard J.** Brown adipose tissue: function and physiological significance.Physiol Rev 2004;84(1):277-359.

[42] **Van Marken Lichtenbelt W.D, Daanen H.A.** Cold-induced metabolism.Curr Opin Clin Nutr Metab Care 2003;6(4):469-75.

[43] **Lowell B.B, Spiegelman B.M.** Towards a molecular understanding of adaptive thermogenesis.Nature 2000;404:652.

[44] **Jansky L.** Physiologic basis of human adaptation to cold.Cesk Fysiol 2003;52(3):107-17.

[45] **Hissa R.** Central control of body temperature.A review. Arctic Med Res 1990;49(1):3-15.

[46] **McArdle W.D et al.** Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women.J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 1984;56(6):1565-71.

[47] **Blix M.** Experimentelle Beiträge zur Lösung der Frage über die specifische Energie der Hautnerven.Z. Biol 1884;20:141-156.

[48] **Donaldson H.H.** On the Temperature-Sense.Mind 1885;10(39):399-416.

[49] **Hensel H.** Neural processes in thermoregulation.Physiol Rev 1973;53(4):948-1017.

[50] **Hensel H.** Thermoreception and temperature regulation.Monogr Physiol Soc 1981;38:1-321.

[51] **Campero M, Serra J, Ochoa J.L.** C-polymodal nociceptors activated by noxious low temperature in human skin.J Physiol 1996;497 (Pt 2):565-72.

[52] **Klement W, Arndt J.O.** The role of nociceptors of cutaneous veins in the mediation of cold pain in man.The Journal of Physiology 1992;449:73-83.

[53] **Ochoa J, Torebjörk E.** Sensations evoked by intraneural microstimulation of C nociceptor fibres in human skin nerves.The Journal of Physiology 1989;415:583-99.

[54] **Belmonte C, Brock J.A, Viana F.** Converting cold into pain.Exp Brain Res 2009;196(1):13-30.

[55] **Richard D, Orsal D.** Physiologie cellulaire et systèmes sensoriels.Neurophysiologie: Tome 1 2000.

[56] **Spray D.C.** Cutaneous temperature receptors.Annu Rev Physiol 1986;48:625-38.

[57] **Chery-Croze S.** Painful sensation induced by a thermal cutaneous stimulus.Pain 1983;17(2):109-37.

[58] **Schepers R.J, Ringkamp M.** Thermoreceptors and thermosensitive afferents.Neurosci Biobehav Rev 2009;33(3):205-12.

[59] **Harrison J.L, Davis K.D.** Cold-evoked pain varies with skin type and cooling rate: a psychophysical study in humans.Pain 1999;83(2):123-35.

[60] **Wilmore J.H et al.** Physiologie du sport et de l'exercice physique.De Boeck Université 1998.

[61] **Boulant J.A.** Role of the preoptic-anterior hypothalamus in thermoregulation and fever.Clin Infect Dis 2000;31 Suppl 5:S157-61.

[62] **Benarroch E.E.** Thermoregulation: recent concepts and remaining questions.Neurology 2007;69(12):1293-7.

[63] **Frank S.M et al.** Threshold for adrenomedullary activation and increased cardiac work during mild core hypothermia.Clin Sci (Lond) 2002;102(1):119-25.

[64] **Hermanussen M et al.** Acute and chronic effects of winter swimming on LH, FSH, prolactin, growth hormone, TSH, cortisol, serum glucose and insulin.Arctic Med Res 1995;54(1):45-51.

[65] **Pergola P.E et al.** Role of sympathetic nerves in the vascular effects of local temperature in human forearm skin.Am J Physiol 1993;265(3 Pt 2):H785-92.

[66] **Mourot L, Cluzeau C, Regnard J.** Hyperbaric gaseous cryotherapy: effects on skin temperature and systemic vasoconstriction.Arch Phys Med Rehabil 2007;88(10):1339-43.

[67] **Mourot L, Cluzeau C, Regnard J.** Physiological assessment of a gaseous cryotherapy device: thermal effects and changes in cardiovascular autonomic control.Ann Readapt Med Phys 2007;50(4):209-17.

[68] **Frank S.M et al.** Increased myocardial perfusion and sympathoadrenal activation during mild core hypothermia in awake humans.Clin Sci (Lond) 2003;104(5):503-8.

[69] **Mesure S, Catherin-Marcel B, Bertrand D.** La cryothérapie corps entier : littérature et perspectives de recherches.Kinésithérapie, la Revue 2014;14(152):56-60.

[70] **Algafly A.A, George K.P.** The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance.British Journal of Sports Medicine 2007;41(6):365-9.

[71] **Saeki Y.** Effect of local application of cold or heat for relief of pricking pain.Nursing & health sciences 2002;4:97-105.

[72] **Kunesch E, Schmidt R, Nordin M, Wallin U, Hagbarth K.E.** Peripheral neural correlates of cutaneous anaesthesia induced by skin cooling in man.Acta physiologica Scandinavica 1987;129:247-57.

[73] **Bugaj R.** The cooling, analgesic, and rewarming effects of ice massage on localized skin.Phys Ther 1975;55(1):11-9.

[74] **Mc M.J, Lewis M.M, Cocks S.** Effects of cooling with simulated ice on skin temperature and nerve conduction velocity.Aust J Physiother 1984;30(4):111-4.

[75] **Zachariassen K.E.** Hypothermia and cellular physiology.Arctic medical research 1991;50 Suppl 6:13-7.

[76] **Chesterton L.S, Foster N.E, Ross L.** Skin temperature response to cryotherapy.Arch Phys Med Rehabil 2002;83(4):543-9.

[77] **Hirvonen H.E, Mikkelsson M.K, Kautiainen H, Pohjolainen T.H, Leirisalo-Repo M.** Effectiveness of different cryotherapies on pain and disease activity in active rheumatoid arthritis. A randomised single blinded controlled trial.Clinical and experimental rheumatology 2006;24:295-301.

[78] **Manouilides C.** Evaluation des différentes modalités de la cryothérapie en physiothérapie vétérinaire canine 2013.

[79] **Demongeot C.** La cryothérapie en pathologie locomotrice équine 2006.

[80] http://www.isamms.com/cryotherapie.html# visité le 21/01/2018.

[81] **Dykstra J.H et al.** Comparisons of Cubed Ice, Crushed Ice, and Wetted Ice on Intramuscular and Surface Temperature Changes.Journal of Athletic Training 2009;44(2):136-141.

[82] **Barber F.A.** A comparison of crushed ice and continuous flow cold therapy.Am J Knee Surg 2000;13(2):97-101.

[83] **Braun K.P et al.** Whole-body cryotherapy in patients with inflammatory rheumatic disease. A prospective study.Med Klin (Munich) 2009;104(3):192-6.

[84] **Greenstein G.** Therapeutic efficacy of cold therapy after intraoral surgical procedures: a literature review.J Periodontol 2007;78(5):790-800.

[85] **Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P.** Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities.Arch Phys Med Rehabil 2005;86(7):1411-5.

[86] **Airaksinen O.V et al.** Efficacy of cold gel for soft tissue injuries: a prospective randomized double-blinded trial.Am J Sports Med 2003;31(5):680-4.

[87] **Akgun K et al.** Temperature changes in superficial and deep tissue layers with respect to time of cold gel pack application in dogs.Yonsei Med J 2004;45(4):711-8.

[88] **Thorsson O.** Cold therapy of athletic injuries. Current literature review.Lakartidningen, 2001;98(13):1512-3.

[89] **Uckert S, Joch W.** Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat.Br J Sports Med 2007,41(6):380-4.

[90] **Barlas D, Homan C.S, Thode H.C. Jr.** In vivo tissue temperature comparison of cryotherapy with and without external compression.Ann Emerg Med 1996;28(4):436-9.

[91] **Vertu N.** Comparaison d'efficacité entre la cryothérapie gazeuse hyperbare et la cryothérapie conventionnelle dans le traitement des entorses externes de la cheville 2012.

[92] **Janwantanakul P.** Cold pack/skin interface temperature during ice treatment with various levels of compression.Physiotherapy 2006;92(4):254-259.

[93] **Webb J.M et al.** The use of cold compression dressings after total knee replacement: a randomized controlled trial.Orthopedics 1998;21(1):59-61.

[94] http://gameready.fr/references.php?paginate=10#a visité le 21/01/2018.

[95] https://www.materielmedical.fr/I-Grande-27794-location-appareil-de-cryotherapie-compressive-powerplay.net.jpg visité le 21/01/2018.

[96] http://www.scmmaterielmedical17.fr/3686/systeme-de-cryo-powerplay.jpg visité le 21/01/2018.

[97] **Pastor E, Tomka I, Deak D.** The effect of local hypothermia on the electric activity of the brain. Use of a cooling device acting on the principle of the Peltier effect.Vopr Neirokhir 1965;29(6):30-4.

[98] **Pertovaara A, Kojo I.** Influence of the rate of temperature change on thermal thresholds in man.Exp Neurol 1985;87(3):439-45.

[99] **Davis K.D.** Cold-induced pain and prickle in the glabrous and hairy skin.Pain 1998;75(1):47-57.

[100] **Lecroart J, Deklunder G, Houdas Y.** Dynamiques de refroidissement sous cryothérapie par azote liquide vaporisé et par glace.Laboratoire de physiologie de la faculté de médecine de Lille, Rapport JETCOOL 1990.

[101] **Hollander J.L, Horvath S.M.** The Influence of Physical Therapy Procedures on the Intra-articular Temperature of Normal and Arthritic Subject.American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation 1951;30(3):171.

[102] **Kim Y.H. et al.** The effect of cold air application on intra-articular and skin temperatures in the knee.Yonsei Med J 2002;43(5):621-6.

[103] **Men'shikova I.V.** Combination of modern physiotherapeutic methods in rehabilitation of patients with osteoarthrosis and rheumatoid arthritis after arthroscopic surgery on the knee joint.Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult 2008;(4):15-7.

[104] **Oosterveld F.G et al.** The effect of local heat and cold therapy on the intraarticular and skin surface temperature of the knee.Arthritis Rheum 1992;35(2):146-51.

[105] **Pagliaro J et al.** Cold air analgesia in photodynamic therapy of basal cell carcinomas and Bowen's disease: an effective addition to treatment: a pilot study.Dermatol Surg 2004;30(1):63-6.

[106] http://www.parimed.gr/thumb/phpThumb.php?src=../images/products/1432210202_Gymna_MG_6572%20(Custom).png&w=970&h=728&far=C&bg=ffffff&fltr[]=wmt|parimed.gr|22|C|cccccc|arial.ttf|70|5|20 visité le 22/01/2018.

[107] **Lelievre F.** Etude comparative des propriétés cryogéniques de la compresse thermique fflexx, et intérêt de son utilisation dans le renforcement musculaire par la méthode isocinétique 2007.

[108] **V Aĭvazian A, Kiparisov L. N.** Local hypothermia and freezing in surgery of the kidney 1969;14:69-72.

[109] **France J.E et al.** Anaesthesia for arterial puncture in the emergency department: a randomized trial of subcutaneous lidocaine, ethyl chloride or nothing.Eur J Emerg Med 2008;15(4):218-20.

[110] **Munoz-Gray A.** Ethyl chloride for grafting the conscious patient.Br J Plast Surg 1969;22(2):183-4.

[111] **Sapir D.A.** Cutaneous application of ethyl chloride spray.Reg Anesth 1995;20(3):260.

[112] **Sarig A.** Simple, rapid, and painless method for taking split-thickness skin grafts using ethyl chloride spray.Plast Reconstr Surg 1989;84(3):541.

113] **Meeusen R, Lievens P.** The use of cryotherapy in sports injuries.Sports Med 1986;3(6):398-414.

114] **Travell J.** Rapid relief of acute stiff neck by ethyl chloride spray.J Am Med Womens Assoc 1949;4(3):89-95.

[115] **Travell J.** Ethyl chloride spray for painful muscle spasm.Arch Phys Med Rehabil 1952;33(5):291-8.

[116] http://www.kugener.com/images/anasthesie/abb907.jpg visité le 01/02/2018.

[117] http://image.11st.my/g2/5/6/0/4/7/0/26560470_B.jpg visité le 01/02/2018.

[118] **Baelen E et al.** Cryoanesthesia by freon spray for venepuncture in children.Ann Fr Anesth Reanim 1994;13(1):6-9.

[119] **Burch G.E.** A spray for pain.Am Heart J 1977;93(3):411.

[120] **De Morais C.A et al.** Evaluation of the temperature of different refrigerant sprays used as a pulpal test.Aust Endod J 2008;34(3):86-8.

[121] http://www.actipoche.fr/wp-content/uploads/2015/06/Actipoche-Spray-Froid-sur-Cheville.jpg visité le 01/02/2018.

[122] **Quesnot A.** La cryothérapie en rééducation.Kine Sci 2001;416:21-9.

[123] https://fr.rbth.com/sport/2015/03/24/nage_en_eau_glacee_la_russie_accueille_un_championnat_du_monde_de_lextr_33207 visité le 14/09/2017.

[124] **Dugue B, Leppanen E.** Adaptation related to cytokines in man: effects of regular swimming in ice-cold water.Clin Physiol 2000;20(2):114-21.

[125] **Herrera E, Sandoval M.C, Camargo D.M, Salvini T.F.** Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage, and cold water immersion.Physical therapy 2010;90:581-91.

[126] **Ascensao A, Leite M, Rebelo A.N, Magalhaes S, Magalhaes J.** Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a oneoff soccer match.Journal of sports sciences 2011;29:217-25.

[127] **Bastos F.N, Vanderlei L.C, Nakamura F.Y, Bertollo M, Godoy M.F, Hoshi R.A, Junior J.N, Pastre C.M.** Effects of cold water immersion and active recovery on post-exercise heart rate variability.International journal of sports medicine 2012;33:873-9.

[128] **Pournot H, Bieuzen F, Duffield R, Lepretre P.M, Cozzolino C, Hausswirth C.** Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise.European journal of applied physiology 2011;111:1287-95.

[129] https://spikeduppsychedup.com/2011/08/22/picture-of-the-day-usain-bolt-in-the-ice-bath/ visité le 01/02/2018.

[130] **Westerlund T, Oksa J, Smolander J, Mikkelson M.** Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (–110 °C).J Thermal Biol 2003;28(8):601-8.

[131] **Savic M, Fonda B, Sarabon N.** Actual temperatures during and thermal response after whole-body cryotherapy in cryo-cabin.J Thermal Biol 2013;38(4):186-91.

[132] **Bertrand D.** Mesure S. La cryothérapie corps entier : une nouvelle approche thérapeutique.Kinésithérapie, la Revue 2014;14(152):45-55.

[133] **Barbiche E.** Intérêt de la cryothérapie du corps entier dans la rééducation du sportif de haut niveau, en phase de renforcement à distance d'une ligamentoplastie du genou.Thèse de Médecine générale CERS Capbreton 2006:121.

[134] **Costello J.T, Culligan K, Selfe J, Donnelly A.E.** Muscle, Skin and Core Temperature after −110°C Cold Air and 8°C Water Treatment.PloS one 2012;7:e48190.

[135] **Zagrobelny Z.** Local and whole-body cryotherapy.Croatia: Elsevier Urban & Partner 2003.

[136] **Hausswirth C et al.** Parasympathetic Activity and Blood Catecholamine Responses Following a Single Partial-Body Cryostimulation and a Whole-Body Cryostimulation. PLOS ONE 2013;8(8):e72658.

[137] **Westerlund T, Smolander J, Uusitalo-Koskinen A, Mikkelsson M.** The blood pressure responses to an acute and long-termwhole-body cryotherapy (110 C) in men and women.Central Finland Health Care Distinct, clinical physiology and nuclear medicine. Kinkomaa, Finland 2004.

[138] **Lubkowska A, Dołęgowska B, Szyguła Z.** Whole-Body Cryostimulation - Potential Beneficial Treatment for Improving Antioxidant Capacity in Healthy Men - Significance of the Number of Sessions.PLOS ONE 2012;7(10):e46352.

[139] **Zimmer.** Consensus declaration on whole body cryotherapy.A consensus conference took place at the Second Austrian Symposium on WBCT on February 17-18 2006 at the Bad Voslau Health Resort (Kurzentrum Bad Voslau). State of Lower Austria, Austria: Bad Voslau 2006.

[140] **Banfi G, Melegati G, Barassi A, Dogliotti G, d'Eril GM, Dugué B et al.** Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes.J Thermal Biol 2009;34(2):55-9.

[141] **Lubkowska A, Szyguˇ ˇ la Z, Chlubek D, Banfi G.** Serum mediators of inflammation level: IL-1, IL-1, IL-6, IL-10, IL-12 and TNF during prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amount of sessions in healthy men.Scand J Clin Lab Invest 2011;71(5):419-25.

[142] **Lubkowska A, Szygula Z, Klimek A, Torii M.** Do sessions of cryostimulation have influence on white blood cells count, level of IL6 and the total oxidative and antioxidative status in healthy men.Eur J Appl Physiol 2009;109(1):67-72.

[143] **Guillot X, Tordi N, Mourot L, Demougeot C, Dugué B, Prati C et al.** La cryothérapie dans les rhumatismes inflammatoires : revue systématique de la littérature avec méta-analyse.26^{e} Congrès français de rhumatologie 2013.

[144] **Lange U, Uhlemann C, Müller-Ladner U.** Serial whole-body cryotherapy in the criostream for inflammatory rheumatic diseases. A pilot study.Med Klin (Munich) 2008;103(6):383-8.

[145] **Wichmann J, Fricke R.** Ganzk.orperk.altetherapie von 110 C bei ankylosierender spondylitis.Phys Rehab Kur Med 1997;7:210.

[146] **Stanek A, Sieroń A, Cieślar G, Matyszkiewicz B, Rozmus-Kuczia I.** The impact of whole-body cryotherapy on parameters of spinal mobility in patients with ankylosing spondylitis.Ortop Trau-matol Rehabil 2005;7(5):549-54.

[147] **Ma S.-Y et al.** Effects of Whole-Body Cryotherapy in the Management of Adhesive Capsulitis of the Shoulder.Archives of Physical Medicine and Rehabilitation;94(1):9-16.

[148] **Bettoni L, Bonomi FG, Zani V, Indelicato A, Lanteri P, Banfi G et al.** Effects of 15 consecutive cryotherapy sessions on the clinical output of fibromyalgic patients.Clin rheumatol 2013;32 (9):1337-45.

[149] **Savalli L et al.** Cryothérapie corps entier à -110 °C. Mesure des températures cutanées et centrale chez le sportif 2006;21:36-8.

[150] **Hausswirth C, Bieuzen F, Filliard JR, Barbiche E et al.** Effets d'expositions au froid en cryothérapie corps entier et chaud sur la récupération des paramètres hématologiques, inflammatoires et de stress oxydant chez des sportifs de bon niveau.INSEP– rapport de recherche no 09–022/juil 2011.

[151] **Pournot H et al.** Time-Course of Changes in Inflammatory Response after Whole-Body Cryotherapy Multi Exposures following Severe Exercise.PLOS ONE 2011;6(7):e22748.

[152] **Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Melegati G.** Whole-body cryotherapy in athletes.Sports Med 2010;40(6):509-17.

[153] **Miller E, Markiewicz L, 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):1645-5.

[154] **Miller E, Mrowicka M, Malinowska K, Mrowicki J, Saluk- Juszczak J, Kedziorad J.** The effects of whole-body cryotherapy on oxidative stress in multiple sclerosis patients.J Thermal Biol 2010;35(8):406-10.

[155] **Hausswirth C et al.** Réponses physiologiques liées à une immersion en eau froide et à une cryostimulation-cryothérapie en corps entier : effets sur la récupération après un exercice musculaire.Science & Sports 2010;25(3):121-31.

[156] **Rymaszewska J, Ramsey D, Chladznska-kiejna S.** Whole body cryotherapy as adjunct treatment of depressive and anxiety disorders.Arch Immunol Ther Exp 2008;56(1):63-8.

[157] **Samborski W, Stratz T, Sobieska M, Mennet P, Müller W, Schulte-Mönting J.** Intraindividual comparison of whole body cold therapy and warm treatment with hot packs in generalized tendomyopathy.Z Rheumatol 1992;51(1):25-30.

[158] **Galliera E, Dogliotti G, Melegati G, Corsi Romanelli MM, Cabitza P, Banfi G.** Bone remodelling biomarkers after whole body cryothe- rapy (WBC) in elite rugby players.Injury 2013;44(8):1117-21.

[159] **Adam J.** Impact de la cryothérapie corps entier sur la récupération musculaire chez le sportif.Kinésithérapie, la Revue 2014;14(152):61-5.

[160] **Ziemann E, Olek RA, Kujach S, Grzywacz T, Antosiewics J, Garsztka T et al.** Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professionel tennis players.J Athl Train 2012;47(6):644-72.

[161] **Fonda B, Sarabon N.** Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: a crossover study.Scand J Med Sci Sports 2013;23(5):270-8.

[162] **Hausswirth C, Louis J, Bieuzen F, Pournot H, Fournier J, Filliard JR et al.** Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly trained runners.PLoS One 2011;6(12):e27749.

[163] **Stanek A, Cieslar G, Rosmus-Kuczia I, Matyszkiewicz B, Romuk E, Skrzep-Poloczek B et al.** Influence of whole-body cryotherapy on blood morphology parameters in patients with ankylosing spondylitis and in healthy volunteers.Acta Bio-Optica Informatica Medica 2006;12(3):207-10.

[164] **Banfi G, Krajewska M, Melegati G, Patacchini M.** Effects of whole-body cryotherapy on haematological values in athletes.Br J Sports Med 2008;42:558-9.

[165] **Lombardi G, Lanteri P, Porcelli S, Mauri C, Colombini A, Grasso D et al.** Hematological profile and martial status in rugby players during whole body cryostmulation.PloS ONE 2013;8(2):e55803.

[166] **Banfi G, Melegati G, Barassi A, D'Eril GM.** Beneficial effects of the whole-body cryotherapy on sport haemolysis.Sports Med 2009;4(2):189-93.

[167] **Dybek T, Szyguˇ ˇ la R, Klimek A, Tumek S.** Impact of 10 sessions of whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity and on selected blood count parameters.Biol Sport 2012;29:39-43.

[168] **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):45-153.

[169] **Wozniak A, Wozniak B, Drewa G, Mila-Kierzenkowska C, Rakowski A.** The effect of whole-body cryostimulation on lysosomal enzyme activity in kayakers during training.Eur J Appl Physiol 2007;100(2):137-42.

[170] **Mila-Kierzenkowska C, Wozniak A, Boraczynski T, Boraczynski T, Jurecka A, Augustynska B et al.** The effect of whole-body cryotherapy on the activity of lysosomal enzymes in kayaker women after intense exercise.J Therm Biol 2011;36(1):29-33.

[171] **Wozniak A, Mila-Kierzenkowska C, Szpinda M, Chwalbinska- Moneta J, Augustynska B, Jurecka A.** Whole-body cryostimulation and oxydative stress in rowers: preliminary results.Arch Med Sci 2013;9(2):303-8.

[172] **Lubkowska A, Chudecka M, Klimek AT, Szygula Z, Fraczek B.** Acute effect of a single whole-body cryostimulation on prooxydant- antioxidant balance in blood of health, young men. J Thermal Biol 2008;33(8):464–7.

[173] **Lubkowska A, Dolegowska B, Szygula Z, Klimek AT.** The activity of selected enzymes in erythrocytes and levels of plasma antioxydants in response to single whole-body cryostimulation in humans.Scand J Clin Lab Invest 2009;69(3):387-94.

[174] **Woźniak A, Woźniak B, Drewa G, Mila-Kierzenkowska C, Rakowski A.** The effect of whole body cryostimulation on the prooxidant-antioxydant balance in blood of elite kayakers after training.Eur J Appl Physiol 2007;101:533-7.

[175] **Abaidia A.E et al.** Recovery From Exercise-Induced Muscle Damage: Cold-Water Immersion Versus Whole-Body Cryotherapy.Int J Sports Physiol Perform 2017;12(3):402-9.

[176] **Smolander J et al.** Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water.Physiol Behav 2004;82(4):691-5.

[177] **Dugue B, Smolander J, Westerlund T, Oksa J, Nieminen R, Moilanen E, Mikkelsson M.** Acute and long-term effects of winter swimming and whole-body cryotherapy on plasma antioxidative capacity in healthy women.Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation 2005;65:395-402.

[178] **Savalli L et al.** Cryothérapie corps entier à –110 °C. Mesure des températures cutanées et centrale chez le sportif 2006;21:36-8.

[179] **Westerlund T.** Thermal, circulatory, and neuromuscular responses to whole-body cryotherapy.Oulun yliopisto 2009.

[180] **Knight K.L.** Cryotherapy in Sport Injury Management.Human Kinetics 1995.

[181] **Bingham R.** The therapeutic effect of cold in bone and joint infection.I. Am J Orthop Surg 1968;10(6):158-65.

[182] **Atterhog J.H et al.** Cardiovascular and renal responses to acute cold exposure in water-loaded man.Scand J Clin Lab Invest 1975;35(4):311-7.

[183] **Marsh D, Sleivert G.** Effect of precooling on high intensity cycling performance.Br J Sports Med 1999;33(6):393-7.

[184] **Bergh U et al.** Plasma norepinephrine concentration during submaximal and maximal exercise at lowered skin and core temperatures.Acta Physiol Scand 1979;106(3):383-4.

[185] **Olschewski H, Bruck K.** Thermoregulatory, cardiovascular, and muscular factors related to exercise after precooling.J Appl Physiol (1985) 1988;64(2):803-11.

[186] **Oksa J, Rintamaki H, Rissanen S.** Muscle performance and electromyogram activity of the lower leg muscles with different levels of cold exposure.Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1997;75(6):484-90.

[187] **Oksa J et al.** Stretch- and H-reflexes of the lower leg during whole body cooling and local warming.Aviat Space Environ Med 2000;71(2):156-61.

[188] **Duffield R et al.** Effect of wearing an ice cooling jacket on repeat sprint performance in warm/humid conditions.Br J Sports Med 2003;37(2):164-9.

[189] **Booth J, Marino F, Ward J.J.** Improved running performance in hot humid conditions following whole body precooling.Med Sci Sports Exerc 1997;29(7):943-9.

[190] **Kay D., Taaffe D.R, Marino F.E.** Whole-body pre-cooling and heat storage during self-paced cycling performance in warm humid conditions.J Sports Sci 1999;17(12):937-44.

[191] **Gonzalez-Alonso J.** et al. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat.J Appl Physiol (1985) 1999;86(3):1032-9.

[192] **Cotter J.D et al.** Effect of pre-cooling, with and without thigh cooling, on strain and endurance exercise performance in the heat.Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol 2001;128(4):667-77.

[193] **Lee D.T, Haymes E.M.** Exercise duration and thermoregulatory responses after whole body precooling.J Appl Physiol (1985) 1995;79(6):1971-6.

[194] **Vander A.J, Vander, Sherman, Luciano.** Physiologie Humaine.Chenelière Éducation 2009.

[195] **Dulac S et al.** Metabolic and hormonal responses to long-distance swimming in cold water.Int J Sports Med 1987;8(5):352-6.

[196] **Gerra G et al.** Sex-related responses of beta-endorphin, ACTH, GH and PRL to cold exposure in humans.Acta Endocrinol (Copenh) 1992;126(1):24-8.

[197] **Okada Y et al.** Human growth hormone secretion in normal adult subjects during and after exposure to cold.J Clin Endocrinol Metab 1970;30(3):393-5.

[198] **Bauer M et al.** Neuroendocrine responses to cold stress in normal subjects and depressives.Psychoneuroendocrinology 1987;12(6):483-90.

[199] **O'Malley B.P et al.** Circulating catecholamine, thyrotrophin, thyroid hormone and prolactin responses of normal subjects to acute cold exposure.Clin Endocrinol (Oxf) 1984;21(3):285-91.

[200] **Tikuisis P et al.** Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water.J Appl Physiol (1985) 2000;89(4):1403-11.

[201] **Jansky L et al.** Immune system of cold-exposed and cold-adapted humans.Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1996;72(5-6):445-50.

[202] **Bandopadhyay P, Selvamurthy W.** Respiratory changes due to extreme cold in the Arctic environment.Int J Biometeorol 1993;37(1):32-5.

[203] **Smolander J et al.** Lung function after acute and repeated exposures to extremely cold air (-110 degrees C) during whole-body cryotherapy.Clin Physiol Funct Imaging 2006;26(4):232-4.

[204] **Hétet J.F et al.** Cryothérapie de rattrapage après radiothérapie prostatique : principes, indications, sélection des patients, résultats oncologiques et morbidité.Cancer/Radiothérapie 2014;18(7):701-8.

[205] **Lalloué F et al.** Cryothérapie pour les tumeurs rénales : le début d'expérience de notre centre.Progrès en Urologie 2016;26(5):310-8.

[206] **Cornelis F et al.** La cryothérapie percutanée sous guidage radiologique des tumeurs des parties molles : un traitement prometteur.Journal de Radiologie Diagnostique et Interventionnelle 2013;94(4):376-82.

[207] **Vallée J.-P.** Verrues cutanées: azote, acide salicylique, ou rien?Médecine 2011;7(1):10.

[208] https://www.cocooncenter.com/urgo-verrues-resistantes-mains-et-pieds-stylo/32061.html visité le 02/02/2018.

[209] https://www.santediscount.com/urgo-verrues-mains-et-pieds-flacon-de-38ml.html?utm_source=leguide&utm_medium=price.comparison&utm_campaign=leguide&comparateur=leguide_com visité le 02/02/2018.

[210] **Bieuzen F, Louis J, Hausswirth C.** Cryothérapie corps entier et exercice.Science & Sports 2015;30(2):113-8.

[211] **Merrick M.A, Jutte L.S, Smith M.E.** Cold Modalities With Different Thermodynamic Properties Produce Different Surface and Intramuscular Temperatures.Journal of Athletic Training 2003;38(1):28-33.

[212] **Ernst E, Fialka V.** Ice freezes pain? A review of the clinical effectiveness of analgesic cold therapy.J Pain Symptom Manage 1994;9(1):56-9.

[213] **Faponle A.F.** Management of pain after surgery--a short review.Niger J Med 2001;10(3):112-5.

[214] **French S.D et al.** A Cochrane review of superficial heat or cold for low back pain.Spine (Phila Pa 1976) 2006;31(9):998-1006.

[215] **Nadler S.F, Weingand K, Kruse R.J.** The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner.Pain Physician 2004;7(3):395-9.

[216] **Raptou A.D.** Cryotherapy: a brief review.South Med J 1968;61(6):625-7.

[217] **Denys E.H.** AAEM minimonograph #14: The influence of temperature in clinical neurophysiology.Muscle Nerve 1991;14(9):795-811.

[218] **Knight K.** The effects of hypothermia on inflammation and swelling 1976;11:7-10.

[219] **Proudfoot C.J et al.** Analgesia mediated by the TRPM8 cold receptor in chronic neuropathic pain.Curr Biol 2006;16(16):1591-605.

[220] **Gazmuri R.J, Gopalakrishnan P.** Hypothermia: cooling down inflammation.Crit Care Med 2003;31(12):2811-2.

[221] **Yenari M.A, Han H.S.** Influence of hypothermia on post-ischemic inflammation: role of nuclear factor kappa B (NFkappaB).Neurochem Int 2006;49(2):164-9.

[222] **Bleakley C, McDonough S, MacAuley D.** 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(1):251-61.

[223] **Hocutt J.E.Jr.** Cryotherapy.Am Fam Physician 1981;23(3):141-4.

[224] **Kellett J.** Acute soft tissue injuries--a review of the literature.Med Sci Sports Exerc 1986;18(5):489-500.

[225] **Ogilvie-Harris D.J, Gilbart M.** Treatment modalities for soft tissue injuries of the ankle: a critical review.Clin J Sport Med 1995;5(3):175-86.

[226] **Roques C.F.** Analgesic physical therapy. Present clinical data.Ann Readapt Med Phys 2003;46(9):565-77.

[227] **Schaser K.D et al.** Prolonged superficial local cryotherapy attenuates microcirculatory impairment, regional inflammation, and muscle necrosis after closed soft tissue injury in rats.Am J Sports Med 2007;35(1):93-102.

[228] **Schmidt K.L et al.** Heat, cold and inflammation.Z Rheumatol 1979;38(11-12):391-404.

[229] **Swenson C, Sward L, Karlsson J.** Cryotherapy in sports medicine.Scand J Med Sci Sports 1996;6(4):193-200.

[230] **Arjamaa O et al.** Blood pressure and endocrine responses of healthy subjects in cold pressor test after acutely increased dietary sodium intake.J Physiol Anthropol Appl Human Sci 2001;20(3):207-12.

[231] **Jacob G et al.** Dissociation between neural and vascular responses to sympathetic stimulation : contribution of local adrenergic receptor function.Hypertension 2000;35(1 Pt 1):76-81.

[232] **Lovallo W.** The cold pressor test and autonomic function: a review and integration.Psychophysiology 1975;12(3):268-82.

[233] **Cui J, Wilson T.E, Crandall C.G.** Baroreflex modulation of muscle sympathetic nerve activity during cold pressor test in humans.Am J Physiol Heart Circ Physiol 2002;282(5):H1717-23.

[234] **Pavlov V.A, Tracey K.J.** The cholinergic anti-inflammatory pathway.Brain, Behavior, and Immunity 2005;19(6):493-9.

[235] **Borovikova L.V et al.** Vagus nerve stimulation attenuates the systemic inflammatory response to endotoxin.Nature 2000;405(6785):458-62.

[236] **Hasko G, Szabo C.** Regulation of cytokine and chemokine production by transmitters and co-transmitters of the autonomic nervous system.Biochem Pharmacol 1998;56(9):1079-87.

[237] **Lewis T.** Observations upon the reactions of the vessels of the human skin to cold.Heart 1930;15:177-208.

[238] **Sendowski I et al.** Sympathetic stimulation induced by hand cooling alters cold-induced vasodilatation in humans.Eur J Appl Physiol 2000;81(4):303-9.

[239] **Takada R et al.** Case of paroxysmal cold hemoglobinuria.Nihon Naika Gakkai Zasshi 1992;81(2):252-3.

[240] **Trincao C.** Paroxysmal hemoglobinuria due to cold.An Inst Med Trop (Lisb) 1966;23(3-4):529-35.

[241] **Elton R.F.** Complications of cutaneous cryosurgery.J Am Acad Dermatol 1983;8(4):513-9.

[242] **Ciolek J.J.** Cryotherapy. Review of physiological effects and clinical application.Cleve Clin Q 1985;52(2):193-201.

[243] **Jonderko G et al.** Changes in the skin and oral temperature during local cryotherapy of rheumatoid arthritis with extremely cold air. Prevention of congelation.Przegl Lek 1988;45(5):426-8.

[244] **De Cree C.** Frostbite at the gym: it's not the ice but the temperature that matters!Br J Sports Med 1999;33(6):435-6.

[245] **Drez D, Faust D.C, Evans J.P.** Cryotherapy and nerve palsy.Am J Sports Med 1981;9(4):256-7.

[246] **Wilke B, Weiner R.D.** Postoperative cryotherapy: risks versus benefits of continuous-flow cryotherapy units.Clin Podiatr Med Surg 2003;20(2):307-22.

[247] **Legrand C.** Cryothérapie corps entier : coûts d'investissement, de fonctionnement et rentabilité.Kinésithérapie, la Revue 2014;14(152):69-75.

[248] https://lematin.ma/journal/2015/sante_une-premiere-dans-la-chirurgie-cardiaque-au-maroc/219649.html visité le 12/10/2017.

Serment de Galien

Je jure en présence des maîtres de cette faculté :

- *D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaisse en restant fidèle à leur renseignement.*
- *D'exercer ma profession avec conscience, dans l'intérêt de la santé publique, sans jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.*
- *D'être fidèle dans l'exercice de la pharmacie à la législation en vigueur, aux règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.*
- *De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession, de ne jamais consentir à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.*
- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses, que je sois méprisée de mes confrères si je manquais à mes engagements.*

جامعة محمد الخامس
كلية الطب والصيدلة
— الرباط —
قسم الصيدلي

بسم الله الرحمان الرحيم

أقسم بالله العظيم

- أن أراقب اللّه في مهنتي
- أن أبجل أساتذتي الذين تعلمت على أيديهم مبادئ مهنتي وأعترف لهم بالجميل وأبقى دوما وفيا لتعاليمهم.
- أن أزاول مهنتي بوازع من ضميري لما فيه صالح الصحة العمومية، وأن لا أقصر أبدا في مسؤوليتي وواجباتي تجاه المريض وكرامته الإنسانية.
- أن ألتزم أثناء ممارستي للصيدلة بالقوانين المعمول بها وبأدب السلوك والشرف، وكذا بالاستقامة والترفع.
- أن لا أفشي الأسرار التي قد تعهد إلى أو التي قد أطلع عليها أثناء القيام بمهامي، وأن لا أوافق على استعمال معلوماتي لإفساد الأخلاق أو تشجيع الأعمال الإجرامية.
- لأحظى بتقدير الناس إن أنا تقيدت بعهودي، أو أحتقر من طرف زملائي إن أنا لم أف بالتزاماتي.

"واللّه على ما أقول شهيد"

جامعة محمد الخامس – الرباط
كلية الطب والصيدلة بالرباط

سنـة : 2018 أطروحة رقم: 41

العلاج بالتبريد:

الآثار المضادة للعدوى والمشورة في الصيدلية

أطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم: .....

من طرف

السيد: محمد أشرف أزروكر

المزداد في: 01 يوليوز 1987 بالرباط

لنيل شهادة الدكتوراه في الصيدلة

الكلمات الأساسية: علاج بالتبريد – برد – صدمة حرارية – انتعاش رياضي – مضاد الالتهابات.

تحت إشراف اللجنة المكونة من الأساتذة

السيد: ميمون زوهدي أستاذ في علم الأحياء الدقيقة	رئيس
السيد: ياسين سخسوخ أستاذ في علم الأحياء الدقيقة	مشرف
السيدة: سكينة الحمزاوي أستاذة في علم الأحياء الدقيقة	أعضاء
السيدة: مريمة الشادلي أستاذة في علم الأحياء الدقيقة	