



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



**Institut de Formation en Masso–Kinésithérapie
Pour Déficiants de la Vue**

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie

Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'État en Masso-Kinésithérapie

Par

MELKAOUI Ouassima

Effets de l'activité physique sur la croissance osseuse en épaisseur chez des patientes adolescentes atteintes d'une brûlure thermique grave au niveau du segment jambier : conception d'un protocole d'essai contrôlé randomisé

Effects of physical activity on bone thickness growth in adolescent patients with severe thermal burns of the leg segment: design of a randomised controlled trial protocol

Directeur de mémoire

VIDAL Thomas

2023

Session 1

Membres du jury

PARMENTIER Hélène : Masseur-Kinésithérapeute

BENSAFI Mustafa : Universitaire, Maître de Conférence

VIDAL Thomas : Directeur de Mémoire



Université Claude Bernard



Lyon 1

Président

Frédéric FLEURY

Vice-président CA

REVEL Didier

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est

Directeur

Pr. RODE Gilles

U.F.R d'Odontologie

Directeur

Pr. JC MAURIN

U.F.R de Médecine Lyon-Sud Charles

Mérieux

Directrice

Pr BURILLON Carole

Institut des Sciences Pharmaceutiques et

Biologiques

Directeur

Pr DUSSART Claude

Département de Formation et

Centre de Recherche en Biologie

Humaine

Directeur

Pr SCHOTT Anne-Marie

Institut des Sciences et Techniques de

Réadaptation

Directeur

Dr Jacques LUAUTE

Comité de Coordination des

Etudes Médicales (CEM)

Pr COCHAT Pierre



Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie pour Déficients de la Vue

Directrice ESRP IFMKDV

Nathalie RIVAUX

Directrice Pédagogique IFMKDV

Isabelle ALLEGRE

Référents d'années

Sigolène LARIVIERE

Laurence EUVERTE

Chantal CHAFFRINGEON

Référent stages

Cédric CARRE ASK et Cycle 1

Chantal CHAFFRINGEON Cycle 2

Secrétariat Pédagogique

Patricia CONTINO

Manon TAM IM

CHARTRE ANTI-PLAGIAT DE LA DRDJSCS AUVERGNE-RHONE-ALPES

La Direction Régionale et Départementale de la Jeunesse, des Sports et de la Cohésion Sociale délivre sous l'autorité du préfet de région les diplômes paramédicaux et du travail social.

C'est dans le but de garantir la valeur des diplômes qu'elle délivre et la qualité des dispositifs de formation qu'elle évalue, que les directives suivantes sont formulées.

Elles concernent l'ensemble des candidats devant fournir un travail écrit dans le cadre de l'obtention d'un diplôme d'État, qu'il s'agisse de formation initiale ou de parcours VAE.

La présente charte définit les règles à respecter par tout candidat, dans l'ensemble des écrits servant de support aux épreuves de certification du diplôme préparé (mémoire, travail de fin d'études, livret2).

Il est rappelé que « le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou des idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité, par des guillemets appropriés et par une indication bibliographique convenable »⁸.

La contrefaçon (le plagiat est, en droit, une contrefaçon) est un **délit** au sens des articles L. 335-2 et L. 335-3 du code de la propriété intellectuelle.

Article 1 :

Le candidat au diplôme s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté ; et à faire figurer explicitement dans l'ensemble de ses travaux les références des sources de cet emprunt. Ce référencement doit permettre au lecteur et correcteur de vérifier l'exactitude des informations rapportées par consultation des sources utilisées.

Article 2 :

Le plagiaire s'expose à des procédures disciplinaires. De plus, en application du Code de l'éducation⁹ et du Code de la propriété intellectuelle¹⁰, il s'expose également à des poursuites et peines pénales.

Article 3 :

Tout candidat s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, cette charte dûment signée qui vaut engagement :

Je soussigné(e) OLASSIMA MELKAOU

atteste avoir pris connaissance de la charte anti-plagiat élaborée par la DRDJSCS Auvergne-Rhône-Alpes et de m'y être conformé(e)

Je certifie avoir rédigé personnellement le contenu du livret/mémoire fourni en vue de l'obtention du diplôme suivant : Diplôme d'Etat de masseur kinésithérapeute.

Fait à Lyon le 08/09/20 Signature



Zér 

⁸ Site Université de Nantes : <http://www.univ-nantes.fr/statuts-et-chartes-usagers/dossier-plagiat-784821.kjsp>

⁹ Article L331-3 : « les fraudes commises dans les examens et les concours publics qui ont pour objet l'acquisition d'un diplôme délivré par l'Etat sont réprimées dans les conditions fixées par la loi du 23 décembre 1901 réprimant les fraudes dans les examens et concours publics »

¹⁰ Article L122-4 du Code de la propriété intellectuelle

Remerciements :

À Monsieur Vidal Thomas,

Je tiens à vous exprimer ma gratitude pour avoir suivi attentivement la rédaction de ce travail d'initiation à la recherche. Votre écoute attentive, votre soutien, votre implication, ainsi que vos conseils, ont été précieux durant mes deux années de fin de cursus universitaire.

À Madame Parmentier Hélène et au Docteur Bensafi Mustafa,

Pour l'évaluation de ce manuscrit et leurs présences durant la soutenance de ce travail d'initiation à la recherche.

À Messieurs Jaudoin Denis, Chevrier Éric et Carré Cédric,

Je vous remercie pour votre disponibilité ainsi que pour vos enseignements qui ont été l'un des points de départ de ma réflexion.

À toute l'ensemble de l'IFMK-DV,

Je suis reconnaissante pour votre accompagnement et pour la transmission des connaissances dans le domaine de la Masso-Kinésithérapie.

À ma famille,

Je tiens à exprimer ma reconnaissance pour votre soutien, votre motivation et votre écoute durant mon cheminement. Une pensée particulière pour mes parents qui m'ont toujours encouragé dans mes projets, ainsi que pour mes frères et sœurs (Fatima, Sabah, Aziz, Mustapha, Younes, Hanane et Soukaina).

À mes amis,

Je vous remercie tous pour vos ondes positives. Une attention particulière pour Léa, Célia, Fantine et Maxime.

GLOSSAIRE

ANSM : Agence Nationale de la Sécurité du Médicament

AP : Activité Physique

CCM : Capacité Cutanée Maximale

CCF : Chaîne Cinétique Fermée

CCO : Chaîne Cinétique Ouverte

CMO : Contenu Minéral Osseux

CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

CONSORT : CONSolidated Standards of Reporting Trials

CPP : Comité de Protection des Personnes

DMO : Densité minérale osseuse

DXA : Dual-energy X-ray absorptiometry

FC max : Fréquence cardiaque maximale

GH : Growth Hormone, Hormone de Croissance

HAS : Haute Autorité de Santé

HR-pQCT : High-Resolution Peripheral Quantitative Computed Tomography

MKDE : Masseur-kinésithérapeute Diplômé d'Etat

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

RIPH : Recherche Impliquant des Personnes Humaines

RM : Repetition Maximale

TBSA : Total Body Surface Area. Surface totale brûlée

TMS : Trouble Musculo-Squelettique

Table des matières

Introduction : Situation d'appel.....	1
1. La brûlure, un traumatisme de la peau	2
1.1. La peau, un organe vivant.....	2
1.1.1. Définition	2
1.1.2. Histologie de la peau	2
1.1.3. Les rôles de la peau.....	4
1.2. Pathogenèse des brûlures	4
1.2.1. Épidémiologie.....	7
1.2.2. Les classifications de la brûlure.....	7
2. La cicatrisation cutanée.....	7
2.1. La cicatrisation spontanée.....	12
2.1.1. Les quatre phases de cicatrisation	12
2.1.2. Evolution d'une cicatrice normale.....	12
2.2. Les facteurs de cicatrisation	12
2.3. La cicatrisation pathologique.....	12
2.3.1. Les manifestations cicatricielles	12
2.3.2. L'évolution d'une cicatrice hypertrophique	12
3. La prise en soins des brûlures	15
3.1. Présentation succincte des traitements médicochirurgicaux : la cicatrisation dirigée et la pose de greffe.....	15
3.2. La prise en soins pendant le stade de rééducation	15
3.2.1. Les objectifs de rééducation	17
3.2.2. Les principes de rééducation.....	17
3.2.3. Les moyens de rééducation.....	17
3.3. Présentation des éléments pathologiques mis en cause dans la perturbation du système musculo-squelettique	17
3.3.1. La physiologie osseuse.....	20
3.3.2. L'homéostasie, le remaniement et la consolidation de l'os.....	20
3.3.3. Le mécanisme de l'ostéogenèse : Le pic de masse osseuse.....	21
3.3.4. La brûlure et le système musculo-squelettique.....	22
3.3.5. Anatomophysiologie tibiale	24
3.4. L'activité physique	25
3.4.1. Définition	26
3.4.2. Les effets de l'activité physique sur l'organisme.....	26
3.4.3. Une activité physique adaptée aux adolescents.....	27

3.4.4.	L'apport de l'activité physique sur les TMS liés à la brûlure	28
4.	Problématisation	29
5.	Matériels et Méthodes	31
5.1.	Plan de l'essai.....	32
5.1.1.	Description du type d'essai.....	32
5.1.2.	Modifications méthodologiques en cours d'étude.....	32
5.2.	Population	32
5.2.1.	Critères d'éligibilité.....	33
5.2.2.	Lieux de recueil des données.....	33
5.3.	Intervention	35
5.3.1.	Traitement conventionnel de la brûlure	35
5.3.2.	Activité physique	36
5.4.	Les objectifs et les critères de jugements	37
5.4.1.	Objectif principal et critère de jugement primaire.....	40
5.4.2.	Objectifs et critères de jugement secondaires	40
5.5.	Taille de l'échantillon	40
5.5.1.	Détermination de la taille de l'échantillon.....	41
5.6.	Randomisation.....	41
5.6.1.	Production de séquences	42
5.6.2.	Mise en œuvre	42
5.6.3.	Mise en aveugle	42
5.6.4.	Méthode statistique.....	42
5.7.	Cadre législatif de la RIPH	43
7.	Mise en place du protocole de recherche.....	43
7.1.	Flux de participants	44
7.2.	Risque de perte de suivi.....	44
7.3.	Données initiales	45
7.5.	Effectifs analysés.....	46
7.5.1.	Critères de jugement et estimations.....	46
7.6.	Résultats attendus.....	46
7.8.	Analyses accessoires.....	46
7.9.	Risques.....	46
7.10.	Aspect financier.....	47
8.	Discussions.....	48
8.1.	Les limites de l'étude, la validité interne	48
8.1.1.	Biais d'attrition.....	49
8.1.2.	Biais de performance.....	49

8.1.3. Biais de sélection	49
8.1.4. Biais de recrutement.....	49
8.1.5. Biais d'allocation	49
8.2. Généralisation, validité externe	50
8.3. Résultats attendus et interprétations.....	50
9. Conclusion et perspectives	50
Références bibliographiques	51

Table des tableaux

Tableau I : Données initiales des participantes.....	47
Tableau II : Critère de jugement principal.....	48
Tableau III : Critères de jugement secondaires.....	49

Table des figures

Figure 1 : Les exercices physiques adaptés au renforcement du segment jambier.....	40
Figure 2 : Diagramme de flux des participants (Gedda, 2015)	46

Résumé

Contexte : La brûlure est une pathologie traumatique des téguments, voire des tissus sous-jacents, causée par un agent thermique. Ce traumatisme nécessite une prise en soins particulière, notamment dans le contexte d'une brûlure grave. L'Homme n'a pas de réponse spécifique pour se défendre contre celle-ci. En effet, les réponses adaptatives vont causer des troubles de l'homéostasie du système musculo-squelettique. Chez les jeunes gravement brûlés, on remarque que la croissance du squelette est altérée. Or, l'activité physique est un facteur de croissance. Alors, la pratique d'une activité physique semble présenter un intérêt certain pour lutter contre ces problématiques. De plus, de manière prédictive, le sexe féminin est d'autant plus exposé aux troubles musculo-squelettiques.

Objectif : L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité de l'association des traitements conventionnels de la brûlure avec une activité physique adaptée sur la croissance osseuse en épaisseur, pendant la période péri-pubertaire.

Matériel et Méthode : Pour la réalisation de cet essai contrôlé randomisé, on souhaite recruter vingt-deux jeunes filles qui ont subi une brûlure unilatérale au second degré profond, traitée par une greffe, ou au troisième degré, sur le segment jambier. Elles seront réparties en deux groupes. Le groupe contrôle bénéficiera des traitements conventionnels de la brûlure et de séances d'hypnose (placebo). Le groupe expérimental bénéficiera des traitements conventionnels de la brûlure avec une activité physique adaptée. La croissance osseuse en épaisseur sera évaluée par l'intermédiaire du HR-pQCT.

Discussion et conclusion : Cette étude permettra d'évaluer la mise en place d'une activité physique adaptée comme traitement adjuvant des traitements conventionnels de la brûlure. Ceci a pour but de réduire les perturbations de la croissance osseuse en épaisseur causées par le traumatisme thermique.

Mots clés : Brûlure thermique, adolescentes, os, activité physique, HR-pQCT.

Abstract

Context: Burns are traumatic pathologies of the integuments, or even of the underlying tissues, caused by a thermal agent. This trauma requires special care, especially in the context of a severe burn. Humans do not have a specific response to defend themselves against it. Indeed, the adaptive responses will cause disorders of the homeostasis of the musculoskeletal system. In young people with severe burns, skeletal growth is impaired. Physical activity is a growth factor. So, physical activity seems to be of definite interest in combating these problems. Moreover, the female sex is predictively more exposed to musculoskeletal disorders.

Objective: The aim of this study was to evaluate the effectiveness of combining conventional burn treatments with adapted physical activity on bone growth in thickness during the peripubertal period.

Material and method: For this randomised controlled trial, we wish to recruit twenty-two girls who have suffered a unilateral deep second-degree burn, treated by a graft, or a third-degree burn on the leg segment. They will be divided into two groups. The control group will receive conventional burn treatments and hypnosis (placebo) sessions. The experimental group will receive conventional burn treatments with adapted physical activity. Bone growth in thickness will be assessed using the HR-pQCT.

Discussion and conclusion: This study will evaluate the implementation of adapted physical activity as an adjuvant treatment to conventional burn treatments. This aims to reduce the disturbance of bone growth in thickness caused by thermal trauma.

Key words: Thermal burn, adolescent girls, bone, physical activity, HR-pQCT.

Introduction : Situation d'appel

Tout a commencé lors d'un atelier de dissection de pièces anatomiques à l'université, en deuxième année de Masso-Kinésithérapie. J'ai pu observer les liens entre chaque structure du système musculo-squelettique. Cela a suscité ma curiosité. À la suite de cette expérience, j'ai effectué un stage auprès de patients brûlés. J'ai pu constater la présence de plusieurs déficiences musculo-squelettiques et de certains troubles de la croissance. En effet, la situation de ces jeunes patients contrastait avec l'évolution de patients non-brûlés de la même tranche d'âge que j'ai pu rencontrer en structure libérale. Ces constatations m'ont amené à me poser une première question : Est-ce que ces perturbations musculo-squelettiques résultent d'une atteinte tissulaire suite aux réactions physiopathologiques de la brûlure ?

Au fur et à mesure de mes recherches, j'ai pu me rendre compte du lien étroit existant entre la brûlure et la croissance osseuse. C'est pourquoi j'ai décidé de me centrer sur la problématique de la croissance osseuse chez cette patientèle. La croissance osseuse est un processus physiologique qui dépend de plusieurs facteurs. En effet, l'activité physique est l'un des vecteurs fondamentaux de la biochimie métabolique des os. De surcroît, cette discipline est le cœur même de la Masso-Kinésithérapie. Or, lors de mon stage auprès de patients brûlés, j'ai pu remarquer qu'ils étaient peu actifs et peu mobiles.

Ayant évolué auprès de patients adolescents gravement brûlés, j'ai alors procédé à des recherches plus approfondies sur l'adolescence. Cette période de la vie est un stade intermédiaire entre l'enfance et l'âge adulte. Elle est marquée par un ensemble de changements physiologiques et psychologiques. Les variations anatomiques sont la réponse au processus de croissance. La phase pubertaire s'illustre par un pic de croissance. Or, cette poussée de croissance implique singulièrement le système osseux dont le métabolisme dépend en partie de l'activité physique.

Lors de mes recherches à propos des perturbations osseuses liées aux brûlures graves, j'ai pu remarquer que les analyses étaient principalement réalisées sur le tibia. C'est pourquoi, ce travail s'orientera sur le segment jambier.

1. La brûlure, un traumatisme de la peau

La brûlure est une pathologie traumatique des téguments, voire des tissus sous-jacents, causée par un agent thermique. Ce traumatisme nécessite une prise en soins spécifique et coûteuse. (Duke et al., 2015)

1.1. La peau, un organe vivant

1.1.1. Définition

La peau est un organe qui tapisse la partie externe du corps humain et est considérée comme le plus lourd et le plus étendu de l'organisme. La peau a une superficie entre 1.2 et 2.2 m². Elle pèse environ 7% de la masse corporelle. (Marieb, 2009)

1.1.2. Histologie de la peau

La peau est constituée de trois couches, décrites de la superficie à la profondeur : l'épiderme, le derme, l'hypoderme et les annexes cutanées.

L'épiderme est la couche la plus superficielle et semi-perméable de la peau. Recouverte d'un film hydrolipidique, elle est constituée d'un épithélium pavimenteux stratifié, squameux et kératinisé. Cette couche cutanée est avasculaire, innervée mais privée de vaisseaux lymphatiques. Son épaisseur varie entre 0.05 et 1.5 mm. (Cholette, 1981)

L'épiderme est formé de cinq couches que l'on peut décrire, de la plus superficielle à la plus profonde :

- La couche cornée est formée de cellules cornéocytes et de kératine.
- La couche claire, qui correspond à une zone de transition entre la couche granuleuse et la couche cornée. Cette couche translucide est composée de strates de kératynocytes claires aplaties et mortes. Celle-ci est présente uniquement dans la peau épaisse.
- La couche granuleuse : cette couche est mince et c'est la plus foncée des couches. Elle contient des kératohyalines. Dans celle-ci, les kératinocytes deviennent des cornéocytes, c'est le processus de kératinisation. Un glycolipide imperméabilisant est sécrété dans l'espace extracellulaire pour limiter la déperdition d'eau dans les couches épidermiques.

- La couche épineuse ou de Malpighi, qui est responsable de la dureté, de la sensibilité et de la pigmentation de la peau. Elle est également un centre immunitaire cutané. Elle est composée de kératynocytes, de granules de mélanine et principalement de macrophagocytes intraépidermiques (les cellules de Langerhans).
- Et pour finir, la couche basale qui est aussi appelée germinative. Cette couche ondulée repose sur une lame basale où des fibres de réticuline sont ancrées. Elle permet la division et la différenciation des cellules. Elle est constituée de kératinocytes, de mélanocytes (10 à 20%) et de quelques cellules de Merkel.

L'épiderme se distingue en quatre types de cellules : les kératinocytes qui constituent 90% des cellules de l'épiderme, les mélanocytes, les cellules de Langerhans et les cellules de Merkel.

Sous l'épiderme, il existe une couche appelée le derme. Elle est dix fois, voire quarante fois, plus épaisse que l'épiderme. Cette épaisseur varie entre 0.6 et 3 mm. C'est un tissu conjonctif vascularisé, innervé et riche en vaisseaux lymphatiques. Il soutient l'épiderme et protège le réseau neuro-vasculaire.

Le derme est divisé en deux couches :

- Le derme papillaire, il s'agit du derme superficiel. Cette couche est riche en terminaisons nerveuses et en vaisseaux sanguins. La jonction dermo-épidermique sépare l'épiderme et le derme papillaire.
- Le derme réticulaire, il s'agit du derme moyen et profond. Il est dense et formé de fibres élastiques, ainsi que d'un tissu conjonctif dense et irrégulier.

Le derme est constitué de plusieurs types de cellules : les fibroblastes, les fibrocytes, les macrophagocytes, les mastocytes, les globules blancs, les endothéliocytes, les macromolécules (collagènes, élastine, fibronectine, réticuline) et les glycosaminoglycanes (acide hyaluronique). Cette couche est comparée à un collant qui enveloppe le corps. La majorité des follicules pileux, des glandes sébacées et des glandes sudoripares y résident.

Sous le derme, il y a une couche plus profonde appelée l'hypoderme. C'est un tissu conjonctif lâche et adipeux, blanc. Il est l'intermédiaire entre le derme et les aponévroses superficielles sous-jacentes. Ces aponévroses recouvrent les muscles ou le périoste. (Mélissopoulos & Levacher, 1998)

Indépendamment de ces trois couches précédemment décrites, la peau est composée d'autres structures annexes. Ces dernières sont les glandes sébacées, les glandes sudoripares, les poils et les ongles. (Cholette, 1981)

Les glandes sébacées sont annexées aux poils et elles se situent au niveau du derme. Elles produisent le sébum qui graisse et hydrate la peau. (Cholette, 1981)

Il existe deux types de glandes sudoripares : les apocrines et les eccrines. Les glandes apocrines sont localisées sur la peau des zones péri-anales, péri-mamellaires et axillaires. Elles ne s'activent qu'au moment de la puberté. Les glandes eccrines, ou autrement dit mérocrines, ont une répartition ubiquitaire dans le corps humain. Elles ont une fonction immunologique dans la thermorégulation et enfin, dans l'hydratation ainsi que dans la cicatrisation épidermique. (Cholette, 1981)

Le poil est formé d'une partie libre, nommée la tige, et d'une partie implantée, appelée la racine. Cette racine se situe au niveau de l'hypoderme ou du derme profond. (Mélissopoulos & Levacher, 1998)

Les ongles se situent dans toutes les faces dorsales de chaque doigt et de chaque orteil. Il s'agit d'une matrice kératinisée composée de deux parties : la zone visible appelée « le limbe » et la partie cachée sous le bourrelet unguéal nommée « la racine ». (Mélissopoulos & Levacher, 1998)

(ANNEXE 1 : Ultrastructure de la peau (Mélissopoulos & Levacher, 1998))

1.1.3. Les rôles de la peau

La peau comptabilise un grand nombre de rôles dans l'organisme. Il est nécessaire de les décrire car ils seront tous altérés en cas de brûlures, notamment celles que l'on qualifie comme étant graves.

Le premier rôle de la peau est d'être protecteur. La peau est l'organe le plus vulnérable de l'organisme, ce qui l'expose à des risques de perturbation homéostatique. C'est pour cette raison que ce revêtement est constitué de trois types de barrières protectrices : les barrières chimique, biologique et mécanique.

La barrière chimique est assurée par le tiers inférieur de la couche cornée. C'est une véritable barrière face aux facteurs exogènes (pollution, soleil, froid) et aux facteurs endogènes (la perte d'eau). Le film de liquide acide, la défensine humaine (antibiotique naturel) et la cathélicidine

synthétisées par les kératinocytes, permet de lutter contre l'invasion bactérienne. (Marieb, 2009) En parallèle, les mélanocytes synthétisent la mélanine qui pigmente la peau et protège les cellules viables des rayons ultra-violet. Cette sécrétion réduit donc le risque de cancer cutané. (Tortora, 2009)

La barrière biologique est permise grâce aux cellules immunitaires. Les macrophagocytes intraépidermiques, soit les cellules de Langerhans, détectent les antigènes cutanés. Après cela, ils les transportent vers les ganglions lymphatiques régionaux. Ils seront par la suite présentés aux lymphocytes T. Les cellules de Langerhans sont à l'origine d'antigènes et de cytokines pro-inflammatoires. Lorsque des virus ou des bactéries leur échappent, les macrophagocytes dermiques interviennent pour compléter la défense immunitaire. (Marieb, 2009)

D'une part, la peau doit sa qualification de barrière physique ou mécanique aux cellules kératinisées et à la continuité de la peau qui résistent à l'abrasion (Marieb, 2009). Les fibres de collagène et les fibroblastes produisent le collagène, l'élastine, le glycosaminoglycane et le protéoglycane. Le collagène et l'élastine résistent aux mouvements itératifs (frottement, traction, compression, chocs). (Tortora, 2009) Les fibres de collagène donnent de la force et de la résistance pour lutter contre les tensions et les tractions, tout en étant un soutien dermique. Les fibres d'élastine confèrent des propriétés élastiques et de flexibilité. D'autre part, l'hypoderme sert d'amortisseur entre le derme et les os. En ce sens, cette couche profonde cutanée est un protecteur mécanique. Cette ensemble confère à ce « cerveau étalé » des qualités mécaniques telles que l'élasticité, la souplesse, l'imperméabilité et la résistance. (Marieb, 2009).

Le deuxième rôle de la peau est sensoriel. La propriété sensitive permet à l'Homme d'interagir avec son environnement. Cette faculté s'explique par l'existence de plusieurs récepteurs sensoriels tels que les nocicepteurs, les mécanorécepteurs (les corpuscules de Meissner, de Pacini, de Merkel et de Golgi) et les thermorécepteurs. Ainsi, le système nerveux périphérique va transmettre des informations sensibles et motrices, afin qu'elles soient interprétées par le système nerveux central. (Cholette, 1981)

La peau a également un rôle métabolique par la sécrétion de la mélanine et la synthèse de la vitamine D via l'absorption des UV. Cette substance liposoluble joue un rôle dans le métabolisme du calcium et du phosphore dans le sang. L'épiderme est également à l'origine de la synthèse de protéines importantes pour l'organisme telle que la collagénase. Elle permet la régénération du collagène. Les graisses stockées dans les adipocytes peuvent être synthétisées en acides gras pour devenir une source énergétique. Par ailleurs, la couche

basale est au cœur de deux processus : la mélanogenèse et la régénérescence cutanée. (Marieb, 2009) La mélanogenèse est le mécanisme de synthétisation de la mélanine. La régénérescence cutanée désigne la cicatrisation cutanée.

La thermorégulation est également une fonction que l'on peut attribuer à la peau. Cette fonction confère à la peau la capacité de garder une température corporelle constante. La vasoconstriction des vaisseaux cutanés va lutter contre le froid tandis que la vasodilatation de ces mêmes vaisseaux aura une action contre la chaleur. Le mécanisme de vasodilatation des vaisseaux cutanés entraîne une sudation. Les glandes sudoripares eccrines sont à l'origine de cette production de sueur, c'est la thermorégulation par la transpiration. À noter que la peau est principalement constituée d'eau et de protéines, ces glandes vont donc permettre la régulation hydrique. L'hypoderme va également avoir un rôle majeur dans la thermorégulation car c'est un isolant thermique. (Marieb, 2009)

En ce qui concerne, la capacité d'absorption cutanée, il est rare que des substances puissent traverser la barrière de la peau. Cette exception est valable pour cinq éléments : les substances liposolubles (gaz carbonique, vitamine ADEK), les oléorésines, les solvants organiques, les sels de métaux lourds et les agents médicamenteux. (Cholette, 1981)

Le derme détient un réseau sanguin étendu qui représente environ 5% du volume sanguin total. Lorsque les organes ou les muscles ont besoin d'un apport sanguin, une constriction de ce réseau sanguin dermique est déclenchée par le système nerveux. L'apport sanguin dermique est redirigé vers la circulation sanguine systémique. Ceci permet de le mettre à disposition des autres systèmes de l'organisme. (Marieb, 2009)

La peau a aussi un rôle dans la reconnaissance. Les caractéristiques de la peau permettent de reconnaître un tiers. D'un regard anatomique, l'hypoderme sculpte la silhouette en fonction du sexe, de l'âge et de la nutrition (Marieb, 2009). D'un point de vue psychosocial, la peau va intervenir dans la reconnaissance, le relationnel et la communication. Le changement de certains paramètres de la surface cutanée, comme la texture, la couleur, l'odeur et l'aspect, peuvent avoir un effet sur l'estime de soi, la confiance en soi et sur l'image corporelle. Cet ensemble de paramètres est à prendre en compte en particulier lorsqu'il s'agit des zones fréquemment exposées. (Tortora, 2009)

Toutes ces caractéristiques et tous ces mécanismes du système tégumentaire seront dysfonctionnels suite à une brûlure.

1.2. Pathogenèse des brûlures

1.2.1. Épidémiologie

La brûlure est la cinquième cause de traumatisme chez les enfants. Les traumatismes thermiques sont majoritairement des accidents domestiques (65%). Selon une vision géographique, les pays avec des revenus faibles à moyens sont les plus concernés par ce type d'accident. Il faut également souligner que les brûlures provoquent environ 180 000 décès par an. (OMS, 2018)

À noter que la plupart des brûlures sont évitables grâce aux mesures de prévention accessibles dès l'enseignement secondaire. (Ravat et le groupe épidémiologie SFB. 2008). Les brûlures représentent un problème de santé publique car elles ont un impact économique et sanitaire. Cette atteinte cutanée a, d'une part, un coût direct supérieur à 10 millions d'euros. Ce coût concerne les soins et les séjours hospitaliers. D'autre part, les brûlures vont également avoir des coûts indirects liés aux conséquences socio-professionnelles, psychologiques et physiques. (OMS, 2018)

1.2.2. Les classifications de la brûlure

Il existe deux catégories de patients victimes de brûlures : les petits et les grands brûlés. Les grands brûlés ont un pronostic vital engagé alors que les petits brûlés ont un pronostic fonctionnel ou esthétique au premier plan. La gravité de la brûlure est définie selon quatre critères : l'étiologie, la localisation, la profondeur et l'étendue de la brûlure.

La brûlure est un traumatisme dû à une source de chaleur, des rayonnements, de la radioactivité, de l'électricité, des frictions ou des produits chimiques.

Les brûlures électriques sont généralement profondes. Le courant électrique est une source de chaleur variant selon la résistance des tissus. Il parcourt l'organisme selon un point d'entrée et de sortie. L'étendue de la brûlure est difficilement mesurable car elle est progressive. Les principaux risques de ces brûlures sont les atteintes cardio-vasculaire et la tétanisation musculaire.

Les brûlures chimiques sont peu fréquentes, peu étendues, évolutives et profondes. L'étiologie principale est l'accident industriel avec de l'acide fluorhydrique.

Les brûlures par irradiation sont les plus rares. Les agents radioactifs sont à l'origine de ce type de traumatisme.

Dans le cadre de ce mémoire de recherche, les brûlures thermiques présentées dans le paragraphe précédent seront au cœur du sujet étudié.

Les brûlures thermiques sont les plus fréquentes, en effet elles représentent 90% des brûlures. Les brûlures thermiques sont divisées en trois catégories : par contact, par des flammes et par rayonnement UV. Les brûlures par contact se font via un liquide ou un solide chaud. Les brûlures par flammes (48%) ont trois origines : explosion de gaz, explosion de vapeur d'essence ou par inflammation d'hydrocarbures. Le principal risque est l'inhalation de fumée qui entraîne une difficulté respiratoire. La personne brûlée décède de l'inhalation de la fumée plutôt que de la brûlure en elle-même.

Après la description du contexte étiologique de la brûlure, il faut situer les zones brûlées afin de définir un pronostic fonctionnel.

La diversité de la peau selon sa localisation peut entraîner certaines parties du corps à être plus vulnérables que d'autres. Ainsi certaines sont considérées comme étant des zones à risques en raison de leur sensibilité ou de leur exposition à des facteurs extérieurs. Les brûlures les plus graves sont celles qui concernent les zones les plus mobiles et les plus exposées. Dès lors, le pronostic fonctionnel et l'aspect psychosocial deviennent centraux car les rôles de la peau seront affectés. Chaque partie du corps renferme une fonction et/ou un organe qui lui est propre. De ce fait, selon la zone brûlée, les conséquences seront spécifiques.

Dans le cas des brûlures de la face et du cou, elles impliquent une atteinte des capacités respiratoires par l'occlusion des voies respiratoires supérieures due à l'œdème laryngo-pharyngé. La brûlure isolée de la face va compromettre la déglutition et la phonation.

À propos de la brûlure des extrémités du squelette appendiculaire, cela compromet le pronostic fonctionnel. Ces extrémités font référence aux articulations de la main et du pied. Du fait des différentes fonctions qu'elles assurent, ces zones corporelles vont présenter des déficiences qui vont engager le pronostic fonctionnel. On parlera ultérieurement de limitation d'activité et de restriction de participation. En effet, la main a un rôle de préhension et de communication. Le pied, quant à lui, permet un amortissement et une propulsion pour se mouvoir.

Dans l'éventualité d'une brûlure au niveau du périnée, notamment des organes génitaux externes, cela va limiter la miction.

La majorité des parties du corps peuvent être concernées par une brûlure profonde et/ou circulaire. Les deux situations sont dangereuses car la peau inextensible entoure la zone et comprime les structures sous-jacentes (réseau neuro-vasculaire, réseaux veineux et lymphatique, mais aussi les systèmes trachéal, abdominal et pulmonaire). (Echinard & Latarjet, 2010)

L'étendue de la surface corporelle brûlée est le troisième critère de classification de la brûlure. Pour l'évaluer, on va utiliser la règle des 9 de Wallace. Il s'agit d'une première estimation associant 9 % de la surface totale à chaque partie du corps pour une somme totale de 100 %. Cette méthode approximative s'utilise chez les adultes et les enfants. À noter que 1 % équivaut à la surface de la paume de la main du patient.

Chez les adultes, la répartition des pourcentages est la suivante :

- 9 % pour la tête et le cou
- 9 % pour chaque bras, y compris la main représentant 1 %
- 18 % pour la face avant du tronc
- 18 % pour la face arrière du tronc
- 18 % pour chaque jambe
- 1 % pour le périnée

Pour les enfants, la répartition des pourcentages est la suivante :

- 17 % pour la tête et le cou
- 9 % pour chaque bras
- 18 % pour la face avant du tronc
- 18 % pour la face arrière du tronc
- 14 % pour chaque jambe
- 1 % pour le périnée

Malgré sa facilité de mémorisation et d'utilisation, cette règle de 9 de Wallace manque de précision. La table de Berkow permet l'évaluation de la surface corporelle en fonction de l'âge

du patient. Chaque chiffre correspond au pourcentage représentant une face de chaque segment corporel. La règle de 9 de Wallace fait autorité en la matière et est la plus utilisée à ce jour. C'est pour cette raison, que les échelles de Lund et Browder ne seront pas décrites dans cet écrit. (Echinard & Latarjet, 2010)

Tout comme le contexte étiologique et la localisation du traumatisme, la description de la profondeur va apporter des éléments de précision sur la gravité de l'accident et ainsi elle va orienter plus spécifiquement la prise en soins.

L'évaluation de la profondeur se fait selon quatre degrés qui vont définir un pronostic. Dans les premiers temps de la brûlure, l'estimation n'est pas toujours précise.

La brûlure du premier degré concerne l'atteinte des couches superficielles de l'épiderme. Les deux premiers jours, on observe un érythème douloureux associé parfois au prurit. L'érythème est une rougeur superficielle que l'on peut imaginer par le « coup de soleil ». La cicatrisation dure environ entre quatre et cinq jours, par épidermisation. Le phénomène de desquamation est léger. La membrane basale et les autres couches cutanées sont intactes.

Les brûlures du second degré sont définies selon deux niveaux : superficiel et profond. Dans les deux cas, on observe une atteinte complète de l'épiderme et l'apparition d'une zone érythémateuse, douloureuse ainsi que des phlyctènes avec un sous-sol pâle et mal vascularisé. Une phlyctène est une zone où la peau est enflée, remplie de pus et d'autres éléments physiologiques aqueux. De plus, elle est peu sensible. Le second degré superficiel correspond à l'atteinte partielle de la membrane basale. (Echinard & Latarjet, 2010)

Le second degré profond se distingue par une atteinte de l'épiderme, de la jonction dermo-épidermique, de la membrane basale et du derme superficiel. Une partie des annexes et le derme profond restent intacts. La lésion est rouge, suintante, avec des zones blanchâtres. La couleur blanchâtre et une texture cartonnée sont caractéristiques d'une brûlure profonde. Cette texture est significative du niveau d'hydratation dermique. (Echinard & Latarjet, 2010)

Le troisième degré est marqué par la destruction totale de l'épiderme, du derme et du réseau vasculo-nerveux. Par conséquent, la lésion est indolore, insensible et sans saignements. L'aspect de la brûlure diffère d'une lésion à une autre. Les principales caractéristiques sont les suivantes ; cartonnée, cireuse, marbrée et blanchâtre voire noirâtre si l'épiderme est encore présent. Sur le plan tissulaire de ce type de brûlure, on distingue trois zones concentriques : une zone de coagulation centrale, une zone d'ischémie (en marge de la précédente) et une zone inflammatoire avec une hyperémie (accumulation de sang) en périphérie. (Echinard & Latarjet J, 2010)

Dans les cas les plus extrêmes, on va parler d'une carbonisation semblable à une escarre brune ou noire. L'intervention chirurgicale est primordiale, elle peut être la réalisation d'une prise de lambeau, jusqu'à l'amputation selon la gravité de l'atteinte. En effet, il existe cinq critères de gravités que l'on peut énumérer (Bourgeois & Losser, 2012) :

- Le pourcentage de la surface corporelle brûlée : Une brûlure impliquant plus de 20% de la surface corporelle est considérée comme grave. Dans le cas des enfants et des personnes en âge extrême, la sévérité de la brûlure est marquée par une surface corporelle brûlée à plus de 10%. (Vaittinada Ayar et al., 2019)
- La profondeur de la brûlure : Les brûlures sont dites graves à partir du 2^e degré intermédiaire car la cicatrisation spontanée va être impossible.
- Les âges extrêmes de la vie représentent un critère de gravité car les pronostics vital et fonctionnel sont mis en jeu.
- La localisation de la brûlure : la tête, le cou, les mains, les pieds et le périnée
- Les lésions traumatiques : respiratoire suite à l'inhalation de fumée, les brûlures circulaires, les atteintes musculaires, la carbonisation, les amputations...

La pathogenèse des brûlures met en évidence la gravité de ce traumatisme. L'ensemble des critères physiopathologiques décrits précédemment sont à l'origine d'une sur-stimulation des récepteurs nociceptifs. Cela va soumettre le patient à une expérience douloureuse dite spécifique aux brûlés.

La douleur du patient brûlé est unique. On distingue deux composantes qui sont la douleur continue et celle due aux soins locaux de la brûlure. La douleur est caractérisée par une intensité importante qui impose souvent le recours aux posologies morphiniques. Une variabilité intra et interindividuelle complique la standardisation des traitements. Enfin, la persistance de longue durée ne diminue qu'après la cicatrisation. La brûlure est responsable d'épisode hyperalgique, c'est-à-dire que le stimulus normalement non douloureux devient douloureux. La localisation de la brûlure va influencer les caractéristiques de l'hyperalgésie.

Il faut souligner que la douleur chez l'enfant brûlé est plus élevée par rapport à celles des adultes (Echinard & Latarjet, 2010). Selon les études de M. Berset et al. de 2016 et de K. Mejuto de 2014, l'hypnose est une branche de la sophrologie utilisée chez les grands brûlés. Elle permet de lutter contre une conséquence de l'inflammation, la douleur. L'inflammation

est un processus de cicatrisation. Alors, il est important de décrire ce mécanisme pour mieux comprendre la physiopathologie des brûlés.

2. La cicatrisation cutanée

Dans le cas de la prise en soins des patients brûlés, la cicatrisation spontanée est suffisante pour la régénérescence des peaux brûlées superficiellement. Cependant, dans le cas des brûlures les plus profondes, les réponses de l'organisme vont être adaptatives. Alors, plusieurs phénomènes vont se succéder pour permettre une régénérescence optimale. Or, la cicatrisation sera pathologique. En effet, les phénomènes qui interviennent lors de la cicatrisation pathologique apparaissent après l'intervention chirurgicale, puisque celle-ci est mise en place très rapidement après l'accident. (Marieb, 2009)

2.1. La cicatrisation spontanée

Elle se déroule selon quatre phases : la phase vasculaire, la phase inflammatoire, la phase d'épidermisation et la phase de maturation.

2.1.1. Les quatre phases de cicatrisation

(ANNEXE 2 : Les quatre phases de la cicatrisation spontanée (Marieb, 2009))

2.1.2. Evolution d'une cicatrice normale

(ANNEXE 3 : Evolution d'une cicatrice normale)

2.2. Les facteurs de cicatrisation

Ils existent des facteurs systémiques et locaux influençant la guérison des plaies. (ANNEXE 4 : Les facteurs de cicatrisation)

2.3. La cicatrisation pathologique

2.3.1. Les manifestations cicatricielles

Le siège de la cicatrisation pathologique se situe dans le derme. Cette couche conditionne la fonctionnalité de la peau et donc de l'enveloppe cicatricielle. (Jaudoin & Mathieu, 2002) Les séquelles par prolifération mésenchymateuse liées à la cicatrisation pathologique règnent au sein du tissu de granulation formé lors de la phase de bourgeonnement. L'intensité de ces séquelles vont dépendre de plusieurs facteurs : le contexte local, les contraintes régionales, le patrimoine génétique et les traitements effectués. (Echinard & Latajet, 2010)

On va évaluer le derme selon quatre caractéristiques qui sont : la couleur, la densité, la mobilité et la tension (les critères CDMT). Dans le but d'une analyse de l'évolution de la cicatrice pathologique, les quatre critères CDMT aident à la description des phénomènes présents durant la cicatrisation hypertrophique. On parle de l'apparition des phénomènes HARA (hypertrophie, adhérence, rétraction et attraction). (Jaudoin & Mathieu, 2002)

L'épaisseur ou la densité est due à une accumulation de fibres et de dépôts de collagènes superposés, c'est l'hypertrophie cicatricielle. Le collagène va se remanier jusqu'à devenir un collagène définitif, c'est-à-dire de type II. La perte de substance est compensée par ces couches successives. Cette prolifération de fibres est responsable d'une fibrose intra-dermique. L'hypertrophie est évaluée également selon la couleur (Jaudoin & Mathieu, 2002) et est fréquente dans les zones peu mobiles. Dans le cas des brûlures du membre inférieur, l'hypertrophie est localisée au niveau des cuisses, des creux poplités, des jambes et des pieds. (Echinard & Latajet, 2010)

La mobilité est la capacité de glissement sur les espaces sous-dermiques, comme les aponévroses et les fascias, grâce à l'enveloppe conjonctive. On peut trouver des adhérences entre la peau et cette enveloppe conjonctive, mais elles sont physiologiques. Les myofibroblastes responsables de l'hypertrophie vont également créer des fibroses sous-dermiques. On parle de points fixes pathologiques ou de zones d'encrages ou d'adhérences. On évalue l'adhérence par la densité du pli conjonctif. (Jaudoin & Mathieu, 2002)

La longueur du derme est le troisième critère d'évaluation. Dans le cas d'une brûlure, le tissu cicatriciel perd de la longueur, c'est le phénomène de rétraction. Elle siège au niveau intra-dermique. Ce sont les mêmes cellules qui sont mises en cause. En plus de combler l'absence de substance de manière pathologique, leur cytoplasme va être muni de cellules musculaires lisses. Cela va entraîner une rétraction et un rapprochement maximal des berges de la peau. Les myofibroblastes répondent à l'étirement de la peau par une contraction automatique. Par ailleurs, cette stratégie de rétraction est une manière de combler les espaces rapidement. (Jaudoin & Mathieu, 2002) Ces séquelles apparaissent au niveau des zones mobiles, c'est-à-dire fonctionnelles. Dans le cas des brûlures de la jambe, les rétractions sont souvent circulaires. Elles causent un œdème sous-jacent et une décalcification osseuse. (Echinard & Latajet, 2010)

La perte de la tension de la peau est liée à l'apparition des phénomènes précédents. Cette manifestation adaptative qui en résulte est appelée l'attraction. La rétraction locale va se propager sur les chaînes myo-faciales et va aller se propager à un niveau locorégional, voire global. L'attraction tire la peau vers elles. Ainsi, cela provoque des déformations osseuses et

morphologiques. Le handicap esthétique va s'ajouter au handicap fonctionnel. Les enfants sont plus sujets à ces déformations. (Jaudoin & Mathieu, 2002)

Les rétractions et l'attraction sont responsables de séquelles fonctionnelles. Leurs manifestations se caractérisent par la présence de :

- Brides, qui sont unidirectionnelles, au niveau des reliefs concaves des zones brûlées. Elles sont favorisées par les zones d'ancrages satellites et la mobilisation articulaire. Dans les cas de brûlures du membre inférieur, les brides sont majoritairement au niveau du creux poplité, du tendon d'Achille et des orteils. (Echinard & Latajet, 2010)
- Cordes ou palmures, qui sont des brides au niveau des commissures.
- Ficelles, qui sont des rétractions sur la surface cutanée saine, notamment entre deux zones brûlées.
- Placards, qui sont des rétractions multidirectionnelles.

Ces séquelles sont favorisées par la position courte, raccourcie par l'enveloppe cicatricielle contrainte à des tensions. Ces adaptations pathologiques de la peau vont être responsables de la perte de mobilité cutanée par rapport au plan sous-jacent, de l'hypo-extensibilité des tissus mous, de l'hypo-mobilité articulaire tendant vers une incapacité fonctionnelle et enfin de l'apparition de troubles posturaux. Néanmoins, une cartographie a été mise en place pour prévenir ces complications selon la zone brûlée. L'objectif de cette figure est de réduire les risques et d'adapter la prise en soins.

Dans l'étude que l'on va mettre en place, les cicatrices hypertrophiques seront un critère d'inclusion. Pour cela, il est indispensable de distinguer une cicatrice hypertrophique d'une chéloïde.

Les chéloïdes sont des cicatrices présentent dans 1 % des cas. Les personnes brunes ou de couleur noire sont plus sujettes aux chéloïdes. Les facteurs locaux (les infections), les facteurs héréditaires et les facteurs hormonaux sont des précurseurs de l'apparition d'une chéloïde. Elles sont luisantes et manifestent une hyperkératose. De ce fait, la peau va être très sèche, avec de la corne. La chéloïde est débordante et les berges sont abruptes, c'est-à-dire très épaisses. Cela va donner un aspect pseudo-tumoral. Ce type de cicatrice est hypertrophique mais moins douloureux, sans prurit et sans rétraction, puisqu'elles ne contiennent pas de myofibroblastes. À noter que l'évolution n'est pas favorable et que la compression n'a aucun effet. Les chéloïdes se situent principalement sur le visage, les oreilles, le torse et les épaules. Par ailleurs, elles sont la cause de plusieurs complications : inflammatoires, neurologiques

(paralysie périphérique, prurit, douleurs, polyneuropathies), métaboliques (hyper-catabolisme protidique), orthopédiques (arthrite, ostéoporose, destruction articulaire, atteinte ou rupture tendineuse, paraostéoarthropathie, fracture), endocriniennes, esthétiques et psycho-sociales.

2.3.2. L'évolution d'une cicatrice hypertrophique

Dans le cas d'une brûlure au second degré profond, l'épidémisation se fait en trois semaines, avec une cicatrice. On distingue quatre phases de cicatrisation : la phase pro-inflammatoire, la phase hyper-inflammatoire et enfin les phases de bourgeonnement et d'épidermisation qui seront simultanées. La cicatrisation primaire sera possible, mais elle n'exclue pas l'apparition de séquelles. La mise en place d'un traitement préventif est nécessaire afin de contrer une éventuelle cicatrisation pathologique. L'observance va permettre de définir si une intervention chirurgicale est essentielle. (Echinard & Latarjet, 2010)

Dans le contexte d'une brûlure au troisième degré, on observe que la phase de détersion va permettre l'élimination de la nécrose par rapport au tissu vif. La phase de bourgeonnement peut se faire en même temps que la première. Un tissu de granulation rouge, hémorragique et inflammatoire va apparaître pour devenir un tissu proche du derme normal. Cette apparition est due à la présence et au développement des fibroblastes dermiques et hypodermiques. L'épidermisation n'est pas possible, la cicatrisation est donc pathologique. Cela va laisser place au phénomène de rapprochement des berges. L'intervention chirurgicale est obligatoire. On va procéder à une pose de greffe. (Echinard & Latarjet, 2010)

Au cours d'une cicatrisation pathologique, plus particulièrement hypertrophique, on différencie trois stades. La première période atteint son pic vers le 6^e mois post-brûlure. Les phénomènes inflammatoires apparaissent durant cette phase d'évolution. Puis, une phase d'involution débute et les manifestations cicatricielles régressent. Entre le 18^e et 24^e mois après le traumatisme, la cicatrice n'évolue plus, c'est la phase de plateau ou de stabilisation. On note que la rééducation limite le temps d'évolution d'environ 6 mois et réduit le temps d'involution. (Jaudoin & Mathieu, 2002)

3. La prise en soins des brûlures

3.1. Présentation succincte des traitements médicochirurgicaux : la cicatrisation dirigée et la pose de greffe

La cicatrisation dirigée est une méthode chirurgicale qui favorise la cicatrisation spontanée. Elle traite une plaie ou des pertes de substances superficielles que l'on ne peut pas suturer. (Chopin, 2019) Les conditions à respecter sont : la présence sous-sol correctement

vascularisée et l'absence d'exposition d'un organe noble. Cette technique est utilisée à titre exclusif ou indicatif d'une greffe ou à un lambeau. (Revol, 2009) Le traitement est réellement une mise en place de pansements répétée, avec ou sans anesthésie. L'obtention d'un bourgeon de granulation va permettre une repousse cutanée à partir des berges. Deux phases sont différenciées dans la cicatrisation dirigée : la détersion et le bourgeonnement. La détersion fait appel à des processus chimiques, mécaniques et à un acte chirurgical. Le bourgeonnement va permettre un contrôle du bourgeon par des pansements pro-inflammatoire et anti-inflammatoire. Les pansements vont alors diriger la cicatrisation spontanée. (Roure, 2003)

Cette thérapie est mise en place par les chirurgiens en collaboration avec les infirmiers. Ces professionnels de santé vont utiliser divers dispositifs médicaux, en particulier des pansements pour répondre à l'objectif de la cicatrisation dirigée. On peut citer quatre moyens mis en place (Chopin, 2019) :

- Les corps gras ou les crèmes hydratantes
- Les produits activant la détersion (par exemple les hydrogels ou le miel)
- Les topiques anti-infectieux
- Les substituts cutanés temporaires : allogreffe, allogreffe humaine transformée et xénogreffe
- Le derme artificiel : INTEGRA® et MATRIDERM®

La prise en soins chirurgicale est rapidement mise en place. Elle permet l'élimination du tissu cutané nécrosé via l'excision, la décharge ou la décompression par l'incision de décharge, le recouvrement cutané pour prévenir les risques infectieux ou métaboliques, notamment la perte de liquide biologique par les greffes. En effet, on distingue les greffes selon le site donneur et selon leur épaisseur.

Les greffes de peau pleines sont réservées aux zones esthétiques (mains, visages), tandis que les greffes expansées permettent de couvrir de plus grandes surfaces. Les greffes sont différenciées selon leur type et leur épaisseur.

Il existe trois types d'autogreffe classifiés selon leur épaisseur. Les greffes de peau minces, épidermiques ou dermo-épidermiques, mesurent entre 0,15 et 0,20 millimètres. Les greffes de peau totales correspondent au prélèvement de l'épiderme et du derme. Elles mesurent environ

0.8 millimètres. (B. Sommier et P. Pélissier. 2012) Cependant, la greffe de peau mince est la plus utilisée car les résultats sont meilleurs et sont viables à long-terme. (Echinard & Latarjet, 2010)

3.2. La prise en soins pendant le stade de rééducation

La prise en soins des brûlures se fait en équipe pluridisciplinaire. Cette coopération s'instaure entre les infirmiers, les orthopédistes, les ergothérapeutes, les couturiers, les médecins et les masseurs-kinésithérapeutes. Les traitements de rééducation sont curatifs. Ils sont appliqués dès la phase inflammatoire pour lutter contre les complications cicatricielles. (Echinard & Latarjet, 2010)

3.2.1. Les objectifs de rééducation

L'objectif principal de rééducation est de freiner la prolifération cellulaire dans le but de réduire la phase inflammatoire.

Ainsi, la suppression de la douleur, la prévention des TMS (enraidissement, rétraction et fonte musculaire), la prévention des complications, le drainage de l'œdème et le maintien des fonctions doivent être traités en parallèle.

En effet, les problématiques antérieurement citées sont les conséquences de la phase inflammatoire.

3.2.2. Les principes de rééducation

Les principes de rééducation sont les suivants :

- Rester infra-douloureux
- Respecter le blanchiment cutané qui indique la capacité cutanée maximale (CCM)
- Proscrire les mouvements itératifs, répétitifs et rapides
- Des massages précoces ou des mises en tension brutales

3.2.3. Les moyens de rééducation

Pour répondre au traitement de la brûlure, plusieurs moyens de rééducation sont utilisés en Masso-Kinésithérapie. Il s'agit des drainages cicatriciels, des positions manuelles, des mobilisations et des massages (Echinard & Latarjet, 2010). L'efficacité de ces traitements montre une baisse de la phase d'évolution pathologique de 6 mois. (Jaudoin & Mathieu, 2002)

Concernant les techniques de drainage cicatricielle, elles visent la restauration de l'architecture cicatricielle et soutiennent l'effet anti-inflammatoire de l'immobilisation. À noter que les réseaux veineux et lymphatiques sont atteints en particulier dans les cas de brûlure circulaire.

Le drainage lymphatique est pratiqué environ les quatre premiers mois de la prise en soins après l'accident. Cette technique contrôle les processus cicatriciels et l'inflammation.

Le drainage veineux est un massage habituel graduel complété par une reprise de l'activité musculaire efficace en isométrique. Les activités doivent être effectuées avec des contentions vasculaires.

La cure déclive est le placement de la cicatrice au-dessus du cœur. Elle améliore et accélère la cicatrisation en particulier pour les brûlures du membre inférieur. En terme de temporalité, elle est prolongée au début de la prise en soins, puis elle se divise par tranche d'une heure pendant 4 mois.

Le deuxième moyen de rééducation utilisé est la position manuelle. Il s'agit de postures de 20 à 30 minutes. On les décrit par une traction soutenue sur une bride. L'intérêt est l'ischémie des tissus entraînant une hypoxie soit une réduction des myofibroblastes, du collagène et donc des brides.

Chez les patients brûlés, on utilise trois types de mobilisation : passive, active aidée et active.

La mobilisation passive est une technique manuelle sans la participation du patient qui permet d'apprécier la mobilité articulaire dans toute son amplitude disponible afin de lutter contre l'enraidissement articulaire et les adhérences tendineuses.

Les mobilisations conjonctives sont décrites selon l'acronyme « GAF ». Cela désigne les techniques de glissements, d'allongements et de fractionnements. (Jaudoin & Mathieu, 2002)

À propos des mobilisations actives aidées ou actives, elles se définissent comme une technique manuelle avec la participation du patient, soutenu ou non par un thérapeute. Elles s'effectuent dans toute l'amplitude articulaire disponible. Ces manœuvres préservent les coulisses tendineuses, la liberté articulaire et préviennent l'apparition d'un syndrome régional complexe douloureux ou d'un phénomène de déminéralisation. Chez les brûlés, la recherche de la position maximale est possible. Le travail en placé-tenu constitue une progression de ces techniques. Dès lors que la cicatrice n'est pas mise en tension, le travail contre résistance est envisageable pour lutter contre la fonte musculaire, l'inactivité, l'hyper-catabolisme d'azote et enfin, faciliter la réhabilitation à l'effort.

Les massages constituent une thérapie majeure pour les patients brûlés. Le massage graduel divergent mobilise les plans dermo-épidermiques. Ses principaux effets sont la répartition des tensions et l'adaptation aux sollicitations. Le massage de René Maurice permet une sollicitation active bi-manuelle avec des étirements. Le massage profond ou le palper rouler se fait uniquement sur les anciennes cicatrices, malgré son utilisation en tant qu'outils diagnostiques. Le massage sous l'eau est difficile à mettre en place. Il est bénéfique pour les petits patients. L'objectif commun de ces techniques de massage est l'hypoxie tissulaire.

Les traitements annexés sont complémentaires à la Masso-Kinésithérapie.

Les douches filiformes vont maîtriser les prurits, l'inflammation, la douleur et l'œdème. Ces jets d'eau fins auront également un rôle vasomoteur et d'assouplissement des brides. Cette thérapie thermique peut être généralisée ou localisée. La pression des jets dépend des patients et de leurs tableaux cliniques.

La pressothérapie est indispensable au traitement des brûlures. Les outils utilisés sont des traitements appelés « de type élastique ». On distingue l'utilisation de vêtements en jersey préfabriqués, de vêtements compressifs ainsi que de vêtements provisoires pour les adjonctions ou pour la superposition des vêtements. Les vêtements compressifs vont lutter contre l'hypertrophie et l'inflammation selon trois principes : vasculaire, mécanique et structurel. Ils sont portés tout le temps, sauf pendant la toilette. Chez les jeunes patients, cette technique de pression perpendiculaire par le vêtement engendre des troubles de croissance. (Jaudoin & Mathieu, 2002) Les adjonctions vont augmenter la pression sur une zone locale. Le choix du matériel dépend de l'étendue et de la localisation de la zone. Pour se faire, on exploite les mousses à densité variable, le silicone en plaque ou moulé et pour finir les plaques souples ou rigides.

Dans le cadre de ce mémoire de recherche, on s'intéresse aux brûlures du membre inférieur. Les traitements décrits précédemment s'appliquent également à cette zone corporelle. Néanmoins, les patients concernés par ce type de brûlure auront une orthèse de maintien supplémentaire. Le genou sera placé en extension et la cheville sera en position neutre. Cet adjuvant thérapeutique prévient les rétractions cicatricielles et maintient la compression après les postures. Malgré une prise en soins spécifique et à temps, des troubles apparaissent à la suite de la brûlure.

3.3. Présentation des éléments pathologiques mis en cause dans la perturbation du système musculo-squelettique

3.3.1. La physiologie osseuse

L'os est formé de tissu osseux mais aussi de tissu nerveux et cartilagineux, particulièrement au niveau du cartilage articulaire. Les cavités de l'os sont tapissées de tissu conjonctif. Les parois de ses vaisseaux sanguins sont composées de tissu musculaire et épithélial.

L'os a une fonction de soutien au vu de sa structure rigide. Il sert de support et d'encrage aux organes mous. Deuxièmement, il protège le système nerveux centrale et les viscères. C'est l'exemple de la colonne vertébrale, le crâne et la cage thoracique. Troisièmement, les os sont les acteurs du mouvement puisque les muscles squelettiques sont solidarisés aux os par l'intermédiaire des tendons. Les tendons servent de leviers par rapport aux os pour permettre la mobilité. D'autre part, les os sont décrits comme des « réservoirs » de minéraux tels que le calcium et le phosphore sous forme de phosphate. Ces minéraux sont transformés en ions puis répartis dans l'organisme en cas de besoin via la circulation sanguine. Pour finir, l'hématopoïèse, qui est le processus de formation des cellules sanguines, se déroule au niveau de la moelle rouge. Chez les nouveau-nés, la moelle rouge occupe le canal médullaire, la diaphyse et toutes les cavités des os spongieux. Chez les adultes, la plupart des os longs ont un canal médullaire rempli de moelle jaune qui empiète sur l'épiphyse. Il y a peu de moelle rouge dans les cavités de l'os spongieux. La production des cellules sanguines se fait donc principalement au niveau du sternum, des os iliaques et des têtes fémorales. (Marieb, 2009)

D'un point de vue physiologique, on décrit le système osseux au niveau macroscopique puis au niveau microscopique.

Au niveau macroscopique, l'os est délimité en externe par un relief. Ce relief osseux sert d'attache aux muscles, aux tendons et aux ligaments ou encore de passage pour le paquet vasculo-nerveux. Il détient également des surfaces articulaires. Il existe quatre types d'os : les os longs, les os courts, les plats et les os irréguliers.

À l'échelle microscopique, on peut décrire la présence de deux types d'os, l'os compact et l'os spongieux. L'os compact ou lamellaire représente 80 % de la masse totale des os chez l'Homme. C'est la partie externe et périphérique de l'os. Grâce à l'observation microscopique, il est possible d'observer la présence de neurofibres, de vaisseaux sanguins et lymphatiques. L'unité structurelle de l'os est appelée ostéon. Il paraît dense, résistant et solide grâce à l'organisation des fibres de collagène, des lamelles de l'ostéon et celles des minuscules sels de l'os. L'os compact est composé d'ostéocytes et d'une matrice osseuse. Les ostéocytes

permettent la synthèse du tissu osseux alors que la matrice osseuse donne à l'os son aspect dense. L'os spongieux ou trabéculaire est situé à l'intérieur de l'os compact. Il est formé de travées lâches et irrégulières. Il résiste aux contraintes subies par l'os.

La matrice osseuse est composée d'une partie organique, dite le matériau ostéoïde, et de cellules (les ostéoblastes, les ostéocytes et les ostéoclastes). Le matériau ostéoïde est composé de protéines fibreuses (80 % de fibres de collagène), de protéines globulaires (ostéonectines et ostéocalcines) qui participent à la minéralisation et une substance fondamentale (avec des protéoglycanes et de glycoprotéines). Toutes ces substances organiques sont sécrétées par les ostéoblastes. On compte 65 % de la matrice osseuse qui est composée de constituants inorganiques comme les hydroxyapatites et des sels minéraux composés de phosphate de calcium. L'os contient également du magnésium, du sodium, du potassium et certains polluants (métaux lourds ou radioactifs).

Le collagène détermine la structure de l'os et lui confère ses caractéristiques, telles que la flexibilité et la résistance aux contraintes mécaniques. L'os doit sa rigidité et sa dureté aux sels minéraux qui le compose. (Marieb, 2009)

3.3.2. L'homéostasie, le remaniement et la consolidation de l'os

On observe 5 à 7 % de la masse osseuse qui est recyclée chaque semaine. L'os spongieux est remplacé tous les 3 à 4 mois, tandis que l'os compact est renouvelé tous les 10 ans.

Le remaniement osseux se produit selon deux processus. Ce mécanisme prend place au niveau de l'endoste et du périoste. C'est le dépôt et la résorption de la matière osseuse. Chez les jeunes adultes, le processus de remaniement n'est pas uniforme. Les dépôts osseux se situent dans la zone lésée où les zones osseuses doivent être résistantes.

Le remaniement se fait via le processus hormonal. La rétro-inhibition maintient l'homéostasie du calcium dans le sang. Le calcium permet la transmission des influx nerveux, la contraction musculaire, la coagulation sanguine, la division cellulaire, la sécrétion par les cellules des glandes et par les neurones. La parathormone est sécrétée par les glandes parathyroïdes. Elle va se libérer en cas de diminution du calcium dans le sang et stimuler la résorption osseuse. La calcitonine sécrétée par les glandes thyroïdes est libérée en cas d'augmentation de calcium dans le sang.

Le remaniement osseux se fait via des sollicitations mécaniques. Les réactions mécaniques et gravitationnelles, comme la traction, sont des vecteurs de croissance et de remaniement. C'est la loi de WOLFF.

3.3.3. Le mécanisme de l'ostéogenèse : Le pic de masse osseuse

L'ostéogenèse est la formation de tissu osseux, alors la croissance osseuse en fait partie. Ce processus dépend de six facteurs.

Le facteur hormonal va agir sur la croissance lors de l'enfance et l'adolescence. Les hormones thyroïdiennes, qui modulent l'activité des hormones de croissance sécrétées par l'adénohypophyse, vont maintenir des proportions squelettiques normales pendant la croissance. Les hormones sexuelles, appelées l'œstrogène et la testostérone, vont être à l'origine d'une poussée de croissance significative. Ces substances biologiques féminisent ou masculinisent certaines structures du squelette. Elles marquent la fin de la croissance osseuse en longueur lors de la suture du cartilage épiphysaire. D'autre part, le patrimoine génétique détermine dans quelle mesure la densité osseuse vieillira au cours de la vie. De même que le facteur hormonal et le facteur génétique, le sexe de l'individu est également un facteur prédictif de la croissance. Et enfin, la nutrition, la pratique d'une activité physique et les facteurs environnementaux agissent plus particulièrement sur le contenu minéral osseux (CMO).

Bien que ces facteurs influent sur la cinétique de la croissance osseuse, l'enchaînement de ces étapes restent globalement identiques chez des sujets sains.

(ANNEXE 5 : La croissance durant la phase embryonnaire à la naissance (Marieb, 2009))

Chez les enfants et les adolescents, les os longs s'allongent sous l'effet de la croissance interstitielle des cartilages épiphysaires. Tous les os s'épaississent selon un processus de croissance dit « par apposition ». Ce processus se réalise sous l'effet de l'activité du périoste. La plupart des os cessent de croître durant l'adolescence. On distingue deux modes de croissance des os longs : la croissance en longueur et la croissance en épaisseur.

La croissance en longueur se produit selon plusieurs événements. Ces derniers se passent lors de l'ossification endochondrale. La structure du cartilage épiphysaire, accolée à la diaphyse, permet une croissance rapide et efficace. Les chondrocytes sont des cellules qui produisent du cartilage sous forme de grandes colonnes. Les cellules placées au sommet se divisent rapidement, ce qui augmente la distance entre l'épiphyse et la diaphyse. L'os est globalement allongé. En parallèle, les chondrocytes les plus âgés sont près de la diaphyse. Ces cellules vont s'hypertrophier et leurs lacunes s'érodent et s'agrandissent. La matrice de cartilage qui les entoure se calcifie et ses chondrocytes meurent et se désolidarisent. À la jonction diaphyso-épiphysaire, il y a des spécules de cartilage calcifié qui appartiennent à la zone ostéogénique. Ils sont investis par des éléments de moelle provenant du canal médullaire. Les ostéoclastes les érodent partiellement puis les ostéoblastes les recouvrent de

matrice osseuse. Cela va être à l'origine de la production de l'os spongieux. Les extrémités des spécules sont dirigées par les ostéoclastes, alors le canal médullaire croît en longueur en parallèle des os longs. L'épaisseur du cartilage épiphysaire reste constant car sa croissance du côté épiphysaire est compensée par sa transformations en tissus osseux du côté diaphysaire. Au fur et à mesure, le cartilage s'amincit pour être totalement remplacé par du tissu osseux. La croissance prend fin lorsqu'on observe une fusion des matières osseuses de la diaphyse et de l'épiphyse. Cette soudure apparait à l'âge de 18 ans chez la femme et de 21 ans chez l'homme. La croissance en longueur est associée à un remaniement continu des extrémités épiphysaires. Le remaniement osseux permet la production et la destruction de la matière osseuse pour conserver un équilibre quantitatif entre la diaphyse et l'épiphyse.

La croissance osseuse en épaisseur est à décrire à travers le rapport entre les ostéoblastes et les ostéoclastes. Les ostéoblastes se situent sous le périoste. Ils sécrètent de la matrice osseuse au niveau de la surface externe de l'os. Les ostéoclastes sont sur l'endoste de la diaphyse. Ils détruisent l'os avoisinant la cavité médullaire. La désintégration est moins importante que l'apport de matière osseuse ce qui produit un os épais et solide. (Marieb, 2009)

Chez les enfants et les adolescents, le taux de formation des os est supérieur au taux de résorption. La masse osseuse s'accroît fortement pendant la puberté. D'après les études menées par l'INSERM, la croissance des garçons est plus importante et plus tardive que celle des filles. En effet, le mécanisme de la croissance va s'adapter au sexe principalement durant la puberté. Chez les garçons, cette période de la vie débute par un pic de croissance en moyenne vers l'âge de 12 ans pour se terminer vers l'âge de 16 – 17 ans. Chez les filles, ce stade s'amorce à l'âge de 10 – 11 ans et s'achève à l'âge de 14 – 16 ans. (INSERM, 2017) Douze mois après le pic de masse osseuse, l'acquisition de la masse osseuse est totale. (Farpour-Lamber et al. 2003) Une croissance osseuse terminée se définit également par un taux d'hormone de croissance (GH) de 3,3 ng/ml. (INSERM, 2017) Toutefois, la masse osseuse est plus élevée chez les jeunes hommes que chez les jeunes femmes. C'est pourquoi, les individus de sexe féminin sont plus exposés aux TMS à l'âge adulte. (Santé Publique France, 2016) Les pertes de masse osseuse seront plus rapides au cours de la ménopause, bien que le rapport entre la formation et la résorption des os soit équilibré chez l'adulte. Lors de la vieillesse, le taux de résorption est supérieur au taux de formation.

Cet ensemble d'éléments anatomophysiologiques montrent des particularités liées au développement et au métabolisme du système osseux chez les individus de sexe féminin. Afin de pouvoir mettre en lien les observations précédentes et le traumatisme thermique, il est nécessaire de déterminer les causes physiopathologiques impactant le système musculo-squelettique suite à une brûlure thermique.

3.3.4. La brûlure et le système musculo-squelettique

La brûlure est un traumatisme responsable d'une multitude de dysfonctionnement des systèmes de l'organisme. En effet, le système cardiorespiratoire, hépatique, rénal, digestif, vasculaire, lymphatique et nerveux sont altérés. L'atteinte de ces systèmes va dépendre de l'étiologie et de l'étendue de la brûlure. (Echinard & Latarjet, 2010)

Dans le contexte de ce mémoire de recherche, les dysfonctionnements musculo-squelettiques seront particulièrement développés.

L'Homme n'a pas de réponse spécifique pour se défendre contre les brûlures (Klein, 2015) bien que les brûlures thermiques soient les plus fréquentes. (Hoscheit et al., 2016) Le mécanisme de défense est une réponse adaptative et est similaire pour les enfants comme pour les adultes. On observe trois éléments responsables du trouble homéostatique de l'os et du catabolisme du muscle. Il s'agit de l'inflammation, du stress cellulaire et de l'immobilisation. (Klein, 2015)

La réponse hyper-métabolique affecte le processus endocrinien, immunitaire et l'homéostasie minérale. On va observer ces perturbations dans le cas des brûlures thermiques graves. (Hoscheit et al., 2016)

Les cytokines pro-inflammatoires, soient les interleukines B et 6, stimulent les ostéoblastes et probablement les ostéocytes. On observe la production des récepteurs activateurs du facteur de transcription nucléaire RANKL. Ce récepteur stimule la différenciation des cellules souches de la moelle en ostéoclastes. Il en résulte une ostéoclastogenèse accrue et une résorption osseuse. (Klein, 2015) Par ailleurs, il soutient la réponse inflammatoire par la production de cellules myélopoïétiques dans la moelle osseuse. (Hoscheit et al., 2016)

Trois à six semaines après la brûlure, la densité minérale osseuse baisse. Puis, la teneur minérale osseuse diminue de 3 % dans l'ensemble du corps 6 mois après la brûlure.

Le nombre de récepteurs parathyroïdes augmente. L'hyperparathyroïdie hypercalcémiant et la perte de calcium urinaire marquent une réparation difficile de la perte osseuse.

Le processus de la réponse à l'immobilisation est encore flou. Cependant, on observe une libération de glucocorticoïde huit fois supérieure à la norme et la libération de catécholamine endogène. Les glucocorticoïdes vont stimuler la production de RANKL. (Hoscheit et al., 2016) Cette immobilisation continue à provoquer la perte osseuse. Les ostéoblastes sont apoptotiques et leurs récepteurs B adrénergiques stimulent la production de RANKL. Les

ostéoblastes diminuent et, en parallèle, les biomarqueurs de la résorption osseuse sont en baisse. Alors l'os devient hypo-dynamique. C'est la réponse au stress cellulaire. (Klein, 2015)

La brûlure diminue la densité corticale, sous-corticale et trabéculaire de l'os. La production de l'os spongieux est réduite, en particulier lors des brûlures thermiques. Par conséquent, le sujet sera atteint d'une ostéoporose à vie et sera plus exposé aux fractures. Les os seront moins résistants aux contraintes mécaniques. Par ailleurs, la croissance linéaire sera retardée de deux ans (Hoscheit et al., 2016) et l'apparition du centre d'ossification secondaire sera retardée dès 14 jours après la blessure. (Tomé et al., 2020)

À ce jour, aucune étude ne montre si la perturbation homéostatique de l'os est due au catabolisme musculaire ou inversement. Cette interrogation se pose puisqu'on observe l'absence de gain musculaire, une baisse de la masse maigre, une réduction de la masse musculaire, une atrophie musculaire, une insuffisance en vitamine D et une dépense énergétique de 180 % post-brûlure. Cette dépense énergétique va durer jusqu'à plus d'un an après l'accident. (Hoscheit et al., 2016)

En résumé, chez les enfants, les troubles trophiques et neuro-vasculaires évoluent vers la fibrose et altèrent la croissance des masses molles et des os. La reprise d'activité non freinée par la douleur et la croissance majorent l'hypertrophie. Cependant, le sport est autorisé en l'absence d'inflammation, en présence de surface cutanée suffisante et d'une qualité cicatricielle stable. (Echinard & Laterjet, 2010)

Les recherches qui mettent en évidence l'ensemble des impacts précédents sont réalisées sur l'os lombaire et l'os tibial. (Hoscheit et al., 2016]

3.3.5. Anatomophysiologie tibiale

Au niveau de l'ostéologie du segment jambier, cette partie du membre inférieur est constituée du tibia et de la fibula. Le tibia est l'os situé au niveau de la partie antéro-médiale de cette zone. C'est un os long (2 épiphyses, 1 diaphyse), pair, asymétrique et massif. (Dufour, 2001) En effet, l'os tibial est un os long. Alors, comme il a été illustré précédemment, la croissance se fera à partir du cartilage. Le cartilage articulaire et le cartilage épiphysaire croient, puis ils vont être remplacés par de l'os. (Marieb, 2009)

Concernant l'arthrologie tibiale, le tibia s'articule en haut avec les condyles fémoraux. Avec la fibula, en dehors, ils forment les articulations tibio-fibulaires supérieures et inférieures. Et, enfin, la surface articulaire inférieure du tibia constitue le talus l'articulation talo-crurale. Au niveau de chaque articulation précédemment citée, les structures sont reliées par des moyens d'union passifs (des capsules articulaires, des synoviales, des ménisques, des ligaments ou

des membranes interosseuses) et actifs (les muscles et les tendons). (Dufour, 2001)
(ANNEXE 6 : Osto-arthrologie du segment jambier (Pr. Outrequin G et Dr Boutillier B)

À propos de la myologie du segment jambier, il est formé de trois loges musculaires. La loge antérieure est composée du muscle tibial antérieur, du muscle troisième fibulaire, du muscle long extenseur des orteils et du muscle long extenseur de l'hallux. La loge latérale est formée des muscles courts et longs fibulaires. Pour finir, la loge postérieure est constituée du muscle poplité, du muscle long fléchisseur des orteils, du muscle long fléchisseur de l'hallux, du muscle plantaire, du muscle triceps sural et du muscle tibial postérieur. (Dufour, 2001)
(ANNEXE 7 : Myologie du segment jambier (Pr. Outrequin G et Dr Boutillier B)

Enfin, au niveau fonctionnel, le membre inférieur permet la station debout, la déambulation et de supporter le poids du corps, Le tibia transmet cette charge du fémur jusqu'au pied. (Dufour, 2001)

Cette présentation succincte sur le segment jambier montre le lien étroit entre le système musculaire et le système osseux. Durant une activité quelconque, ces derniers travaillent en synergie.

3.4. L'activité physique

3.4.1. Définition

En 2022, l'OMS définit l'activité physique comme « tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques qui requiert une dépense d'énergie. L'activité physique désigne tous les mouvements que l'on effectue notamment dans le cadre des loisirs, sur le lieu de travail ou pour se déplacer d'un endroit à l'autre. Une activité physique d'intensité modérée ou soutenue a des effets bénéfiques sur la santé ». (OMS, 2022) Tous les mouvements effectués dans des amplitudes qui ne représentent aucun risque de blessure sont définis comme une activité physique. (Miko et al., 2020)

Dans le cadre de cette étude, on s'intéresse à des adolescents. On va alors s'appuyer sur les recommandations de l'OMS qui s'appliquent à cette tranche d'âge. Les enfants et les adolescents de 5 à 17 ans devraient exercer une activité physique essentiellement en aérobie, d'intensité modérée à soutenue, tous les jours. Idéalement, la durée de cette pratique est de 60 minutes. Les exercices, ayant comme enjeux le renforcement du système musculo-squelettique et le travail en endurance d'intensité soutenue, doivent être pratiqués au minimum 3 fois par semaine. (OMS, 2022)

Les recommandations de l'OMS s'appuient sur des analyses qui montrent que l'activité physique présente plusieurs bénéfices pour le corps.

3.4.2. Les effets de l'activité physique sur l'organisme.

On sait que l'activité physique est bénéfique pour la santé. Ses effets sur les différents systèmes du corps sont multiples.

Selon l'OMS, l'activité physique a d'abord un rôle préventif contre les pathologies cardiovasculaires, neurodégénératives et endocriniennes et contre le surpoids. Pour ces raisons, elle réduit le taux de morbi-mortalité et, ainsi, elle améliore la qualité et l'espérance de vie.

(ANNEXE 8 : Les effets de l'activité physique sur l'organisme. (Marieb, 2009)

Les principaux effets reposent sur le système musculo-squelettique. En effet, l'activité physique garantit une croissance et un développement sains. Grâce à celle-ci, les muscles ont une meilleure aptitude et sont de meilleure qualité. Ces structures exercent la plus grande charge mécanique sur le squelette osseux. En ce sens, les os s'adaptent à la distribution des forces transmises par leur architecture et leur masse. (Hallal et al. 2006) En effet, l'activité physique va permettre une augmentation de la formation osseuse par apposition de minéraux osseux du périoste et de l'endoste, une amélioration du remodelage osseux, une expansion du périoste, une réduction de la résorption osseuse, une réduction du taux de dégénérescence osseuse et pour finir un accroissement de la densité osseuse, donc de la résistance aux contraintes mécaniques. (Daly & Robin, 2007)

Or, lors de la croissance, en particulier durant la période péri-pubertaire, l'os est plus sensible aux charges mécaniques par rapport à l'os mature. C'est pourquoi, la pratique d'une activité physique est recommandée lors de cette période de la vie. (Pedro et al., 2006)

Au niveau hormonal, il faut souligner que la période péri-pubertaire correspond au pic de masse osseuse, c'est-à-dire au pic d'accumulation de la matière osseuse. De plus, on note également une augmentation accrue du taux d'hormones de croissance, d'hormones sexuelles et des facteurs de croissance analogues à l'insuline. Cela améliore la croissance et le renouvellement de l'os via un stimulus ostéoblastique. Or, la stimulation ostéoblastique dépend de l'activité physique. (Hallal et al., 2006)

Bien que, l'activité physique agisse sur le système hormonal, qui est lui-même un facteur de croissance en longueur de l'os, ces effets sur l'accroissement en longueur de l'os restent minimes. En effet, l'activité physique aura plus de répercussions sur la croissance en épaisseur de l'os. (Daly & Robin, 2007)

3.4.3. Une activité physique adaptée aux adolescents

On cherche à définir quels sont les modalités et les régimes de l'activité physique les plus efficaces sur le système musculo-squelettique chez des adolescentes brûlées. Or, l'OMS préconise pour cette tranche d'âge un travail en renforcement dynamique d'endurance et un renforcement musculaire en résistance. Néanmoins, selon la Santé Publique en France en 2022, 33,3 % des filles entre 6 et 17 ans pratiqueraient une activité physique conforme aux recommandations de l'OMS. (Santé Publique France, 2022)

Afin de mieux comprendre les régimes de ces renforcements musculaires, il est primordial de décrire l'architecture du système musculaire au niveau macroscopique et microscopique. (ANNEXE 9 : Description du système musculaire à l'échelle macroscopique et microscopique)

En effet, des modalités ont été fixées pour définir l'exercice en endurance. Ces caractéristiques sont les suivantes : 2 à 4 séries d'exercice, une série de minimum 15 contractions, un temps de travail supérieur au temps de repos (maximum 2 minutes), un temps de récupération important et une intensité sous-maximale (résistance gravitaire à une résistance inférieure à 50% d'une répétition maximale). (Wilmore et al., 2017)

L'intensité de l'exercice recommandé par l'OMS est une intensité modérée à soutenue. Or, l'intensité modérée se définit par un effort atteignant 55 à 70% de fréquence cardiaque maximale (FC max). L'intensité soutenue se caractérise par un exercice physique correspondant à une FC max entre 70 et 90%. Afin de pouvoir déterminer la FC max, on utilise la formule ci-contre : $220 - \text{l'âge}$. Au même titre que la FC max, une dyspnée évaluée entre 4 et 6 selon l'échelle de Borg peut représenter un repère cible pour l'évaluation de l'intensité de l'exercice. Cette échelle permet de mesurer quantitativement la perception de l'effort durant un entraînement. (HAS, 2019) (ANNEXE 10 : L'échelle de Borg modifiée (HAS, 2019))

Le segment jambier est la structure centrale étudiée au sein de ce travail de recherche. Alors, il semble intéressant de définir les caractéristiques de son activité musculaire.

(ANNEXE 11 : Le processus de contraction musculaire)

D'un point de vue anatomophysiologique, le membre inférieur travaille en isotonique excentrique. (Dufour. 2001) Lors d'une contraction isotonique, le muscle se raccourcit ou s'allonge et déplace la charge. Il existe deux sortes de contraction isotonique : la concentrique et l'excentrique. Au cours d'une contraction isotonique concentrique, le muscle se raccourcit pour effectuer un travail de saisie. La contraction isotonique excentrique permet au muscle de

se contracter en s'allongeant, afin d'effectuer les mouvements volontaires et de coordination. Lors d'un mouvement quelconque, ces deux types de contraction sont synergiques. (Wilmore et al., 2017)

C'est pourquoi, d'une part, pour les patients brûlés, l'exercice en excentrique permet une sollicitation des différentes fibres musculaires dans le respect de la CCM et sans mouvements itératifs. D'autre part, durant l'exercice, le volume musculaire augmente. Cette augmentation va mettre en tension la peau et les tissus voisins. Dès lors, la compression des tissus par l'augmentation du volume musculaire servira de posture tégumentaire.

Le deuxième type de contraction est la contraction isométrique. Elle se définit par la contraction d'un muscle sans déplacement. Elle intervient quand un muscle tente de déplacer une charge supérieure à sa force. Elle permet également l'équilibre postural et la stabilisation ainsi que la protection des articulations.

Par ailleurs, le membre inférieur travaille en chaîne cinétique fermée (CCF). Celle-ci se caractérise par un exercice dans lequel le segment distal est fixe ou en appui. Les mouvements en CCF sont les plus physiologiques. Ils permettent de réduire les contraintes articulaires, une orientation axiale volontaire et un travail d'équilibration en co-contraction des muscles agonistes et antagonistes. (Dufour, 2001)

De plus, le travail musculaire se définit également selon trois courses : interne, moyenne et externe. La course interne est la plus courte. Elle représente un tiers du mouvement lorsque les points d'insertions musculaires sont rapprochés. La course musculaire externe est définie par un tiers de l'amplitude lorsque les points d'insertions sont les plus éloignés. La course moyenne se traduit par un tiers de l'amplitude entre les deux courses extrêmes. En course moyenne, le muscle détient ses meilleures capacités et travaille en force durant celle-ci. (Wilmore et al., 2017)

3.4.4. L'apport de l'activité physique sur les TMS liés à la brûlure

On observe que les capacités fonctionnelles, les capacités musculaires, les capacités aérobiques, l'endurance et la masse maigre des patients brûlés sont inférieures à celles des sujets sains. Cela est vrai à court et moyen termes. On ajoute à cela des troubles musculo-squelettiques qui perdurent.

Cependant, la pratique d'une activité physique semble augmenter la force musculaire, les capacités physiques en aérobie, la qualité de vie et la quantité de la masse maigre sans aggraver l'hyper-métabolisme. Ces remarques sont plus marquées lors de la mise en place d'un programme RET (Resistance Exercise Training / Exercice d'Entraînement par

Résistance). Les exercices peuvent être supervisés en structure de soin ou bien dans une salle d'entraînement à proximité du domicile. Le moment, les modalités d'exercice et les régimes pour la mise en place d'un tel programme restent soumis au débat pour déterminer lesquels pourraient donner une meilleure fonction physique. On pense que le programme de réhabilitation peut être mis en place après les soins aigus à condition que les plaies soient fermées et que la réponse inflammatoire régresse. Les mouvements lors de cette pratique physique peuvent être composés. (Porter et al., 2015)

Toutefois, la prise en soins de ce type de traumatisme nécessite une approche spécifique, en raison de la gravité potentielle des lésions et de leurs répercussions sur l'état de santé du patient. (Hoscheit et al., 2016) À noter que plus la zone est mobile, exposée et concerne l'extrémité d'un membre, plus les pronostics fonctionnels, esthétiques et psychosociaux seront engagés. (Jaudoin & Mathieu, 2002) Chez les enfants brûlés en pleine croissance, le manque de peau à ces niveaux est important. Il est vrai que des mouvements répétitifs, rapides et itératifs sur une articulation en regard de zones brûlées vont lancer de nouveau le processus inflammatoire et augmenter de manière importante le risque de séquelles de type rétractions et brides. (Echinard C. Latarjet J. 2010) C'est pourquoi il est impératif d'attendre une baisse de l'inflammation, de respecter les principes de rééducation et de sélectionner les bonnes modalités de sport. Une activité physique commencée au mauvais moment peut relancer le processus inflammatoire. Il faut donc choisir le bon moment en accord avec le médecin et réaliser dans la mesure du possible une activité physique de façon pluridisciplinaire avec un APA.

4. Problématisation

La brûlure est une lésion traumatique qui peut causer des dommages importants à la peau et aux tissus sous-jacents. En réponse à cette agression, l'organisme met en place des mécanismes de défense adaptatifs (Klein, 2015) afin d'essayer de limiter les conséquences de la brûlure. En effet, la brûlure a une conséquence directe sur le système tégumentaire. Cependant, la réponse adaptative va engendrer un dysfonctionnement des autres systèmes de l'organisme, en particulier le système musculo-squelettique. (Hoscheit et al., 2016) Malgré une prise en soins efficace et spécifique, les troubles musculo-squelettiques persistent au long-terme (Duke et al., 2015), particulièrement en cas de brûlure thermique grave. (Muschitz et al., 2017)

Parmi ces troubles, on peut mettre en évidence les perturbations de l'architecture osseuse et musculaire, le dysfonctionnement des muscles et les troubles de la croissance dont les adolescentes et les adolescents sont fréquemment sujets. (Hoscheit et al., 2016)

La croissance dépend de plusieurs paramètres et plus particulièrement de l'activité physique. Cette pratique a des effets sur tous les systèmes de l'organisme, en particulier le système musculo-squelettique lors de la période péri-pubertaire. D'après l'INSERM, cette période de la vie est située entre 10 et 16 ans chez les filles. Elle est marquée par un pic de croissance entre 10 et 11 ans chez ces dernières. (INSERM, 2017) Cette pratique d'activité physique stimule davantage la croissance osseuse en épaisseur plutôt qu'en longueur. (Marieb, 2010)

Très peu de travaux de recherche ont pour objet la mise en place d'un modèle de rééducation centré sur l'activité physique avec des paramètres spécifiques. Ce sujet reste soumis au débat. Les résultats des études montrent une efficacité de l'activité physique pour lutter contre les troubles musculo-squelettiques à court terme. Cependant, les effets sur la croissance osseuse sont abordés de manière brève et les analyses reposent sur des interrogations et des hypothèses. (Porter et al., 2015)

D'après Santé Publique France, le sexe féminin est plus exposé aux troubles musculo-squelettiques (Santé Publique France, 2016)

Pour toutes ces raisons, il semble pertinent de s'interroger sur l'intérêt d'un programme de renforcement musculaire sur la croissance osseuse en épaisseur du segment jambier chez des patientes adolescentes présentant une brûlure thermique grave à ce niveau.

5. Matériels et Méthodes

5.1. Plan de l'essai

5.1.1. Description du type d'essai

Afin d'évaluer l'augmentation potentielle de la croissance osseuse en épaisseur, par l'intermédiaire de l'ajout d'une AP au traitement conventionnel, chez des filles entre 10 et 11 ans atteintes d'une brûlure thermique au second degré profond traitée par une greffe ou au troisième degré au niveau du segment jambier, il est nécessaire de réaliser une étude comparative.

Le premier groupe bénéficiera des traitements conventionnels de la brûlure et de séances d'hypnose (groupe contrôle).

Le second groupe bénéficiera quant à lui des traitements conventionnels de la brûlure et des séances d'AP adaptée (groupe expérimental).

Pour répondre au mieux à notre problématique, le type d'étude choisi est : « l'essai contrôlé randomisé », dans l'objectif d'obtenir un fort niveau de preuve. Le groupe expérimental sera comparé au groupe contrôle. Ils ne recevront pas les mêmes traitements. Cependant, les deux groupes bénéficieront des traitements conventionnels qui ont déjà montré leur efficacité chez cette population. Ceci répond aux concepts de causalité et de l'équité des chances face aux traitements.

Pour la lecture et l'écriture des essais contrôlés randomisés, on va utiliser le plan élaboré par « Traduction française des lignes directrices CONSORT ». (Gedda, 2015) Par conséquent, cette étude sera scientifiquement valide et reproductible.

5.1.2. Modifications méthodologiques en cours d'étude

Dans cette partie, des modifications potentielles sont à envisager selon les recommandations CONSORT. Elles peuvent concerner la forme et/ou la structure du protocole lors de sa mise en place. Ces changements peuvent avoir diverses origines. En effet, les critères d'éligibilité à l'étude, les critères de recrutement, l'apparition de nouvelles preuves scientifiques, voire l'aspect financier, peuvent être des sources de changement.

5.2. Population

5.2.1. Critères d'éligibilité

Dans le cadre de la mise en œuvre de cette étude, on compte deux étapes clé :

- L'élaboration des critères d'inclusion, de non inclusion et d'exclusion
- Le recrutement d'un nombre suffisant de participants, déterminé par le calcul de la taille de l'échantillon.

Ces étapes vont permettre, d'une part, de mener à bien l'exploitation des données et l'interprétation de l'application du traitement étudié sur la population cible. Les résultats obtenus seront alors statistiquement pertinents. D'autre part, les critères d'inclusion, de non inclusion et d'exclusion serviront à établir un échantillon représentatif de la population à laquelle on soumettra ce protocole.

Les critères d'inclusion à l'étude sont les suivants :

- Sexe : féminin (INSERM, 2017) (Santé Publique France, 2022)
- Age : entre 10 et 11 ans (INSERM, 2017)
- Type de brûlure : thermique (Vaïtinada Ayar et al., 2019)
- Contexte de l'accident : confondu (Vaïtinada Ayar et al., 2019)
- Une brûlure au deuxième degré profond traité par une greffe (Echinard & Latarjet, 2010)
- Une brûlure au troisième degré (Echinard & Latarjet, 2010)
- Une brûlures grave, l'étendue de l'atteinte est supérieure à 20%. Ce pourcentage représente un critère de sévérité de la brûlure. (Vaïtinada Ayar et al., 2019)
- La participante doit être brûlée au segment jambier unilatéralement pour permettre une comparaison avec le côté sain. (Hoscheit et al., 2016]
- Cicatrice hypertrophique (Echinard & Latarjet , 2010)
- J0 (dès l'entrée en centre de rééducation) (Porter et al., 2015)

- Consentement recueilli et accepté, signé via le formulaire de consentement des parents et des patients

Les critères de non inclusion à l'étude sont définis par les caractéristiques suivantes :

- Une cicatrice de type chéloïde (Echinard & Latarjet, 2010)
- Une CCM insuffisante pour travailler en course moyenne (Echinard & Latarjet, 2010)
- Type de brûlure : électrique, chimique ou par irradiation (Vaïtinada Ayar et al., 2019)
- Des pathologies causant des troubles osseux : Pathologie rénale, pathologie hépatique, diabète sucré 1 ou 2, cancer, trouble alimentaire, malnutrition, maladie inflammatoire ou auto-immune systémique ou locale, maladie cardiovasculaire et respiratoire, spondylarthrite, ostéogénèse insuffisante, malabsorption, hypogonadisme, fracture non consolidée et trouble de la thyroïde. (Muschitz et al., 2017)
- Des traitements ayant un effet sur le système osseux et sa microarchitecture : Supplémentation en calcium et en cholécalciférol pour prévenir l'ostéoporose (>500 mg/j ; >800 UI/j), médicaments spécifiques aux os (bisphosphonates ou dénosumab), l'hormonothérapie (hormone sexuelle) et les traitements contre les cancers (radiothérapie, chimiothérapie et hormonothérapie) (Muschitz et al., 2017)
- Une consommation toxique antérieure à l'accident : tabac et alcool (Muschitz et al., 2017)

Les critères d'exclusion sont :

- Une présence de marqueurs de fin de croissance osseuse : la fin du pic de masse osseuse ou un taux d'hormone de croissance (GH) de 3,3 ng/ml. (INSERM, 2017)
- Une apparition de pathologies causant des troubles osseux (cf. critère de non inclusion) (Muschitz et al., 2017)
- Des traitements ayant un effet sur le système osseux et ses processus (cf. critère de non-inclusion) (Muschitz et al., 2017)
- Une apparition d'une cicatrice de type chéloïde (Echinard & Latarjet, 2010)
- Une exacerbation des critères HARA. (Jaudoin & Mathieu, 2002)

- Une présence de plaies ouvertes (Echinard & Latarjet, 2010)
- Une irrégularité ou un refus du porter des vêtements compressifs (Echinard & Latarjet, 2010)
- Une consommation toxique au cours du protocole de recherche : tabac et alcool (Muschitz et al., 2017)

5.2.2. Lieux de recueil des données

Cet essai clinique se déroulera en centre de rééducation. Ces structures proposent un suivi à long terme. Pour éviter une communication intergroupe, et ainsi maintenir la motivation des participantes, il est plus judicieux de répartir les deux groupes dans deux centres de rééducation différents. Ces derniers devront être spécialisés dans la prise en soins des patients brûlés. Cela signifie que cette étude est multicentrique. (Paratz et al., 2012)

Les mesures se feront selon la méthode précédemment évoquée au sein du centre de rééducation. Selon les Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG), le diagnostic clinique à l'aide du HR-pQCT peut être établi par les professionnels de santé suivants : un rhumatologue, un médecin généticien, un radiologue ou un chirurgien orthopédiste de l'enfant et de l'adulte. L'évaluateur sera le même tout au long de cette recherche et de préférence un radiologue. Il n'aura pas connaissance de la répartition aléatoire des groupes ainsi que de leur centre d'affectation.

Les données récoltées seront conservées afin de permettre une analyse du court au long terme. À noter que ce paramètre de conservation sera spécifié dans la fiche de consentement avant la mise en œuvre de l'étude.

5.3. Intervention

Comme énoncé précédemment, deux groupe seront formés :

- Un groupe bénéficiera des traitements conventionnels de la brûlure combinée à une pratique d'AP adaptée
- Un groupe bénéficiant des traitements conventionnels et de séances d'hypnose.

La mise en place d'une association entre les deux techniques est extraite de l'étude de Cucuzzo et al de 2001. Cette étude comparait les traitements conventionnels de la brûlure avec la mise en place d'un programme d'exercice. L'étude contrôlée randomisée de Cucuzzo et al, datant de 2001, dure 12 semaines avec 3 séances par semaine. Le recrutement ne fait

pas la distinction entre l'âge et le sexe des patients. La répartition dans les deux groupes n'est pas proportionnelle (11 participants contre 10 participants). De plus, l'AP dispensée au groupe expérimental est mise en place tardivement, soit 6 mois après la brûlure. Les modalités et les régimes de l'AP ne sont pas spécifiques à une région précise du corps. Pour finir, l'objectif principal de l'étude englobe l'ensemble de l'organisme et ne cible pas un processus physiologique ou un système de l'organisme à traiter.

5.3.1. Traitement conventionnel de la brûlure

Dans l'objectif de rendre cet essai thérapeutique reproductible, il s'appuie sur l'essai contrôlé randomisé de Cucuzzo et al de 2001. (Cucuzzo et al., 2001) Cette étude comparait les traitements conventionnels de la brûlure versus un programme d'exercice chez des jeunes patients brûlés thermiquement. L'étude proposait un suivi de 12 semaines après les six mois suivant la brûlure.

Le programme de rééducation qu'on propose dans notre étude s'étend sur une période de 12 mois. Cet intervalle de temps correspond à la période entre le pic de croissance et la maturité osseuse totale. (INSERM, 2017) De plus, à partir du 12^e mois, il s'agit de la phase d'involution de la cicatrisation hypertrophique. (Jaudoin & Mathieu, 2002)

Dans le but de permettre une égalité des chances face à l'efficacité des soins, les soins seront prodigués aux deux groupes. En effet, ce modèle de prise en soins est celui qui a montré ses preuves chez la majorité des patients. Il demeure être le plus efficace. Celui-ci tend à rapprocher au maximum le patient de son état antérieur à l'accident thermique. (Jaudoin & Mathieu, 2002) Les traitements conventionnels de la brûlure sont composés de drainage cicatriciel, de technique de mobilisation, de techniques de massage et de postures manuelles. Les traitements masso-kinésithérapiques seront effectués tous les jours de la semaine, à raison d'une séance de 30 minutes. L'évolution de la cicatrisation sera sous surveillance médicale constante. Par ailleurs, l'application de ces soins est propre à chaque sujet et à leurs diagnostics cliniques. Concernant les paramètres d'individualisations et de modifications, on préconise alors des séances individuelles. (Echinard & Latarjet, 2010)

Les soins en Masso-Kinésithérapie sont effectués après la prise en soins des médecins et des infirmiers pour la surveillance cicatricielle. (Belleville & Vermignon, 2022)

Les caractéristiques du protocole seront donc les suivantes : une séance de traitement conventionnel tous les jours, en individuel, d'une durée de 30 minutes, après les soins médicaux, pendant une période de 12 mois.

5.3.2. Activité physique

Le groupe expérimental recevra une séance d'activité physique adaptée en groupe. En effet, les séances de groupe sont à prioriser car elles présentent des bénéfices sur le plan psychologique et motivationnel. (Tromel & Leclerc, 1994) Dans l'objectif de rendre cet essai reproductible, il s'appuie sur l'étude de Cucuzzo et al de 2001 (Cucuzzo et al., 2001) et les recommandations de l'OMS sur l'activité physique pour une population adolescente.

En effet, l'OMS préconise pour des adolescents sains une activité physique essentiellement en aérobie, d'intensité modérée à soutenue, tous les jours. Idéalement, la durée de cette pratique est de 60 minutes. Les exercices de renforcement musculaire et le travail en endurance d'intensité soutenue doivent être pratiqués au minimum 3 fois par semaine. (OMS, 2022)

Les exercices proposés seront en dynamique excentrique et en CCF. (Dufour, 2001) De plus, ils se feront en course moyenne. (Wilmore et al., 2017)

Dans l'objectif d'augmenter les capacités physiques et d'éviter une habitude à l'exercice (Suman et al., 2002), on va adapter les exercices en fonction des deux premiers stades d'évolution de la cicatrice hypertrophique (Jaudoin & Mathieu, 2002) et du stade de consolidation de l'os. (Porter et al., 2015)

La phase inflammatoire ou évolutive dure entre 0 et 6 mois après l'accident. Au cours de cette phase, les caractéristiques de l'exercice sont les suivantes : 2 séries d'exercice, de 15 contractions, et un temps de repos de 2 minutes entre les séries. À ce stade, la résistance sera gravitaire (Wilmore et al., 2017) étant donné que la consolidation totale de l'os se fait à partir de 3 mois. (Porter et al., 2015) Le niveau de dyspnée est notre repère cible, il doit être compris entre 4 et 6 selon l'échelle de Borg. (HAS, 2019)

Ces modalités d'AP sont applicables de 0 à 3 mois après la brûlure thermique. (Chauvineau et al., 2019) La durée de la séance sera de 30 min, car les patients sont rapidement fatigables. (Klein, 2015)

À partir de 3 mois, temps correspondant à la consolidation totale de l'os, les modalités d'exercice différeront. Les participantes pratiqueront 3 séries d'exercice, de 15 contractions, avec un temps de repos de 2 minutes entre les séries. La résistance est maximum 5 kg. (Wilmore et al., 2017) Le niveau de dyspnée doit être compris entre 4 et 6 selon l'échelle de Borg. (HAS, 2019) Ces modalités sont transposables lors de la période entre 3 et 6 mois après la brûlure thermique. (Porter et al., 2015) Afin de permettre une adaptation progressive des sujets, le temps de la séance sera de 45 minutes. (Klein, 2015)

Puis, lors de la phase d'involution, à partir de 6 mois post-brûlure, on préconise : 4 séries d'exercice, de 15 contractions, avec un temps de repos de 2 minutes entre les séries. La résistance est inférieure à 25% d'une RM. (Wilmore et al., 2017) Le niveau de dyspnée doit être compris entre 4 et 6 selon l'échelle de Borg. (HAS, 2019) Ces modalités s'appliquent durant la période entre 6 et 12 mois après la brûlure thermique. (Cucuzzo et al., 2001) La séance durera 60 minutes. (Klein, 2015)

L'ensemble des exercices proposés sont à visée fonctionnelle. Ce type d'exercice permet un travail d'équilibre, un travail de la stabilité, un renforcement musculaire et un travail de coordination. (Paratz et al., 2012)

Pour permettre une récupération, on propose d'alterner entre un jour de récupération et un jour d'exercice. Et, enfin, dans l'intérêt de limiter les gestes itératifs, le matériel de mise en charge ne doit pas être en contact avec la zone lésée. (Belleville & Vermignon, 2022)

Les adaptations proposées en fonction des trois périodes permettent de limiter les complications cicatricielles (Sanchez et al., 2016), d'éviter la mise en échec de la participante, de favoriser la motivation, de maintenir l'adhésion aux soins (Tromel et al., 1994) et de limiter la fatigabilité de la participante. (Klein, 2015) Cela va permettre d'établir un compromis entre les règles de prise en soins et les recommandations. (Belleville & Vermignon, 2022)

Dans le but d'effectuer le même temps de prise en soins entre les deux groupes, pendant que le groupe expérimental bénéficiera des séances d'AP, le groupe contrôle assistera à des séances d'hypnose en groupe. La durée de la séance d'hypnose doit être identique aux séances d'AP durant les trois périodes. L'hypnose agit uniquement sur la composante de la douleur. Or, cette étude ne prendra pas la douleur comme critère de jugement secondaire. Par conséquent, les résultats ne seront pas erronés. (Berset et al., 2016) (Mejuto, 2014)

Au cours de ce protocole de 12 mois, les séances d'AP sont effectuées avant les douches filiformes afin de maintenir leur efficacité sur les conséquences cicatricielles. (Belleville & Vermignon, 2022)

Les masseurs-kinésithérapeutes qui vont participer à cette étude pourront faire part d'un retour pour expliciter leurs remarques durant l'étude.

POSITION DE DEPART	POSITION D'ARRIVEE	ANNOTATIONS
		<p>Objectif : Exercice des muscles gastrocnémiens en bilatéral</p> <p>Variation de la charge : T0 : Poids de corps T1 : Résistance (5kg) T2 : Résistance (25% de la RM)</p> <p>Matériel : Step Poids / altères</p>
		<p>Objectif : Exercice du muscle soléaire en bilatéral</p> <p>Variation de la charge : T0 : Poids de corps T1 : Résistance (5kg) T2 : Résistance (25% de la RM)</p> <p>Matériel : Step Poids / altères</p>
		<p>Objectif : Exercice des muscles fibulaires en bilatéral</p> <p>Variation de la charge : T0 : Poids de corps T1 : Résistance (5kg) T2 : Résistance (25% de la RM)</p> <p>Matériel : Step Poids / altères</p>

Figure 1 : Les exercices physiques adaptés au renforcement du segment jambier

5.4. Les objectifs et les critères de jugements

5.4.1. Objectif principal et critère de jugement primaire

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité de l'association des traitements conventionnels de la brûlure avec une activité physique adaptée sur la croissance osseuse en épaisseur, pendant la période péri-pubertaire chez des filles de 10 et 11 ans présentant une brûlure thermique grave au segment jambier.

Le critère de jugement principal de cette étude est l'évolution du contenu minéral osseux (en mm). Cet ensemble sera évalué par la méthode du HR-pQCT (High-Resolution Peripheral Quantitative Computed Tomography). Cette méthode d'analyse, avec un fort niveau de preuve, permet le suivi des paramètres topologiques et morphologiques. Elle est principalement utilisée dans les études pour évaluer l'architecture osseuse du tibia et du radius. (Devaraja et al., 2020) En effet, cette technique experte présente les avantages suivants (Sherk et al., 2014) :

- Evaluation de la résistance osseuse en flexion, en torsion et en compression
- Evaluation fiable des modifications osseuses et de la densité minérale osseuse indépendamment de la taille de l'os. Ceci est très important dans l'étude qu'on élabore car les participantes sont des adolescentes en pleine croissance.
- Analyse de l'os cortical et de l'os trabéculaire de manière indépendante (épaisseur en mm, nombre en 1/mm, distance entre les structure en mm, densité en mg/cm^3 , fraction volumétrique en %)
- Accessibilité in-vivo des paramètres morpho-métriques : périmètre endo-osseux et périosté ainsi que la section transversale osseuse
- Différenciation de la croissance osseuse avec les autres processus physiologiques
- Quantification des propriétés et des capacités musculaires

5.4.2. Objectifs et critères de jugement secondaires

Dans le but de l'élaboration de cette étude, des objectifs secondaires doivent être établis.

On observe que les patients brûlés ont des troubles au niveau de la croissance osseuse en longueur. On sait que les hormones sont un des facteurs principaux de la croissance en longueur de l'os. Or, on a vu que l'AP avait aussi une action sur le système hormonal. L'objectif

sera d'investiguer si le traitement proposé montre un bénéfice à propos de cette problématique. Il serait alors intéressant de prendre comme critère de jugement la mesure de la croissance en longueur (en centimètres) par une toise de mesure.

Le système osseux et le système musculaire travaillent en synergie. C'est pourquoi, il faudrait analyser si les propriétés musculaires sont significativement plus élevées après la mise en œuvre de ce protocole de recherche. L'objectif est de savoir si le traitement proposé a des effets sur la force musculaire (en Newton) par un dynamomètre.

La densité minérale osseuse est une caractéristique du contenu minéral osseux et une composante de la résistance osseuse. De ce fait, l'objectif secondaire est d'examiner si la DMO fluctue par la mesure de l'ostéodensitométrie (en mg/cm^3) via le HR-pQCT.

5.5. Taille de l'échantillon

5.5.1. Détermination de la taille de l'échantillon

Pour la composition de notre échantillon, on va estimer le nombre de sujets nécessaires en s'appuyant sur l'étude de Devaraja et al. (Devaraja et al., 2020) Cette étude évalue la microarchitecture osseuse chez les adolescents atteint du diabète de type 1 à l'aide du HR-pQCT. Dans le cas de cette étude, la variable observée est l'épaisseur du contenu minéral osseux (CMO) estimé par le HR-pQCT. Pour pouvoir déterminer la taille de notre échantillon, on a besoin de plusieurs données issues de l'article pilote. Ces éléments à prendre en compte sont les suivants :

- Le risque de première espèce correspond au risque de rejeter l'hypothèse nulle alors que celle-ci est vraie. Celui-ci est fixé à 5% soit $\alpha = 0,05$.
- Le risque de seconde espèce est défini par le risque d'accepter l'hypothèse nulle alors qu'elle est fautive. Celui-ci est fixé à 20% soit $\beta = 0,80$.
- La différence attendue sur l'augmentation du CMO est calculée en se basant sur les résultats fournis par Devaraja et al. (Devaraja et al., 2020) Celle-ci est fixée à 0,1475.
- L'écart type est fixé à 0,104, fourni par Devaraja et al. (Devaraja et al., 2020).
- Nature du test : bilatéral

En utilisant les données numériques précédentes, le logiciel de mesure de l'échantillon en ligne, BiostaTGV (<http://biostatgv.sentiweb.fr/>), déterminera le nombre de participant requis pour cette étude :

$$n = \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \cdot [Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta}]^2}{(M_1 - M_2)^2}$$

Le nombre de sujets nécessaires équivaut à 16 participantes. Pour élaborer une étude statistiquement satisfaisante, il faut prendre en compte un risque de 30% de perte de suivi de l'étude soit un recrutement de 22 jeunes filles. Les groupes seront constitués de 11 filles.

5.6. Randomisation

5.6.1. Production de séquences

La méthode de randomisation par stratification semble être la plus appropriée dans le cadre de cette étude. En effet, cette méthode garantit une homogénéisation des deux groupes via une répartition équitable et aléatoire. Pour ce faire, le logiciel de randomisation des patients en ligne, l'IWRS de l'entreprise Arone, semble répondre à tous ces critères recherchés. (ARONE IWRS, 2022) Cela va permettre d'éviter certains biais et une approche comparative initiale reproductible.

5.6.2. Mise en œuvre

Le thérapeute en charge du recrutement peut prodiguer les deux interventions proposées dans cette étude. À noter que le recrutement des participants doit respecter les critères établis en amont de l'étude.

Le traitement sera prodigué dès l'admission en centre de rééducation par un masseur-kinésithérapeute diplômé d'état (MKDE). Ce dernier devra avoir les compétences suivantes : une spécialisation et/ou une formation dans le champ de la brûlure et/ou une pratique hebdomadaire dans un établissement et/ou dans un service recevant plus de 50% de patients brûlés depuis minimum 2 ans. Le MKDE devra impérativement être formé en hypnothérapie.

Le MKDE du groupe contrôle et celui du groupe expérimental doivent rester les mêmes pendant l'intervention. Cela permettra un suivi durant l'étude. Dans le cas contraire, il faudra le signaler.

5.6.3. Mise en aveugle

La mise en aveugle est complexe puisque les masseur-kinésithérapeutes mettent en place les interventions et que les participantes connaissent le traitement qu'elles reçoivent. La spécificité

des interventions complexifie davantage la mise en place d'un double aveugle. Néanmoins, afin de fiabiliser au maximum les résultats, une personne indépendante à cette étude, qui n'a pas connaissance de la répartition des sujets, pourrait intervenir dans la prise des mesures.

5.6.4. Méthode statistique

Afin de répondre à notre hypothèse originelle, le suivi de nos résultats doit se faire durant l'entièreté de la durée de cette étude. Pour ce faire, on déterminera la moyenne et l'écart-type des deux groupes à comparer selon l'épaisseur en millimètre (mm) du CMO obtenue via le HR-pQCT.

Les mesures seront réalisées en trois temps. La première mesure sera effectuée le premier jour de la prise en soins en centre de rééducation (T0). Puis, on effectuera une mesure trois mois après la prise en soins (T1). Ce stade correspond à la consolidation totale de l'os. Enfin, la dernière mesure se déroulera douze mois après l'admission en centre de rééducation (T2). Cette période correspond à l'acquisition totale de la masse osseuse après le pic de croissance. (Farpour-Lamber et al., 2003)

Afin de pouvoir comparer les deux groupes, on utilise le test de Shapiro-Wilk. Il va déterminer si les groupes sont homogènes et si la valeur p est supérieure à 0,05. L'effectif de l'échantillon de chaque groupe est de 11 participantes. Cet dernier est inférieur à 30 participants alors on utilise des tests non paramétriques. L'épaisseur du CMO évaluée par le HR-pQCT en millimètre (mm) est une donnée de nature quantitative discrète. L'analyse se fera d'abord en intergroupe pour connaître la différence de l'effet de la technique utilisée. Cela se fera à l'aide d'un test de comparaison de moyenne non paramétrique pour deux groupes différents, soit un test de Mann et Whitney à chaque temps d'analyse, soit à T0, T1 et T2. L'analyse se fera ensuite en intragroupe selon les trois temps de mesure. Le test ANOVA de Friedmann semble être le plus approprié pour une comparaison de $n > 2$ mesures, test non-paramétrique adapté à cette comparaison, indiquant le comportement de l'effet du traitement testé au cours de la durée de participation. Ce test sera appliqué sur chaque groupe, permettant ainsi de mieux connaître le mode d'évolution induit par le traitement sur l'épaisseur du CMO. Les résultats obtenus permettront de déterminer l'efficacité du traitement sur l'épaisseur du CMO en croissance.

5.7. Cadre législatif de la RIPH

Dans l'optique de la réalisation de ce protocole de rééducation, la connaissance des règles et des lois est primordiale afin de s'y soumettre.

Cette étude est une recherche impliquant des personnes humaines (RIPH) alors cette étude est régie par la loi Jardé (décret n° 2016-1537). Cette loi figure dans le code de la santé publique.

La loi Jardé fait référence à trois types de recherche qui sont : la recherche interventionnelle, la recherche interventionnelle avec contraintes minimales et la recherche non-interventionnelle. Selon le type de recherche élaborée, les démarches à effectuer seront différentes. Dans le cadre de cette étude, il s'agit d'une recherche interventionnelle à risques et à contraintes minimales.

Les démarches à entreprendre sont les suivantes :

- Enregistrement auprès de l'Agence Nationale de la Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM) pour une obtention d'un numéro ID-RCB
- Évaluation préalable par un Comité de Protection des Personnes (CPP)
- Autorisation de réalisation par un CPP
- Transmission de l'avis favorable à l'ANSM
- Recueil du consentement libre et éclairé des patients avant l'intégration dans l'étude
- Autorisation de mise en œuvre par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL)
- Souscription à une assurance ou garantie fournie par l'état (via une structure de recherche)

7. Mise en place du protocole de recherche

7.1. Flux de participants

Un diagramme de flux est une méthode proposée pour permettre un suivi de la progression des participants durant l'étude. L'objectif est de permettre une analyse correcte des critères d'inclusion, de non-inclusion, d'exclusion et de faciliter le jugement sur la validité. En outre, cette représentation graphique comportera les informations à propos des opérations mises en place ainsi que leurs conditions d'exécution.

Ce diagramme contient des informations propres au recrutement, au traitement, au suivi et à l'analyse des participants (la population investiguée, les participants exclus, la répartition des

participants au sein de chaque groupe, le nombre de participants analysés). Les raisons d'exclusion ou d'abandon des participants survenant après la randomisation figureront dans cette partie.

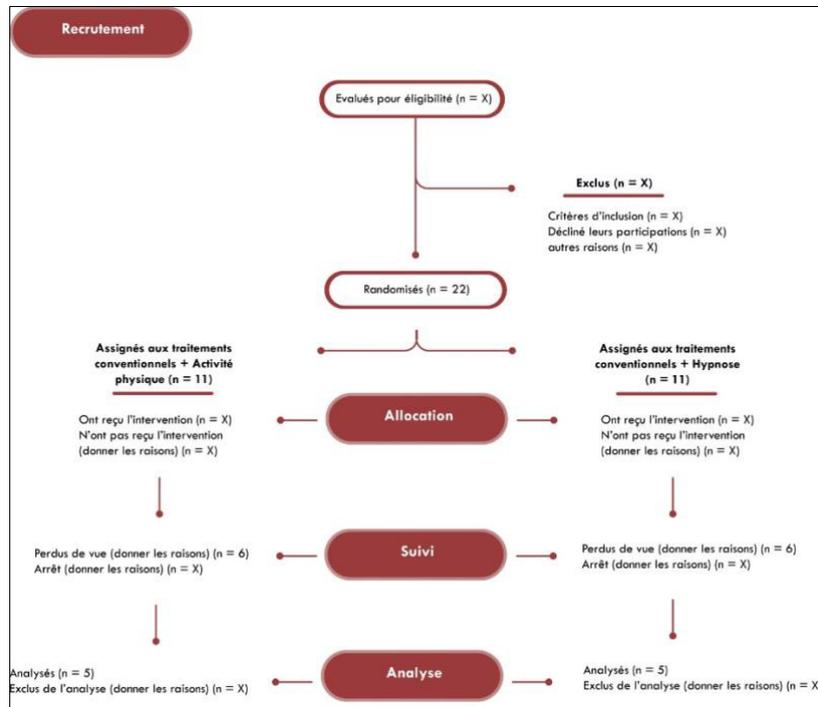


Figure 2 : Diagramme de flux des participants (Gedda, 2015)

7.2. Recrutement

Le recrutement sera effectué sur une patientèle en centre de rééducation spécialisé dans la prise en soins de la brûlure. La durée de l'étude a été fixée selon l'évolution du pic de croissance. En effet, les participantes sont recrutées pendant leur pic de croissance. Or, l'acquisition de la masse minérale osseuse du squelette est totale environ 12 mois après celui-ci. (Farpour-Lambert et al., 2003) L'étude s'étendra sur une période de trois ans dans l'objectif d'avoir l'effectif nécessaire pour réaliser l'essai clinique. Le protocole, quant à lui, dure douze mois. Alors, il sera possible de proposer un suivi, une méthode de recrutement, une analyse suffisante et enfin une intégration des patientes éligibles à cette étude.

Les dates concernant le début du recrutement et de suivi seront mentionnées.

7.3. Risque de perte de suivi

Dans cette partie, les personnes qui n'ont pas pu poursuivre l'étude y seront référencées. Les raisons de perte de suivi peuvent être de natures diverses. L'étude menée s'étend sur une longue période ce qui représente le risque majeur de perte de vue.

D'autre part, les informations concernant une apparition de certains effets indésirables devront faire preuve d'un signalement.

7.4. Données initiales

Pour procéder à la répartition avec une homogénéisation des deux groupes, le tableau ci-contre devra être complété au début de l'étude par les données initiales des participantes.

Tableau 1 : Données initiales des participantes

Données initiales	Groupe expérimental	Groupe contrôle
Age (année)	Moy / SD	Moy / SD
Taille (cm)	Moy / SD	Moy / SD
Poids (kg)	Moy / SD	Moy / SD
Fréquence sport av. accident par semaine	Moy / SD	Moy / SD
TBSA en %	Moy / SD	Moy / SD
Epaisseur CMO (mm)	Moy / SD	Moy / SD

Moy = moyenne, SD = écart-type

7.5. Effectifs analysés

7.5.1. Critères de jugement et estimations

Dans le tableau ci-contre seront inscrites les informations obtenues grâce aux mesures du HR-pQCT, ainsi que la moyenne et l'écart-type de chaque groupe. L'intervalle de confiance sera déterminé selon l'obtention des résultats. Cet ensemble de mesure garantit une reproductibilité, une fiabilité des résultats et une interprétation correcte de l'étude.

Tableau II : Critère de jugement principal

		Mesures HR-pQCT (cm)	
		Groupe expérimental	Groupe contrôle
T0	Moyenne / Ecart-type		
	Indice de confiance		
T1	Moyenne / Ecart-type		
	Indice de confiance		
T2	Moyenne / Ecart-type		
	Indice de confiance		

Les résultats obtenus concernant les critères de jugement secondaires seront également indiqués dans les tableaux suivants selon le groupe concerné.

Tableau III : Critères de jugement secondaires

		Groupe contrôle			Groupe expérimental		
		Force musculaire (en N)	Taille (en cm)	DMO (en mg/cm ³)	Force musculaire (en N)	Taille (en cm)	DMO (en mg/cm ³)
T0	Moyenne / Ecart-type						
	Indice de confiance						
T1	Moyenne / Ecart-type						
	Indice de confiance						
T2	Moyenne / Ecart-type						
	Indice de confiance						

7.6. Résultats attendus.

En réponse à la contrainte temporelle liée au cursus de formation, l'étude ici présente ne contiendra pas de données. On peut supposer être face à trois types de résultats.

La première situation est que les résultats obtenus montrent une diminution significative de l'épaisseur du CMO dans le groupe expérimental à l'aide du HR-pQCT, à court, moyen et long terme par rapport au groupe contrôle. Dans le cas présent, l'association de l'AP aux traitements conventionnels de la brûlure est inefficace voire délétère pour la croissance osseuse en épaisseur dans le cas des brûlures thermiques grave au niveau du segment jambier chez les filles entre 10 et 11 ans.

La seconde situation est la similitude entre les résultats obtenus durant toutes les périodes de l'étude pour les deux groupes.

La dernière situation envisageable est que les résultats obtenus montrent une augmentation significative du CMO dans le groupe expérimental à l'aide du HR-pQCT, à court, moyen et long terme par rapport au groupe contrôle. Dans le cas présent, l'association de l'AP aux traitements conventionnels de la brûlure est efficace pour lutter contre les troubles de la croissance osseuse en épaisseur dans la population de cette étude.

7.8. Analyses accessoires

Les analyses accessoires concernent l'ensemble des analyses qui n'ont pas été décrites dans le protocole initial.

7.9. Risques

L'intégralité des risques ou des effets indésirables inattendus au cours de cette étude seront notifiés dans cette partie.

7.10. Aspect financier

Cet essai contrôlé randomisé utilise le HR-pQCT en tant que critère de jugement principal. Cette imagerie en 3D est coûteuse. (Devaraja et al., 2020) Selon le peu de données trouvées sur le financement de cette dernière, on estime que cette technique n'est pas remboursée par la sécurité sociale. Un examen avec le HR-pQCT coûte environ 60 euros. Les études l'ayant utilisées ont un coût avoisinant 30 000 euros.

8. Discussions

8.1. Les limites de l'étude, la validité interne

Les limitations représentent les différents biais et les diverses imprécisions mettant en cause la fiabilité de notre étude et la validité des résultats obtenus. L'identification de ces derniers permet de les limiter.

8.1.1. Biais d'attrition

Ce biais est défini par une différence entre les effectifs initiaux et ceux en fin d'étude. Cette différence peut être liée à l'interruption des traitements, une sortie volontaire du participant et des critères d'exclusion. C'est pourquoi, on a inclus 30% de participants supplémentaires à l'échantillon initial calculé. Cela va prévenir les risques de perte de vue.

Toutes les sorties d'étude seront recensées avec le motif d'arrêt. L'analyse des résultats statistiques sera effectuée dans l'objectif de maintenir l'homogénéité entre les deux groupes et d'étudier harmonieusement les résultats.

La méthode du HR-pQCT différencie le phénomène de croissance d'avec les autres processus physiologiques. De ce fait, les résultats liés à la croissance osseuse ne seront pas biaisés. Ceci signifie que les résultats obtenus par l'intermédiaire de cette technologie novatrice seront exploitables et reproductibles.

8.1.2. Biais de performance

Le biais de performance fait référence à la dissemblance de la prise en soins entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. Le risque est une mauvaise analyse des effets du traitement appliqué.

Dans le contexte de cette étude, la mise en double aveugle est impossible puisque les masseur-kinésithérapeutes connaissent et procurent les traitements. Il est important de souligner cet élément dans la discussion et l'interprétation des résultats. Comme les masseurs-kinésithérapeutes, les participantes connaissent leurs traitements. Alors, seuls les évaluateurs seront mis en insu. Ils seront externes à l'étude afin de favoriser la mise en aveugle des résultats obtenus. Ces tiers n'auront pas d'informations sur la répartition des groupes ni sur leurs lieux d'affectation.

8.1.3. Biais de sélection

Le biais de sélection correspond à une mauvaise répartition des participants et une mauvaise génération des séquences aléatoires.

Les critères d'éligibilité établis sont les plus représentatifs de la population source. Il s'agit d'une population féminine entre 10 et 11 ans en pic de croissance. Elles sont atteintes d'une brûlure thermique unilatérale au niveau du segment jambier au second degré profond traitée par une greffe ou au troisième degré. La description des critères d'éligibilité dépend des études

sources utilisées, de la physiopathologie des brûlures, de l'anatomophysiologie humaine, des recommandations de l'OMS et de l'HAS à propos de l'activité physique.

8.1.4. Biais de recrutement

Le biais de recrutement est dû à la non-représentativité de l'échantillon recruté dans l'étude par rapport à la population cible.

Dans le but de les limiter, cette étude définit de façon la plus précise possible les critères d'éligibilité.

8.1.5. Biais d'allocation

Le biais d'allocation est défini par un non-respect de l'ensemble des méthodes mises en œuvre pour permettre une évaluation à l'aveugle. Par conséquent, les groupes ne pourront pas être comparés et les effets du traitement risquent d'être surestimés ou inversement. Néanmoins, l'évaluation et l'analyse des résultats seront effectués par une personne externe à l'étude.

Un échantillon faible peut être la cause de l'apparition de ce biais. Pour déterminer la taille de l'échantillon, certains paramètres ont été fixés dans le logiciel de randomisation de l'entreprise Arone. La puissance des résultats obtenus pendant l'étude est fixée à 80%.

8.2. Généralisation, validité externe

La généralisation sous-entend la validité externe d'une étude. Il s'agit du niveau d'application, de généralisation et de transposition des résultats obtenus sur une population ou un groupe n'ayant pas intégré l'étude.

L'échantillon étudié dans l'étude ici présente a été établi selon les revues de littératures et les données à propos de la population exposée aux brûlures et aux troubles musculo-squelettiques. Par conséquent, il s'agit d'adolescentes entre 10 et 11 ans atteintes d'une brûlure thermique grave au segment jambier.

De par cette sélection, un grand nombre de participants sera exclu de la recherche. Notre protocole s'étend sur une période de douze mois. Tandis que l'étude dure trois ans.

En effet, cet échantillon a été déterminé selon l'étude de Devaraja et al. de 2020. Cette étude évalue la microarchitecture osseuse des adolescentes filles et garçons atteint du diabète de type 1 à l'aide du HR-pQCT. (Devaraja et al., 2020) Les dissemblances entre l'étude pilote et notre étude limitent la transposition des résultats de l'une par rapport à l'autre. Toutefois,

l'utilisation du HR-pQCT, l'âge de la population et les conséquences du diabète du type 1 sur le système musculo-squelettique tendent à rapprocher les deux études élaborées.

Dans la mesure où des études faisant l'objet d'une utilisation du HR-pQCT auprès de grand brûlés n'existent pas, on pourrait utiliser d'autres études pour servir d'étude pilote. Afin que les études soient transposables, la pathologie de l'étude pilote doit avoir des conséquences ressemblantes aux brûlures graves sur le système musculo-squelettique. Idéalement, les critères d'éligibilité, la méthode d'analyse et les objectifs de l'étude doivent être les mêmes.

8.3. Résultats attendus et interprétations

La brûlure est une lésion traumatique qui peut causer des dommages importants à la peau et aux tissus sous-jacents. En réponse à cette agression, l'organisme met en place des mécanismes de défense adaptatifs afin d'essayer de limiter les conséquences de la brûlure. (Klein, 2015)

L'immobilisation, la réponse au stress cellulaire, l'inflammation (Klein, 2015), l'alitement et la baisse d'activité physique sont responsables de la détérioration du tissu osseux et de sa microarchitecture. (Cabahug-Zuckerman et al., 2016) On observe l'absence de gain musculaire, une baisse de la masse maigre, une réduction de la masse musculaire, une atrophie musculaire, une insuffisance en vitamine D et une dépense énergétique de 180 % post-brûlure. Cette dépense énergétique va durer jusqu'à plus d'un an après l'accident. (Hoscheit et al., 2016) À ce jour, aucune étude ne montre si la perturbation homéostatique de l'os est due au catabolisme musculaire ou inversement.

Or, l'homéostasie du système musculo-squelettique dépend principalement de l'activité physique. (OMS, 2022) C'est pourquoi on a élaboré un protocole proposant une activité physique qui tend à être la plus adaptée à la pathogenèse de la brûlure, à l'évolution cicatricielle, aux principes de rééducation, aux objectifs de rééducation, à l'anatomophysiologie humaine, au processus de croissance osseuse et aux recommandations de l'OMS et de l'HAS sur l'AP. Les conditions spécifiques à respecter sont les suivantes : maîtrise des phénomènes inflammatoires, maîtrise des complications cutanées et une progression concernant les sollicitations cutanées (de la peau saine à la peau brûlée). (Belleville & Vermignon, 2022) Par conséquent, la reprise de l'activité physique requiert l'établissement d'un compromis entre la rééducation et l'état du patient pour éviter toutes les complications possibles. (Echinard & Latarjet, 2010)

L'AP peut être supervisée en structure de soins ou bien dans une salle d'entraînement à proximité du domicile. (Porter et al. 2015) À propos du protocole que l'on a mis en œuvre, le MKDE de chaque groupe intervient pour prodiguer les soins conventionnels, l'hypnose et l'activité physique dans le centre de rééducation. Afin d'éviter une sursollicitation du MKDE, il serait envisageable de faire intervenir un hypnothérapeute pour dispenser les sessions d'hypnose. Puis, l'enseignant APA pourrait réaliser les séances d'exercice physique adapté.

Il est vrai que l'intervention de cette étude ne contient pas des exercices analytiques. En effet, ils sursollicitent la peau. Cette remarque est d'autant plus vraie qu'il s'agit d'un exercice en CCO. Malgré cela, ce type de renforcement permet de cibler chaque muscle indépendamment des autres. (Cucuzzo et al., 2001)

Le reconditionnement à l'effort (Chauvineau et al., 2019), les exercices cardiovasculaires ou en contre-résistance à haute intensité sont à prioriser. (Paratz et al., 2012) Ces exercices recommandés au stade précoce manquent de précision sur leurs modalités. (Chauvineau et al., 2019) Néanmoins, ils présentent des bénéfices significatifs sur les capacités fonctionnelles, les capacités physiques, les capacités psychologiques (Paratz et al., 2012), les capacités cardiovasculaires, les capacités pulmonaires, les performances motrices (Suman et al., 2002), la perception corporelle (Belleville & Vermignon, 2022), la qualité de vie et la quantité de la masse maigre sans aggraver l'hyper-métabolisme. (Suman et al., 2001) De plus, les perturbations de la microarchitecture osseuse, notamment celle de l'os trabéculaire, sont améliorées par les exercices en résistance. (Blay et al., 2017)

L'essai thérapeutique que l'on établit se divise en trois temps : de 0 à 3 mois, de 3 à 6 mois et de 6 à 12 mois après l'admission en centre de rééducation. Par conséquent, le fait de prendre les améliorations citées précédemment comme critère de jugement permettrait d'analyser la période à laquelle les traitements proposés sont les plus efficaces.

L'activité physique est contributeur de la croissance, de même que le facteur génétique, le facteur hormonal, le facteur nutritionnel et le facteur environnemental. L'étude ici présente prend en considération le facteur gonadique, le facteur hormonal et l'activité physique. Or, l'activité physique agit sur le facteur hormonal, qui est lui-même responsable de la croissance en longueur de l'os. En dépit de cela, cette discipline a une influence majeure sur la croissance osseuse en épaisseur.

Dans l'intérêt de préciser les critères d'inclusion liés aux facteurs de croissance, la réalisation d'analyses complémentaires sur le génotype et sur l'environnement des patients pourrait être menée. (Marieb, 2009)

En outre, le caractère nutritionnel devrait aussi faire l'objet d'une recherche approfondie. Chez les grands brûlés, le poids corporel est très variable, notamment à cause de problèmes nutritionnels. Or, la nutrition est un facteur de croissance, ainsi le poids corporel est un indicateur de croissance. Cet ensemble d'éléments pourrait indiquer que les troubles nutritionnels des patients brûlés sont une cause de trouble de croissance. (Perro, 2016)

Le muscle est la structure qui applique les principales contraintes sur l'os. Or, la croissance en épaisseur de l'os dépend en partie de l'activité. Alors, selon les muscles recrutés au cours d'un exercice physique, l'apposition du CMO ne sera pas répartie identiquement sur l'os. De fait, une recherche évaluant la croissance osseuse en épaisseur selon les lois de l'espace semble pertinente. À noter que l'étude du plan horizontal se fait selon un axe frontal et sagittal.

À partir de 21 ans, l'organisme est adulte alors une prise de mesure à cet âge permettrait d'observer l'évolution du CMO à long terme. En ce sens, une étude comparative avec des adultes sains semble pertinente. (Marieb, 2009) De plus, le caractère évolutif de la croissance et de la brûlure implique alors un suivi jusqu'à l'âge adulte. (Sanchez et al., 2016)

La poursuite des exercices tout au long de la vie est primordiale puisque les brûlés présentent une persistance des incapacités par rapport aux personnes saines. (Suman et al., 2007) C'est à ce titre que des études de longue durée multicentriques devraient être mises en place pour étudier les effets de l'activité physique à long terme. (Paratz et al., 2012) Et c'est une des raisons pour laquelle on a décidé de mener une étude dans deux centres de rééducation spécialisés dans la prise en soins des brûlés. Ceci permet d'éviter une communication intergroupe et, ainsi, maintenir la motivation des participantes qui n'ont pas les mêmes traitements. Bien que les lignes directrices des traitements soient similaires, la mise en œuvre de celles-ci diffèrent selon le MKDE. En conséquence, un biais lié à l'application des soins peut apparaître. C'est pour ces raisons que l'essai clinique dans un seul centre peut être envisagé.

À propos du premier groupe, il bénéficie des traitements conventionnels de la brûlure combinée à une pratique d'AP adaptée. Tandis que le deuxième groupe bénéficie des traitements conventionnels et de séances d'hypnose. (Paratz et al., 2012) L'hypnose agit uniquement sur la composante de la douleur. Or, cette étude ne prend pas la douleur comme critère de jugement secondaire. En ce cas, les résultats ne seront pas erronés. (Berset et al., 2016) (Mejuto, 2014)

Dans les deux groupes, on compare l'évolution de la croissance en épaisseur de l'os. L'évaluation de l'épaisseur du CMO est réalisée par le HR-pQCT. Cette imagerie en 3D avec un fort niveau de preuve permet un suivi des paramètres topologiques et morphologiques. En

effet, au niveau osseux, il évalue la résistance osseuse, les modifications osseuses et les paramètres morpho-métriques par une accessibilité in-vivo. L'analyse de la DMO se fait indépendamment de la taille de l'os. La croissance osseuse est différenciée par rapport aux autres processus physiologiques. L'étude de l'os trabéculaire se distingue de celle de l'os cortical. Au niveau musculaire, il permet une quantification des capacités et des propriétés de tissu. De fait, le HR-pQCT est très utilisé dans les études prenant pour objet l'évaluation de l'architecture osseuse du tibia et du radius. (Sherk et al., 2014)

Cette dernière se base également sur le DXA pour évaluer une caractéristique du CMO, la DMO. Cet outil de diagnostic est proscrit pour la population jeune en raison de son caractère invasif à l'inverse du HR-pQCT qui présente une innocuité.

Tel que le DXA, des prélèvements sanguins sont pratiqués pour quantifier des constituants chimiques intervenant dans le processus de minéralisation. (Devaraja et al., 2020)

Dans l'étude que l'on a élaboré, on évalue la croissance osseuse en épaisseur du segment tibial. Il serait intéressant d'appliquer ce protocole sur le segment fémoral. Le fémur a une croissance supérieure au tibia. (Marieb, 2009) Ce plus grand os du corps humain a des fonctions proches de celles du tibia. Il assure une mise en charge et une stabilité durant la déambulation. Il permet la transmission du poids du corps de l'os coxal au segment tibial. (Dufour, 2001)

9. Conclusion et perspectives

Ce mémoire de fin d'étude en Masso-Kinésithérapie propose la mise en place d'un protocole de rééducation. Sa réalisation permettra d'évaluer l'efficacité de l'activité physique pour lutter contre les troubles de la croissance osseuse lors d'une brûlure thermique unilatérale grave au segment jambier chez des sujets féminins en période péri-pubertaire.

Ce travail d'initiation à la recherche aborde une spécialité masso-kinésithérapique très spécifique, la brûlologie. J'ai pu prendre conscience du caractère central de la notion de compromis dans cette spécialité. Dans la mesure où ce protocole est réalisé, il permettra de répondre à certains questionnements qui demeurent sans réponses. L'étude pourrait valider ou invalider certaines hypothèses et ainsi apporter de nouvelles preuves sur le traitement proposé. Celui-ci permettra également de faire évoluer les connaissances liées à la prise en soins des brûlures graves.

Sur un plan personnel, cette initiation à la recherche m'a permis de développer mes connaissances à propos de la prise en soins de la brûlure. J'ai également pris conscience de la complexité de la réalisation de ces soins très spécifiques. Par ailleurs, le développement

d'une étude clinique est un travail complexe qui demande une réflexion sur la maîtrise des biais et des limites de réalisation. Le stage professionnalisant qui a été le point de départ de ma réflexion et cet écrit m'orientent davantage vers des formations complémentaires. L'acquisition de ces connaissances me permettront de me sentir plus à l'aise pour suivre des patients brûlés.

Références bibliographiques

« Brûlures ». OMS – Organisation Mondiale de la Santé ». <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/burns>.

« Croissance et troubles de la croissance · Inserm, La science pour la santé ». <https://www.inserm.fr/dossier/croissance-et-troubles-croissance/>.

« Epidemiologie SFB ». <http://www.sfb-brulure.com/index.php/documentation/epidemiologie.html>.

« La cicatrisation dirigée » - Philippe Roure, 2003. <https://devsante.org/articles/la-cicatrisation-dirigee>.

ARONE IWRS. (2022, mai 3). Arone IWRS. <https://www.arone.com/arone-iwrs-logiciel-iwrs-gestion-randomisation-patients/>

Belleville, Julie, et Virginie Vermignon. « Rééducation des patients grands brûlés au centre pédiatrique Romans Ferrari ». *Kinésithérapie, la Revue*, vol. 22, n° 251, novembre 2022, p. 2431. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.kine.2022.09.004>.

Berset, M., & Grandjean, C. (2016). *L'effet de l'hypnose dans la prise en soins de la douleur chez les patients adultes brûlés et hospitalisés* (Doctoral dissertation, Haute Ecole de Santé Vaud).

Blay B, Thomas S, Coffey R, Jones L, Murphy CV. Low vitamin D level on admission for burn injury is associated with increased length of stay. *J Burn Care Res.* 2017; **38**(1): e8– 13.

Bourgeois, E., & Lossner, M. R. (2012). Brûlures graves. *Urgences* 2012, 72, 1-17.

Cabahug-Zuckerman P, Frikha-Benayed D, Majeska RJ et al. Osteocyte apoptosis caused by hindlimb unloading is required to trigger osteocyte RANKL production and subsequent resorption of cortical and trabecular bone in mice femurs. *J Bone Miner Res.* 2016; **31**(7): 1356– 65.

Centre des maladies rares du métabolisme minéral et osseux. <https://www.hug.ch/maladies-osseuses/centre-maladies-rares-du-metabolisme-mineral-osseux>.

Chauvineau, V. et al. « Résumé Des Tables Rondes Du 39ème Congrès De La SFB ». *Annals of Burns and Fire Disasters*, vol. 32, n° 4, décembre 2019, p. 32130. *PubMed Central*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7197910/>.

Chopin, A., & Le Bihan, L. (2019). Pansements secondaires et moyens de fixation. *Revue Francophone de Cicatrisation*, 3(1), 38-40.

Christian Cholette, *Anatomie et physiologie humaine*, McGraw-Hill Editeurs, 1981.

Cucuzzo, N. A., Ferrando, A., & Herndon, D. N. (2001). The effects of exercise programming vs traditional outpatient therapy in the rehabilitation of severely burned children. *The Journal of burn care & rehabilitation*, 22(3), 214-220.

Daly, Robin M. « The Effect of Exercise on Bone Mass and Structural Geometry during Growth ». *Optimizing Bone Mass and Strength*, vol. 51, 2007, p. 33-49. www.karger.com, <https://doi.org/10.1159/000103003>.

Dauzac C. De la brûlure à la rééducation de la personne brûlée (1ère partie). *Kiné actualité*. 2010 Septembre jeudi 9: p. 18-22.

Dauzac C. Masso-kinésithérapie et peau brûlée, Des principes aux applications régionales (2e partie). *Kiné actualité*. 2010 septembre jeudi 16: p. 19-23.

Devaraja, J., Jacques, R., Paggiosi, M., Clark, C., & Dimitri, P. (2020). Impact of type 1 diabetes mellitus on skeletal integrity and strength in adolescents as assessed by HRpQCT. *JBMR plus*, 4(11), e10422.

DUFOUR Michel, *Anatomie de l'appareil locomoteur, tome 1, membre inférieur, 2^{ème} tirage corrigée*, Masson, Paris, 2001.

Duke, Janine M. et al. « Increased Admissions for Musculoskeletal Diseases after Burns Sustained during Childhood and Adolescence ». *Burns: Journal of the International Society for Burn Injuries*, vol. 41, no 8, décembre 2015, p. 1674-82

Echinard C, Latarjet J. *Les Brûlures* Masson , editor. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Eliane N. Marieb, René Lachaine co-auteur, *Anatomie et physiologie humaine (6e édition)*, Pearson Education France, 2009.

Farpour-Lambert, Nathalie J. et al. « Santé osseuse de l'adolescent ». *Rev Med Suisse*, vol. 2425, février 2003, p. 37983. www.revmed.ch, <https://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2003/revue-medicale-suisse-2425/sante-o>

Gedda, M. (2015). Traduction française des lignes directrices CONSORT pour l'écriture et la lecture des essais contrôlés randomisés. *Kinésithérapie, la Revue*, 15(157), 28-33.

Hallal, Pedro C. et al. « Adolescent Physical Activity and Health: A Systematic Review ». *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, vol. 36, no 12, 2006, p. 1019-30. PubMed, <https://doi.org/10.2165/00007256-200636120-00003>.

Haute Autorité de santé. Guide de promotion, consultation et prescription médicale d'activité physique et sportive pour la santé chez les adultes. Site internet : HAS. Saint-Denis La Plaine (France) ; 2019

Hoscheit, Matthew et al. « Burn Injury Has Skeletal Site-Specific Effects on Bone Integrity and Markers of Bone Remodeling ». *Journal of Burn Care & Research: Official Publication of the American Burn Association*, vol. 37, no 6, décembre 2016, p. 367-78.

Janz, Kathleen F. et al. « Objectively Measured Physical Activity Predicts Hip and Spine Bone Mineral Content in Children and Adolescents Ages 5–15 Years: Iowa Bone Development Study ». *Frontiers in Endocrinology*, vol. 5, juillet 2014, p. 112. PubMed Central, <https://doi.org/10.3389/fendo.2014.00112>.

Jaudoin D et al. La masso-kinésithérapie de la cicatrice après une brûlure grave : « connaître les données fondamentales, évaluer, traiter et guider le remaniement du derme. », 2001. <http://www.kinebrul.com/>

Jaudoin D, Mathieu Y et al. « La masso-kinésithérapie des cicatrices post-brûlures : problématique fonctionnelle, évaluation clinique spécifique et incidences thérapeutiques. » *Masso-kinésithérapie, Les annales*. 2005 Avril p. 16-24.

Klein, Gordon L. « Disruption of Bone and Skeletal Muscle in Severe Burns ». *Bone Research*, vol. 3, 2015, p. 15002.

Klein, Gordon L. « The Role of the Musculoskeletal System in Post-Burn Hypermetabolism ». *Metabolism: Clinical and Experimental*, vol. 97, août 2019, p. 81-86

M. Revol * : Professeur des Universités, J.-M. Servant. « Cicatrisation dirigée ». Elsevier-Masson Editor, 2010.

Mejuto, K., Laversenne, L., & Souto, M. (2014). L'utilisation de l'hypnose dans la prise en soins de la douleur du grand brûlé.

Méllissopoulos A., & Levacher, C. (1998). La peau. *Structure et physiologie. Editions Médicales Internationales, Allée de la Croix Bossée, F-94234 Cachan cedex, Tec et doc, Paris, 11.*

Miko, H. C., Zillmann, N., Ring-Dimitriou, S., Dorner, T. E., Titze, S., & Bauer, R. (2020). Effects of physical activity on health. *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))*, 82(S 03), S184-S195.

Muschitz, Gabriela Katharina et al. « Long-Term Effects of Severe Burn Injury on Bone Turnover and Microarchitecture ». *Journal of Bone and Mineral Research: The Official Journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, vol. 32, no 12, décembre 2017, p. 2381-93.

Organisation mondiale de la Santé. (2020). Lignes directrices de l'OMS sur l'activité physique et la sédentarité : En un coup d'œil [WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour : At a glance]. OMS.

Paratz, Jennifer D. et al. « Intensive Exercise after Thermal Injury Improves Physical, Functional, and Psychological Outcomes ». *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, vol. 73, n° 1, juillet 2012, p. 18694. *PubMed*, <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31824baa52>.

Perro, G. (2016). Nutrition chez le brûlé. *Annals of burns and fire disasters*, 29(1), 24.

Porter, Craig et al. « The Role of Exercise in the Rehabilitation of Patients with Severe Burns ». *Exercise and Sport Sciences Reviews*, vol. 43, no 1, janvier 2015, p. 34-40. *PubMed*, <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000029>.

Rivas, Eric et al. « Children with Severe Burns Display No Sex Differences in Exercise Capacity at Hospital Discharge or Adaptation after Exercise Rehabilitation Training ». *Burns: Journal of the International Society for Burn Injuries*, vol. 44, n° 5, août 2018, p. 118794. *PubMed*, <https://doi.org/10.1016/j.burns.2018.01.014>.

Sanchez, J. et al. « Particularités de la cicatrisation de l'enfant ». *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique*, vol. 61, n° 5, octobre 2016, p. 341-47. *ScienceDirect*, <https://doi.org/10.1016/j.anplas.2016.05.001>.

Santé publique France lance une nouvelle campagne : « Faire bouger les ados, ce n'est pas évident. Mais les encourager c'est important. ». <https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2022/sante-publique-france-lance-une-nouvelle-campagne-faire-bouger-les-ados-c-est-pas-evident.-mais-les-encourager-c-est-important>.

Sherk, Vanessa D. et al. « Associations entre la graisse et la densité musculaires basées sur le PQCT et la masse des tissus mous totale et des jambes basées sur la DXA chez les femmes et les hommes en bonne santé ». *Journal des interactions musculo-squelettiques et neuronales*, vol. 14, n° 4, décembre 2014, p. 411. www.ncbi.nlm.nih.gov, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4433754/>.

SPF. *Prévalence des troubles musculo-squelettiques et des facteurs biomécaniques d'origine professionnelle : premières estimations à partir de Constances. Numéro thématique. Constances : une cohorte française pour la recherche et la santé publique*. 2016. <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-liees-au-travail/troubles-musculo-squelettiques/prevalence-des-troubles-musculo-squelettiques-et-des-facteurs-biomecaniques-d-origine-professionnelle-premieres-estimations-a-partir-de-constance> ;

Suman, O. E. et al. « Effects of a 12-Wk Resistance Exercise Program on Skeletal Muscle Strength in Children with Burn Injuries ». *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, vol. 91, n° 3, septembre 2001, p. 116875. *PubMed*, <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.3.1168>.

Suman, Oscar E. et al. « Effect of Exercise Training on Pulmonary Function in Children with Thermal Injury ». *The Journal of Burn Care & Rehabilitation*, vol. 23, n° 4, 2002, p. 28893; discussion 287. *PubMed*, <https://doi.org/10.1097/00004630-200207000-00013>.

Suman, Oscar E., et David N. Herndon. « Effects of Cessation of a Structured and Supervised Exercise Conditioning Program on Lean Mass and Muscle Strength in Severely Burned Children ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 88, n° 12 Suppl 2, décembre 2007, p. S24-29. *PubMed*, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.09.002>.

Tibia. Pr. Outrequin G et Dr Boutillier B. <https://www.anatomie-humaine.com/Tibia.html>

Tomé, T. D. C., Quintana, H. T., Bortolin, J. A., Taffarel, A. A., Liberti, E. A., & De Oliveira, F. (2020). Extensive burn injury causes bone collagen network alteration and growth delay related to RANK-L immunoexpression change. *Connective Tissue Research*, 61(5), 465-474.

Tortora G, Derrickson B. Manuel d'anatomie et de physiologies humaines Quebec: de boeck; 2009.

Tromel, M. F., & Leclerc, J. (1994). Rééducation de la main brûlée. *Ann. Medit. Burns Club-vol V11-n*.

Vaittinada Ayar, P., et M. Benyamina. « Prise en soins du patient brûlé en préhospitalier. Première partie : cas général et inhalation de fumées ». *Annals of Burns and Fire Disasters*, vol. 32, n° 1, mars 2019, p. 2229. *PubMed Central*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6588334/>.

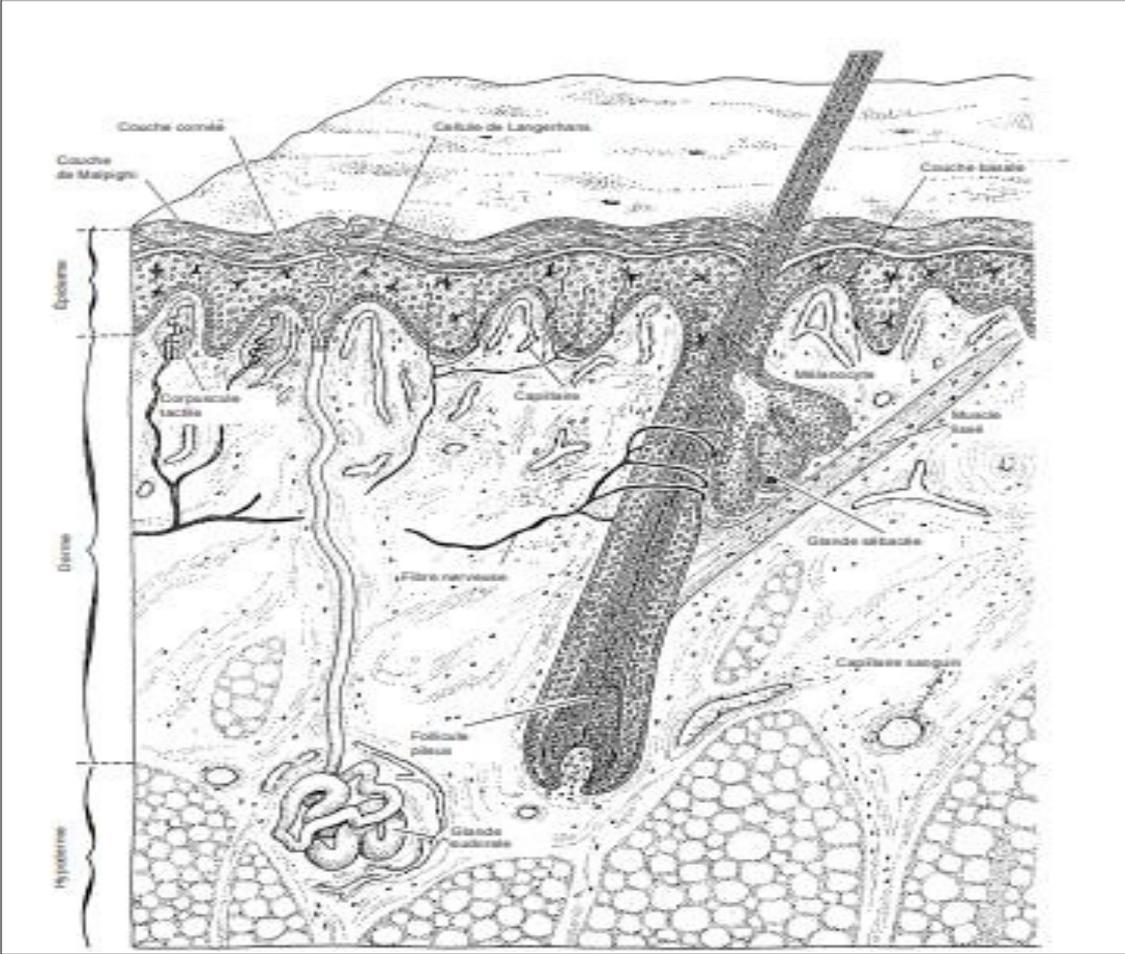
Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, L. (2017). *Physiologie du sport et de l'exercice*. De Boeck Supérieur.

ANNEXES

Table des annexes

ANNEXE 1 : Ultrastructure de la peau (Mélissopoulos & Levacher, 1998).....	1
ANNEXE 2 : Les quatre phases de la cicatrisation spontanée (Marieb, 2009).....	2
ANNEXE 3 : Evolution d'une cicatrice normale (Echinard & Latarjet, 2010).....	4
ANNEXE 4 : Les facteurs de cicatrisation	5
ANNEXE 5 : La croissance durant la phase embryonnaire à la naissance (Marieb, 2009)	6
ANNEXE 6 : Osto-artrologie du segment jambier (Pr. Outrequin G et Dr Boutillier B.)	7
ANNEXE 7 : Myologie du segment jambier (Pr. Outrequin G et Dr Boutillier B.)...	8
ANNEXE 8 : Les effets de l'activité physique sur l'organisme. (Marieb, 2009).....	9
ANNEXE 9 : Description du système musculaire à l'échelle macroscopique et microscopique (Cholette, 1981).....	10
ANNEXE 10 : L'échelle de Borg modifiée (HAS, 2019)	11
ANNEXE 11 : Le processus de contraction musculaire (Marieb, 2009).....	12

ANNEXE 1 : Ultrastructure de la peau (Mélissopoulos & Levacher, 1998)



ANNEXE 2 : Les quatre phases de la cicatrisation spontanée (Marieb, 2009)

- La phase vasculaire

La phase vasculaire est aussi appelée l'hémostase. D'une durée de 4 à 5 jours, cette étape est décrite comme une activité détersive de par l'extravasation des cellules sanguines (les plaquettes sanguines, les lymphocytes, les macrophages et les polynucléaires neutrophiles). L'objectif de cette phase est l'arrêt du saignement, la lutte contre les infections locales et l'élimination des débris cellulaires.

En réponse à une plaie cutanée, on observe un saignement secondaire. Il permet l'évacuation de corps étrangers et l'élimination des éventuels produits chimiques nocifs. Puis, le saignement va être interrompu via la présence d'un spasme vasculaire transitoire. Ensuite, la coagulation va être induite par les plaquettes et les facteurs de coagulation. Les facteurs de coagulations sont principalement synthétisés par le foie. On peut en citer certains comme le fibrinogène, la prothrombine, la thromboplastine, la thrombine, le calcium... Ces éléments vont permettre une libération d'adénosine diphosphate (ADP). Cette substance est à l'origine de l'adhésion inter-plaquettaire ainsi qu'entre le collagène et les plaquettes. Pour finir, la formation du clou hémostatique précède la formation du caillot plaquettaire par la fibrine. La fibrine est synthétisée par les fibrinogènes.

- La phase inflammatoire

Cette phase de détersion va parfaire le nettoyage. Elle dure 3 semaines. Cette phase résulte de la production d'un tissu de granulation. L'inflammation est localement caractérisée par la chaleur, la rougeur, la douleur et la tuméfaction.

Cette seconde phase est soumise à la présence de deux facteurs organiques :

- Cellulaire : L'inflammation est à l'origine d'une fuite plasmatique au niveau du réseau intravasculaire vers le réseau extravasculaire. Des cellules neutrophiles et des polymorphonucléaires vont migrer dans le réseau extravasculaire. Et, enfin, des mastocytes locaux vont être activés. Les fibroblastes vont migrer et former un réseau tridimensionnel. Ces cellules du derme vont synthétiser une matrice extracellulaire provisoire pour combler l'absence de substance
- Chimiotactique : Les cellules en action lors de la phase inflammatoire vont excréter ces facteurs chimiotactiques pour permettre une défense immunitaire de qualité. On peut citer certains de ces facteurs comme les facteurs de croissance épidermique, les facteurs de

croissance fibroblastique, les facteurs de croissance de transformation β , l'interleukine 1 et l'interleukine 6.

- La phase d'épidermisation

Elle se fait à partir des berges, de la membrane basale, des follicules pilo-sébacés et du tissu de granulation. On assiste à deux sous-étapes qui sont la reconstruction de la membrane basale par les kératinocytes basaux, qui vont ensuite migrer le long de cette dernière. Ce processus de recouvrement par les kératinocytes se fait par proximité. Donc, les cellules épidermiques migrent et se rapprochent entre elles pour couvrir totalement la zone cicatricielle. C'est ce phénomène que l'on nomme l'épithélialisation.

Ensuite, une étape de bourgeonnement vasculaire intervient pour compenser les pertes de substances.

Une néoangiogenèse est mise en place pour permettre un apport sanguin à la zone cicatricielle. Les cellules endothéliales et les péricytes sont les acteurs de cette angiogenèse. Les cellules endothéliales couvrent la surface interne des vaisseaux. Les péricytes permettent le développement de la paroi vasculaire.

- La maturation

Les fibroblastes et les myofibroblastes vont modéliser le tissu dermique par la contraction des berges de la plaie. Ces cellules vont également produire la charpente de collagène. Le tissu granuleux va progressivement disparaître durant les deux années post-traumatiques.

La phase de remodelage débute donc dès la fermeture de la plaie, environ le 21^e jour. En faveur de la fin de la contraction de la plaie, la quantité de collagène produite accorde une résistance à l'étirement de 15 % par rapport à la norme.

Les cellules prolifératives, sécrétant de la fibronectine et de l'acide hyaluronique lors de la phase de granulation, vont être remplacées par le collagène, les glycoaminoglycans et les fibres d'élastine. Les fibres de collagène de type III sont remplacées par le type I et sont réorientées dans l'espace. La membrane basale est renforcée progressivement et le contenu est modifié en protéoglycanes. Cela va permettre à la matrice de la plaie de mieux résister aux contraintes notamment la traction.

Les brûlures du premier degré et du second degré superficiel évoluent sans cicatrice ni séquelles par le biais de la cicatrisation spontanée. (Dauzac, 2010)

ANNEXE 3 : Evolution d'une cicatrice normale (Echinard & Latarjet, 2010)

Dans le cadre d'une évolution normale de la cicatrice, on observe trois temps. Le premier est une période de latence qui dure 3 semaines, pendant lesquelles la cicatrice semble ne pas évoluer. Puis, un stade inflammatoire débute. Les phénomènes inflammatoires marquent une poussée jusqu'au 2^e mois d'évolution cicatricielle. La période d'involution débute le 3^e mois jusqu'au 12^e – 18^e mois chez l'enfant et 6^e – 8^e mois chez l'adulte. Cette durée correspond à la stabilisation de la cicatrice. Des revues de littératures parlent d'une phase de plateau entre la phase de poussée et la phase d'involution.

ANNEXE 4 : Les facteurs de cicatrisation

Ils existent des facteurs systémiques et locaux influençant la guérison des plaies.

Les facteurs systémiques sont : l'âge, le sexe, la couleur de peau, le déficit en oxygène ou diminution de la perfusion (hémoglobémie < 10 g/dl), l'œdème systémique, le statut nutritionnel (hypoprotéinémie, carences vitaminée et minérale), l'existence d'un stress psychologique, la présence de maladies concomitantes (diabète, insuffisance vasculaire, immunosuppression...), l'administration de traitement médicamenteux, les habitudes de vie, d'hygiène, de compliance au traitement, le travail, le statut socio-économique et géographique.

Les facteurs locaux sont : l'infection locale, une plaie chronique, l'étendue de la plaie, la profondeur de la plaie, le site de la plaie, le stress mécanique, les traumatismes répétés à la plaie, les traitements médicamenteux, la macération, la présence de corps étrangers, la présence de tissu nécrotique et la présence d'hématome.

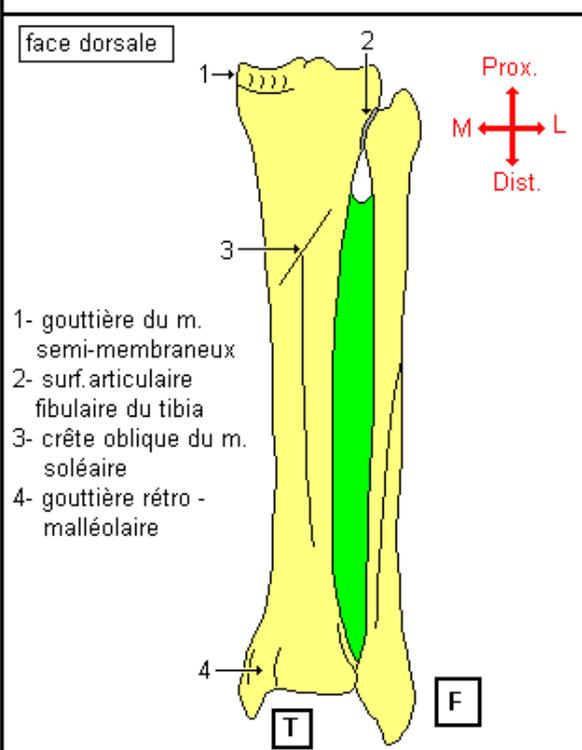
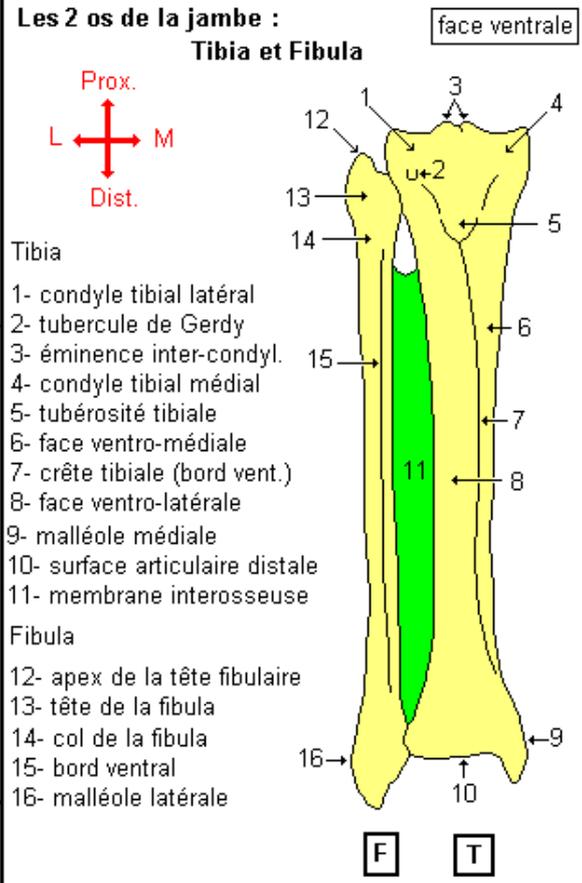
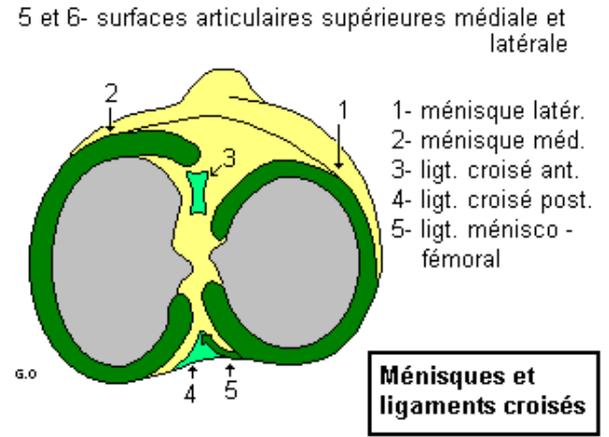
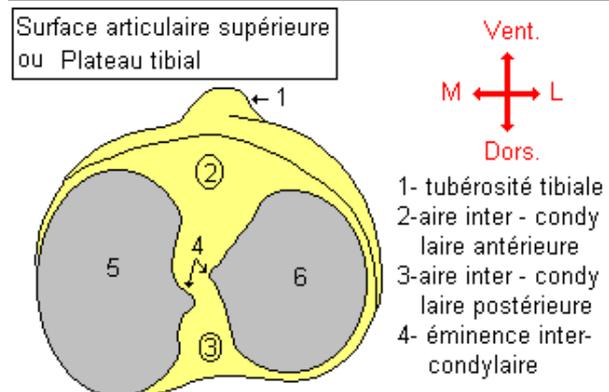
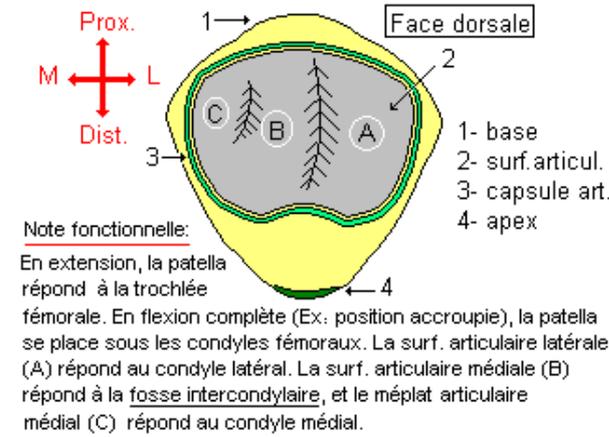
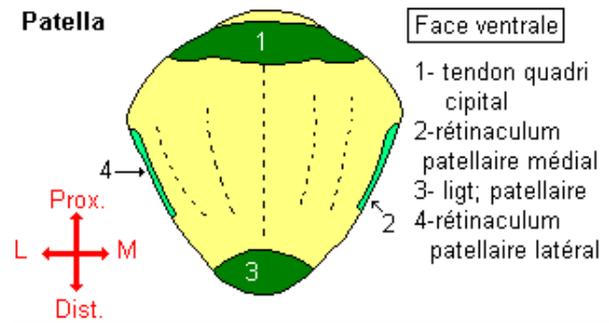
Tous ces facteurs d'évolution pathologiques seront plus ou moins importants suivant les caractéristiques de la brûlure et la gravité de celle-ci. La brûlure est un traumatisme face auquel l'organisme va adopter un comportement adaptatif de défense, c'est la cicatrisation pathologique.

ANNEXE 5 : La croissance durant la phase embryonnaire à la naissance (Marieb, 2009)

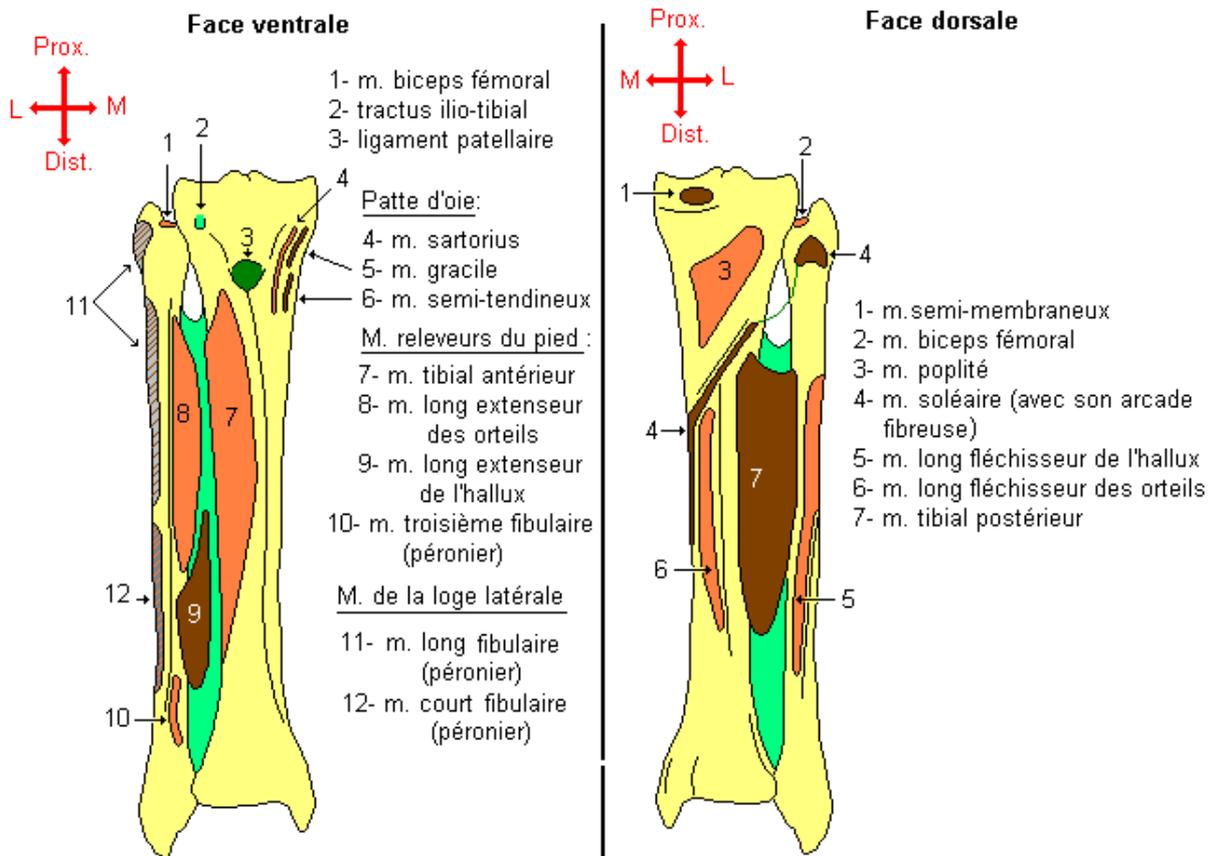
Lors de la phase embryonnaire, le mésoderme produit des cellules mésenchymateuses qui forment la membrane fibreuse et le cartilage hyalin, constituant le squelette de l'embryon. On parle d'ossification intra-membraneuse lorsqu'un os se forme à partir d'une membrane fibreuse. Les os intra-membraneux sont les os du crâne, les clavicules et les maxillaires supérieures. L'ossification endochondrale débute au cours du deuxième mois de grossesse. Elle désigne la formation d'un os à partir du cartilage hyalin. Elle est plus complexe car elle nécessite la désintégration du cartilage hyalin. Tous les os du squelette humain, exceptés les clavicules, sont des os endochondraux. L'âge du fœtus va être déterminé selon l'ossification de ces deux structures. La chronologie de l'ossification est propre à chaque os. L'ossification des os longs commence la huitième semaine. Les points d'ossification primaire apparaissent la treizième semaine de grossesse.

À la naissance, les os longs sont bien ossifiés, sauf au niveau de l'épiphyse. Après la naissance, les points d'ossification secondaire apparaissent au niveau des épiphyses. Vers 25 ans, les os sont complètement ossifiés, alors le squelette cesse de croître.

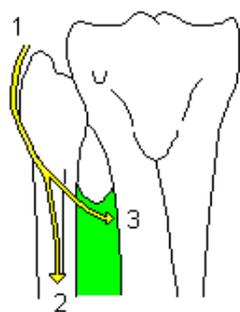
ANNEXE 6 : Osto-arthrologie du segment jambier (Pr. Outrequin G et Dr Boutillier B.)



Les deux os de la jambe : insertions musculaires

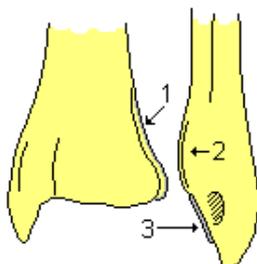


Rapport nerveux avec le col de la fibula (important)



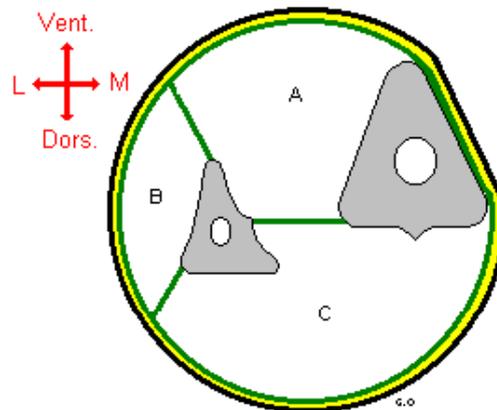
- 1- nerf (péronier) fibulaire commun
- 2- nerf (péronier) fibulaire superficiel
- 3- nerf (péronier) fibulaire profond

a)- la nouvelle nomenclature est ambiguë sur ce point, et donne comme synonymes, fibulaire et péronier.
 b)- Les livres étrangers anglais et allemands, gardent souvent le terme "peronier".
 Ex: "peroneal nerve".
 Les deux termes sont donc acceptables.



Articulation tibio-fibulaire distale

- 1- incisure fibulaire du tibia
- 2- surf. art. tibiale de la fibula
- 3- surf. art. de la malléole latérale



COUPE HORIZONTALE DE JAMBE AU 1/3 MOYEN

La coupe montre la forme triangulaire des diaphyses du Tibia et de la Fibula, donc 3 faces et 3 bords.
 Remarque : La face médiale de la fibula est divisée en 2 parties: la partie ventrale correspond à la loge musculaire ventrale (A) et la partie dorsale, à la loge musculaire dorsale (C).

ANNEXE 8 : Les effets de l'activité physique sur l'organisme. (Marieb, 2009)

Concernant les systèmes cardiovasculaire et respiratoire, une pratique physique et régulière améliore la santé du cœur ainsi que les capacités cardiorespiratoires et cardio-métaboliques. Puis, d'un point de vue neuropsychologique, on observe un perfectionnement des capacités cognitives, d'apprentissage, de jugement, de mémoire et de réflexion. D'autre part, le sommeil et l'état général sont de meilleure qualité. Le stress, l'anxiété et la dépression sont amoindris. Au niveau du système endocrinien, l'activité musculaire, en particulier celle du muscle cardiaque et des muscles lisses, permet le transport des hormones. (Marieb, 2009) À propos des systèmes lymphatique et immunitaire, l'activité physique est à double tranchant. L'activité musculaire draine la lymphe. Il a été observé que le nombre de phagocyte, de lymphocyte T et d'anticorps augmente, que l'activité soit modérée ou légère. Cependant, si l'activité est trop intensive, elle augmente la concentration sanguine d'hormone de stress. Au sujet du système digestif et urinaire, l'activité physique favorise la mobilité intestinale, l'élimination au repos et la miction. Malgré un nombre conséquent d'avantages, l'activité physique détient également un effet à double tranchant sur le système tégumentaire en augmentant l'irrigation et la température de la peau. (Marieb, 2009)

ANNEXE 9 : Description du système musculaire à l'échelle macroscopique et microscopique (Cholette, 1981)

À l'échelle macroscopique du muscle, le muscle squelettique est enveloppé de gaines et de tissus conjonctifs. Ils soudent le muscle au tendon. Le tendon permet l'attache au niveau de l'os. De ce fait, ces structures servent de rempart au muscle et de passage au réseau vasculonerveux. Il existe quatre structures, de la partie externe à la partie interne. Les fascias se répandent autour des muscles ayant la même fonction. Puis, on observe l'épimysium enveloppant plusieurs faisceaux musculaires. Ensuite, on remarque la présence d'un périmysium qui recouvre chaque faisceau musculaire de manière indépendante. Et enfin, l'endomysium est le tissu le plus profond. Il entoure chaque fibre musculaire.

À l'échelle microscopique, la cellule musculaire ou myocyte ou fibre musculaire possède un diamètre de 10 à 100 microns et une longueur variable selon la localisation. Anatomiquement, on décrit l'existence de trois types de fibre musculaire :

- Les fibres de type I ou rouges sont des fibres oxydatives à contraction lente. Elles sont recrutées en premier. Elles sont de petit diamètre et peu fatigables. Elles sont riches en mitochondries, en capillaires, en myoglobines. Elles sont pauvres en glycogènes. Les fibres rouges interviennent dans les exercices d'endurance et de maintien de la posture. Les fibres de type I répondent donc à un effort aérobie.
- Les fibres de types IIa sont des fibres oxydatives à contraction rapide. D'une couleur variant entre le rose et le rouge, elles ont un diamètre moyen. Ces dernières résistent moyennement à la fatigue. Elles sont riches en mitochondries, en capillaires et en myoglobines. La concentration en glycogène est moyenne. La sollicitation de ces fibres se fait dans un second temps, lors des sprints ou de la marche. Les fibres de type IIa répondent alors à un effort aérobie et anaérobie.
- Les fibres de types IIb sont des fibres glycolytiques à contraction rapide. D'une couleur blanche, elles ont un grand diamètre. Ces dernières sont rapidement fatigables. Elles sont pauvres en mitochondries, en capillaires et en myoglobines. La concentration en glycogène est importante. Le recrutement de ces fibres se fait dans un troisième temps et durant des exercices de courte durée puissants ou intensifs et contre-résistants. De ce fait, les fibres de type IIb répondent à un effort anaérobie. Dans ce type de renforcement musculaire, on recherche un travail en force ainsi que l'augmentation de la masse musculaire et non l'endurance.

ANNEXE 10 : L'échelle de Borg modifiée (HAS, 2019)

Perception	Rien du tout	Très très facile	Très facile	Facile	Moyen	Un peu difficile	Difficile		Très difficile			Presque maximal
Cote	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Intensité		Faible			Modérée			Élevée				

ANNEXE 11 : Le processus de contraction musculaire (Marieb, 2009)

Le processus de contraction musculaire se produit en six étapes. La première étape correspond à la propagation du potentiel d'action le long du sarcolemme et des tubules T. La seconde étape est la libération du calcium Ca^{2+} présent dans les citernes terminales du réticulum sarcoplasmique. La troisième étape permet la liaison des ions calcium avec la troponine pour exposer le site de liaison de l'actine. Puis, c'est la contraction. La tête de myosine s'attache au site de liaison de l'actine et s'en détache à plusieurs reprises. Le calcium est transporté dans le réticulum sarcoplasmique. Ensuite, c'est le relâchement. La tropomyosine masque de nouveau le site de liaison de l'actine. Le myocyte se détend.