

Institut Régional de Formation aux Métiers de Rééducation et Réadaptation
des Pays de la Loire
54, Rue de la Baugerie - 44230 St Sébastien sur Loire

EFFETS D'UN RENFORCEMENT EXCENTRIQUE
SUR L'ARCHITECTURE DES MUSCLES DES MEMBRES INFÉRIEURS :
PERSPECTIVES POUR LA PRÉVENTION DES LÉSIONS MYO-APONEVROTQUES
REVUE DE LITTÉRATURE

Théo SIMON MARTI

Travail Écrit de Fin d'Études

En vue de l'obtention du Diplôme d'État de Masseur-Kinésithérapeute

Année scolaire 2016-2017

AVERTISSEMENT

Les travaux écrits de fin d'études des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont réalisés au cours de la dernière année de formation MK.

Ils réclament une lecture critique. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier Mr YLL, directeur de mémoire, m'ayant suivi et apporté son aide dans la réalisation de ce travail écrit de fin d'étude.

À la documentaliste de l'institut pour sa présence et son aide pour la recherche bibliographique.

Mon cercle d'amis pour son irréprochable bonne humeur et ses conseils avisés.

À ma famille pour son soutien lors de ces trois années d'études.

Je remercie également ma promotion pour tous ces instants de convivialité et de partage tout au long de cette formation.

Résumé

Le renforcement excentrique est devenu un moyen fréquemment utilisé dans le monde du sport pour prévenir les lésions myo-aponvrotiques (LMA), ainsi que leurs récives. Son efficacité dans la prévention a été démontrée par l'utilisation lors d'étude des « Nordic Hamstring Exercises » au niveau des muscles ischios-jambiers. Son impact au niveau architectural a révélé une augmentation de la longueur des fascicules de ces muscles.

Les autres groupes musculaires des membres inférieurs (MI) ne disposent pas pour le moment de protocoles de prévention des LMA. Pour envisager l'intérêt d'une recherche clinique de prévention des autres groupes musculaires du MI, une revue de la littérature a été conduite afin de mesurer les changements architecturaux du triceps et du quadriceps après renforcement excentrique.

Pour cela, quatre bases de données (PubMed, ScienceDirect, Google Scholar et PEDro) ont été explorées. Quatre études ont été analysées, également réparties entre le quadriceps et le triceps sural. Trois protocoles de renforcement excentrique ont révélé une augmentation de la longueur des fascicules. Il semblerait que cette modification architecturale apparaisse au bout de quatre semaines de renforcement excentrique avec des charges maximales.

Mots Clés

- Architecture
- Effet
- Excentrique
- Fascicule
- Renforcement

Abstract

Eccentric training has become a frequently used means in the world of sport to prevent myo-aponvrotic lesions (AML) as well as their recurrences. Its effectiveness in prevention has been demonstrated by the use of Nordic Hams-tring Exercises in the hamstring area. Its impact at the architectural level revealed an increase in the length of the fascicles of these muscles. Other lower limb muscle groups do not currently have LMA prevention protocols. To investigate the value of clinical preventive research in other IM muscle groups, a review of the literature was conducted to measure the architectural changes in the triceps and quadriceps after eccentric training.

To this end, four databases (PubMed, ScienceDirect, Google Scholar and PEDro) were explored. Four studies were analyzed, equally distributed between the quadriceps and the sural triceps. Three eccentric reinforcement protocols revealed an increase in the length of the fascicles. It seems that this architectural modification appears after four weeks of eccentric reinforcement with maximum loads.

Keywords

- Architectural
- Eccentric
- Effect
- Fascicule
- Training

Sommaire

1	Introduction	1
2	Cadre conceptuel	3
2.1	Données Anato-Physiologiques du muscle squelettique	3
2.2	Architecture musculaire	5
2.3	Activité musculaire excentrique et dommages musculaires	7
2.4	Les lésions myo-aponévrotiques	10
2.5	La prévention	11
3	Méthodologie	12
3.1	Démarche personnelle	12
3.2	Recherche Bibliographique	13
3.3	Inclusion/exclusion des revues de littératures	14
3.4	Procédure de sélection des études	15
4	Analyse de la littérature retenue	17
4.1	Sujets	17
4.2	Modalités d'application des différents protocoles	18
4.3	Modalités d'évaluation de la longueur des fascicules	21
4.4	Résultats des études	22
5	Discussion	24
5.1	Interprétation des résultats	24
5.2	Interet dans la pratique kiné	24
5.3	Limite des études	26
5.4	Limites de cette revue de littérature	27
6	Conclusion	28

Référence

Annexe 1 à 3

1 Introduction

Depuis ces dernières années, la pratique du sport en France est en constante augmentation (1). Cette participation plus élevée aux sports, associée à une augmentation de l'intensité, de la durée de l'entraînement ainsi qu'une spécialisation sportive précoce, ont pour conséquence un risque plus élevé de blessures sportives (2). Parmi les traumatismes liés au sport, les lésions myo-aponévrotiques (LMA) représentent entre 30% et 35% de l'ensemble (3,4) avec une prédominance aux membres inférieurs. En effet 92% des blessures affectent les quatre principaux groupes musculaires : ischio-jambiers (37%), adducteurs (23%), quadriceps (19%) et triceps sural (13%) (6). De plus selon Ekstrand et Al, 16% de ces lésions sont des rechutes dans l'année qui suit une blessure initiale et elles entraînent une plus longue période d'arrêt de l'activité sportive (3).

Fort de ce constat, il semble donc compréhensible que la prévention des lésions myo-aponévrotiques, qu'elle soit primaire, secondaire ou tertiaire, ait une place importante à prendre dans la prise en charge du masseur kinésithérapeute.

Au cours de la dernière décennie, le rôle de l'architecture musculaire dans la récurrence de lésion myo-aponévrotique a été analysée par les chercheurs. Ces études portant principalement sur les ischio-jambiers (IJ) ont démontré qu'un muscle possédant des fascicules courts est plus exposé à des LMA (5,6). De plus, un ischio-jambier atteint antérieurement par une LMA possède des longueurs de fascicules plus courtes que l'ischio-jambier contralatéral non lésé (5). Les différences de longueur des fascicules peuvent altérer la fonction musculaire. D'autre part, les muscles possédant des fascicules plus longs ont une plus grande vitesse de raccourcissement maximale par rapport à ceux avec des fascicules plus courts (7). Ce décalage de vitesse de contraction entraîne un asynchronisme entre les différentes fibres musculaires au sein même du muscle, engendrant une contrainte néfaste sur le tissu cicatriciel et augmentant ainsi son risque de récurrence (6). L'impact de la longueur des fascicules apparaît donc comme un sujet important dans la prévention primaire comme secondaire des LMA. Comme le renforcement excentrique des ischio-jambiers augmente la longueur des fascicules, l'impact architectural de cette activité musculaire semble un indicateur intéressant pour la prévention (8,9).

L'application sur le terrain de protocole de renforcement musculaire excentrique des ischio-jambiers s'est révélée efficace dans la prévention des LMA, lors de plusieurs études (3,5,10,11) qui ont été mises en place dans le milieu du football, notamment par le travail avec les « Nordic Hamstring Exercises »(11). Au vu des résultats probants de ces études, il serait opportun d'étendre la démarche préventive sur d'autres groupes musculaires, tels que les adducteurs, le quadriceps ou encore le triceps sural. Ce dernier est le groupe musculaire ayant l'un des taux de récurrences le plus élevé avec les ischio-jambiers (4). Aujourd'hui, il n'existe pourtant pas de consensus sur les stratégies de réhabilitation et de prévention sur les autres groupes musculaires du membre inférieur.

Le but de ce mémoire va être de déterminer si, comme au niveau des IJ, le renforcement excentrique modifie l'architecture musculaire du quadriceps (Q), des adducteurs (Add) et du triceps sural (TS) : existe-t-il aussi un allongement des fascicules ? Cette compréhension pourrait permettre d'envisager une stratégie de prévention des LMA par renforcement excentrique de ces groupes musculaires.

Pour cela, une synthèse de littérature a été conduite à partir de 4 bases de données (PubMed, ScienceDirect et PEDro, google scholar) afin d'étudier les effets d'un renforcement excentrique sur l'architecture musculaire du membre inférieur en dehors des ischio-jambiers.

Pour comprendre les termes importants de ce sujet, dans un premier temps, un cadre conceptuel explique l'architecture ainsi que la structure du muscle squelettique. Cela permet de mieux concevoir son importance dans la biomécanique du travail excentrique ainsi que dans les lésions myo-aponévrotiques dont le muscle est sujet. Il convient par la suite de déterminer le rôle du masseur-kinésithérapeute dans leur prévention. Enfin, Les résultats obtenus et la démarche de recherche sont justifiés pour permettre de les interpréter.

2 Cadre conceptuel

2.1 Données Anatomico-Physiologiques du muscle squelettique

Pour concevoir les actions du travail excentrique sur l'architecture musculaire, il est nécessaire de comprendre la structure du muscle squelettique et ainsi que son architecture.

2.1.1 Structure conjonctive du muscle squelettique

Le muscle se présente communément comme une organisation à trois étages, chacun étant séparé de l'autre par un tissu conjonctif de soutien :

- l'épimysium : c'est la membrane recouvrant l'ensemble du muscle, elle est composée en majorité de fibres de collagène de type I organisées par plan parallèle.
- les périmysiums : tout comme l'épimysium, le collagène de type I domine. Ils séparent les endomysiums. Entre les périmysiums, des vaisseaux sanguins apportent les matières nécessaires à la production d'énergie utilisée pour la contraction.
- les endomysiums : principalement constitués de collagène de type IV, ils contiennent les fibres musculaires et sur lesquels se trouvent les jonctions neuromusculaires.

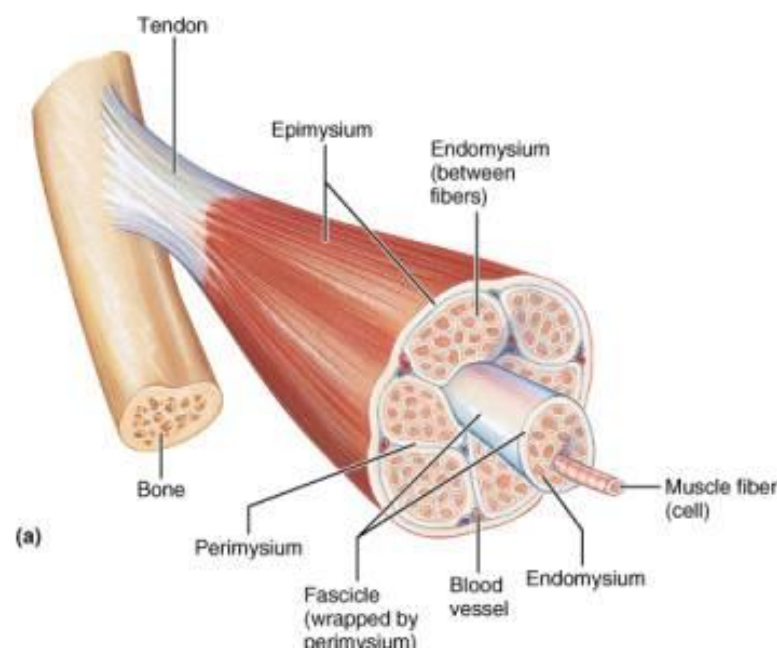


Figure 1 : représentation schématique des composants d'un muscle squelettique (référence¹)

¹ http://faculty.etsu.edu/forsman/Histology%20of%20musclefor%20web_files/image011.jpg

En réalité, ces tissus conjonctifs de soutien s'entremêlent. Le périmysium se confond à la surface du muscle avec l'épimysium pour devenir un des composants du tendon à l'extrémité du muscle. Dans l'intimité du muscle, le périmysium a une organisation précise de ces faisceaux de fibres de collagène. Elles croisent les fibres musculaires selon un angle d'environ 60° en formant des nappes conjonctives plus ou moins continues qui délimitent des cylindres dans lesquels se situent les faisceaux de fibres musculaires. Par ailleurs, des fibres de collagène issues du périmysium se ramifient tout au long de la fibre musculaire. Au niveau de ces zones de jonction appelées Perimysial Junctional Plates (PJP), le collagène se fixe sur le sarcolème de deux fibres musculaires, où il a été retrouvé des regroupements de mitochondries et de noyau aussi appelées « cellules satellites ». L'endomysium vient se fixer, par ces fibres de collagène, sur des protéines transmembranaires (les plus abondantes étant les intégrines). Ces dernières sont ensuite reliées aux protéines du cytosquelette des fibres musculaires.(12)

Les muscles apparaissent alors comme un ensemble de fibres musculaires étroitement logé dans une charpente conjonctive, d'où son importance dans les lésions myo-aponévrotiques.

2.1.2 Structure de l'unité contractile du muscle squelettique

Les fibres musculaires sont des cellules allongées et cylindriques d'un diamètre de 10 à 100 micromètre et d'une longueur de 1 à 40 mm (en fonction de leur localisation). Elles sont constituées de myofibrilles et présentent une organisation très complexe. (13) Ces myofibrilles sont composées d'une continuité de sarcomère délimité par la strie Z.

Le sarcomère est composé de :

- De filaments fins constitués de protéines d'actine (20 à 25 % des protéines musculaires), de tropomyosine et de troponine.
- De filaments épais constitués de protéines de myosine (environ 50 % des protéines musculaires). Ces têtes des molécules de myosine comportent des sites de liaison de l'actine et contiennent également des sites de liaison de l'ATP et des enzymes ATPases qui dissocient l'ATP, permettant les cycles de contraction/décontraction musculaire.

Ces filaments sont maintenus grâce à de nombreuses autres protéines sarcomériques structurales :

- Cap-Z : relie les filaments d'actine à la strie Z délimitant le sarcomère
- Alpha-actinine : relie les filaments fins entre eux et permet le maintien du sarcomère
- nébuline : stabilisation des filaments fins entre eux
- myoméline : participe au maintien des filaments épais de myosine

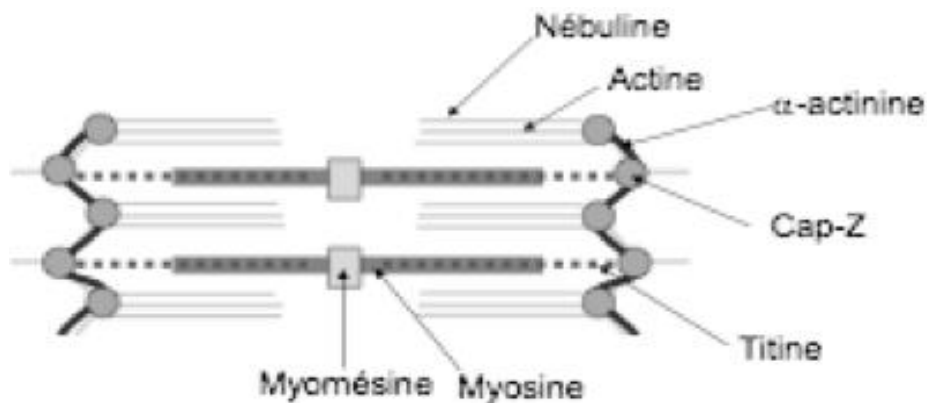


Figure 2 : Schéma représentant les différentes protéines sarcomériques structurales.

La protéine qui va nous intéresser le plus est la Titine. Elle s'étend sur un demi-sarcomère inséré dans une bande Z à la ligne M. Véritable agrafe, elle relie les filaments épais de myosine à la strie Z, c'est un composant élastique. Elle permet le maintien l'alignement des filaments épais et évite l'étirement excessif du sarcomère.

Ces protéines permettent la mise en place et le maintien des fibres musculaires. Elles assurent la structure de l'unité musculaire. Ces fibres musculaires rejoignent le tissu conjonctif grâce aux protéines de liaison sarcomériques vu précédemment.

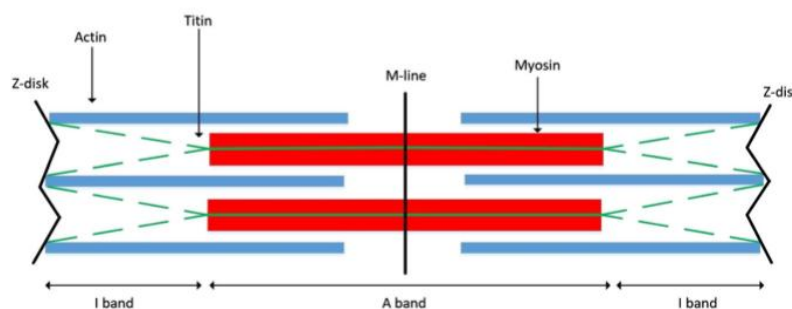


Figure 3 : représentation schématique d'un sarcomère et de la place de la Titine (14)

2.2 Architecture musculaire

Les travaux de Lieber and al (7,15) ont permis de déterminer les caractéristiques architecturales du muscle. La "cross-sectional area" ou aire de section (CSA) peut être définie comme l'aire de section anatomique qui est perpendiculaire aux aponévroses (ASCA : flèche A) ou l'aire de section physiologique, perpendiculaire aux fascicules (PCSA : flèche B). L'angle de pennation, également appelé angle des fascicules équivaut à l'angle des faisceaux musculaires par rapport à l'aponévrose du tendon terminal (θ). La longueur du fascicule est

définie comme la longueur parcourue par la fibre musculaire entre l'aponévrose et le tendon. C'est cette unité qui va nous intéresser particulièrement dans ce mémoire. L'épaisseur du muscle correspond à la distance entre l'aponévrose superficielle et profonde. Le volume du muscle est le produit de la longueur du fascicule et de l'ACSA du tissu squelettique situé dans l'épimysium.

Chaque composante de l'architecture dispose d'un lien direct avec les autres composantes. En effet, Le PCSA est la somme du CSA de tous les fascicules dans le muscle et est influencé par l'angle de pennation, lui-même influencé par l'épaisseur et la longueur des fascicules. (6) La modification de l'un de ces paramètres entraîne donc un changement dans la biomécanique de la contraction du muscle comme nous l'avons vu, un muscle ayant des fascicules plus long dispose d'une plus grande vitesse de raccourcissement maximale.

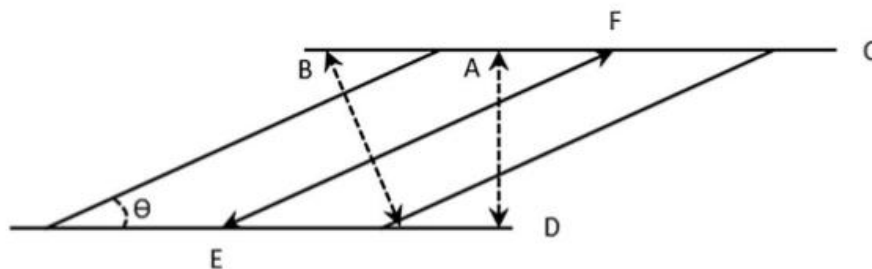


Figure 4: schéma des caractéristiques de l'architecture du muscle¹

Légende :

- Aire de section anatomique (ACSA-A)
- Aire de section physiologique (PCSA-B)
- Angle de pennation (O)
- Aponévrose superficielle (C) aponévrose intermédiaire (D)
- Longueur du fascicule (distance entre E et F)

¹ Schéma tiré de :

Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness

Br J Sports Med

2.2.1 Architecture et risque de récurrence

Une LMA va modifier l'architecture du muscle. Tout d'abord, il est intéressant de noter qu'un muscle atteint antérieurement par une blessure possède des longueurs de fascicules plus courtes et des angles de pennation plus élevés que le muscle non lésé. (8) Les résultats que

donneront les recherches de cette revue de littérature pourraient également avoir un intérêt dans leurs prises en charge. Les différences de longueur des fascicules peuvent altérer la fonction musculaire, les fascicules plus longs ont une plus grande vitesse de raccourcissement maximale par rapport à ceux avec des fascicules plus courts. Ce décalage entraîne des tensions sur le tissu cicatriciel produit après une LMA antérieur. De plus, le site d'une précédente blessure a une rigidité plus élevée que du tissu normal. Ce déficit d'élasticité associé à ces tensions en cisaillement augmente le risque de répétition de lésion. (16,17)

2.2.2 Propriété du muscle squelettique

En reprenant le modèle de Hill, Shorten (18) identifie le muscle comme étant formé de trois composantes (Fig. 1). La composante contractile, qu'est le sarcomère avec les ponts d'actine-myosine (CC) disposant d'une capacité d'étirement de 130 % (19). Les composantes élastiques ont été divisées selon leur disposition au sein de la structure et présente une extensibilité de 5 à 30% (19). La composante élastique en parallèle (CEP) correspondant à la tension de repos du muscle non stimulé et la composante élastique en série (CES) correspondent aux structures passives (tissus conjonctifs).

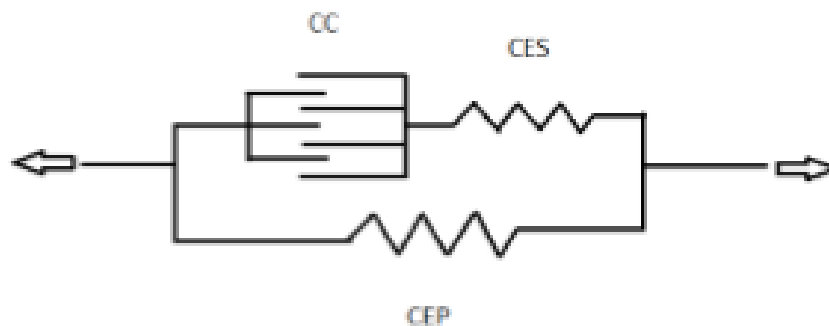


Figure 5 : Modélisation des composantes du muscle strié squelettique, d'après Shorten. (18)

2.3 Activité musculaire excentrique et dommages musculaires

2.3.1 Définition de la contraction excentrique

Le travail excentrique est défini par l'association de la contraction et de l'étirement du complexe musculo tendineux (20). Il est également appelé travail freinateur car il s'oppose au travail concentrique qui est le mode de contraction utilisé pour la réalisation d'un geste ou d'un mouvement. (21). Cette contraction a pour but de lutter contre une force, qu'elle soit de la simple gravité, au freinage de la contraction des antagonistes jusqu'à une force supra maximale. Dans ce dernier cas, cela signifie que la force appliquée sur le muscle dépasse la

force momentanée produite par le muscle lui-même et se traduit par une action d'allongement forcé associée à une contraction de ses fibres musculaires.

2.3.2 Caractéristiques de la contraction excentrique

Lors d'une contraction excentrique, le développement de la force croît avec la vitesse du mouvement à l'inverse d'une contraction concentrique. De plus, le couple de force maximal développé en excentrique est également supérieur. Il peut atteindre jusqu'à 180% du couple de force produit par une contraction concentrique ou isométrique(22). L'énergie mécanique absorbée lors du travail excentrique par les composantes élastiques CES et CEP peut être dissipée sous forme de chaleur, ou être récupérée et additionnée à une production de force active durant une action concentrique consécutive(14,18). Dans ce dernier mode, le système muscle-tendon fonctionne comme un ressort lorsque le muscle actif s'allonge avant le raccourcissement ultérieur. Le couplage des actions excentriques avec des contractions concentriques est appelé cycle de stretch shortening cycle (SSC) ou contraction pliométrique (étirement/raccourcissement). C'est un phénomène omniprésent dans la production de mouvements efficaces (14).

2.3.3 Hypothèse de la biomécanique de la contraction excentrique.

Au cours de la contraction musculaire concentrique, les filaments actine et myosine restent à une longueur constante et une modification de longueur de fibre est obtenue par un changement de chevauchement entre ces deux unités dans un mouvement de glissement(23). C'est la théorie des filaments glissants de la contraction musculaire(13,23). La force motrice du mouvement de glissement est générée par des ponts transversaux de myosine où les deux filaments se chevauchent. Les têtes de myosine interagissent à plusieurs reprises avec des sites de liaison sur l'actine, chaque contact contribuant à la force développée. Ce processus explique efficacement les actions musculaires concentriques et isométriques (13). Lorsque la force appliquée est suffisante pour surmonter la charge externe, le muscle peut se raccourcir avec des filaments fins qui glissent vers le centre des filaments épais. Avec une vitesse croissante, ce processus diminue le temps d'exposition des têtes de myosine aux sites de liaison de l'actine, et réduit ainsi le nombre de ponts croisés qui peuvent être formés (c'est-à-dire une relation force-vitesse). Malheureusement, la théorie des filaments glissants est insuffisante pour expliquer la production d'une force plus importante lors de l'allongement actif. En effet, la relation force-vitesse de la contraction excentrique est l'inverse d'une contraction concentrique et des études sur ergomètre ont également démontré qu'un effort en excentrique ne nécessite qu'une faible consommation d'oxygène, 4 à 5 fois moins qu'en

concentrique. Cela s'explique par le moindre recrutement d'unité motrice, objectivé par électromyographie et par la rupture dite mécanique des ponts d'actine/myosine engendrée par la force d'étirement, qui ne consomme alors pas d'ATP(14,21). La théorie ne suffit donc pas.

Il existe d'autres mécanismes qui permettent d'expliquer une amélioration de la force durant une contraction excentrique. L'énergie, restituée lors d'une contraction concentrique consécutive, est emmagasinée dans les éléments structurels passifs présent dans le sarcomère (vu précédemment), et en particulier grâce à la protéine structurale titine qui est une composante structurelle importante du cytosquelette musculaire. Elle a des propriétés ressemblant à un ressort dans la région de la bande I, qui semblerait être un facteur clé de l'augmentation de la force résiduelle avec une contraction excentrique(24). La force passive de la titine est directement liée à la longueur de la fibre musculaire et des sarcomères qui le compose. Elle est parallèle aux forces des ponts d'actine-myosine et est renforcée lorsque le nombre des ponts diminue et donc que la somme de force devient faibles (13,24,25) . Cette théorie autour de la protéine titine est probablement celle qui correspond le plus aux observations lors des recherches, mais il reste encore une part inexpliquée des phénomènes impliqués dans les contractions excentriques. D'avantage de recherche est nécessaire pour éclaircir ces mécanismes.

2.3.4 Travail excentrique et dommages musculaires

Le fait que le régime excentrique permet d'imposer au complexe musculo-aponévrotique une contrainte supra-maximale entraîne des fortes tensions(24). Cette sollicitation sur les composants passifs d'une contraction excentrique a certains effets néfastes et peut entraîner des microlésions sur l'organisation du sarcomère caractérisées par des désorganisations de son architecture. En effet la titine, étant fortement impliqué dans la contraction excentrique, peut être lésé se qui explique la déstructuration du sarcomère.(24) Ces micro-lésions sont suivies par un processus inflammatoire responsable de l'apparition de douleur musculaire à retardement (« delayed onset musculair soreness ou DOMS), communément appelé « courbature »(14,22). Les DOMS surviennent dans les 12 à 48h avec un pic douloureux entre 24 et 72h. pendant cette période, la force musculaire est altérée de -10% à -60% selon les études et les amplitudes articulaires diminuées en course externe(22). Le travail excentrique peut être un travail délétère pour le muscle, c'est pourquoi il est critiqué dans la littérature lors de renforcement musculaire.

2.4 Les lésions myo-aponévrotiques

2.4.1 Définition

Comme expliqué précédemment, le muscle est composé de 2 éléments histologiques, les fibres musculaires et un important squelette conjonctif (épimisium, périmisium, endomisium). Ces deux composants ne disposant pas de la même capacité d'extensibilité (19), la jonction entre les fibres musculaires et sa propre enveloppe aponévrotique (endomisium et périnisium) aussi appelé jonction myo-aponévrotique sont le siège de rupture. Les lésions myo-aponévrotiques peuvent être de plusieurs origines :

Progressive : Les douleurs peuvent survenir de façon progressive pendant, à l'arrêt ou après la pratique sportive. Ces douleurs musculaires d'apparition (DOMS) sont les conséquences d'un travail excentrique intense ou inhabituel.

Traumatique:

- Extrinsic : correspondant à un choc externe dans le corps musculaire avec écrasement des fibres musculaires. Ce type de lésion est souvent accompagné d'un épanchement qui forme un hématome (image de la béquille). elle représente 10 % des lésions myo-aponévrotiques.
- Intrinsic : correspond à une lésion des fibres musculaires et/ou de l'enveloppe aponévrotique dû à sa propre fonction, représente 90 % des lésions myo-aponévrotiques.(26)

Lors de ce mémoire, nous aborderons seulement les lésions myo-aponévrotiques intrinsèques puisqu'une lésion extrinsèque est indépendante de l'architecture musculaire.

2.4.2 Mécanisme de la LMA intrinsèque

Il a été démontré qu'il existe deux modes d'apparitions d'une LMA :

Le travail excentrique comme vu précédemment dans les DOMS, peut également entraîner une déstructuration plus importante du cytosquelette du sarcomère et provoquer des LMA.

L'overstretching est caractérisé par un étirement rapide du complexe musculo-aponévrotique. Ce dernier est composé de deux éléments n'ayant ni le même coefficient de viscoélasticité et ni le même seuil de résistance à l'allongement. Comme il a été expliqué dans le schéma de Hill, les composants conjonctifs disposent d'une capacité d'étirement moindre. En conclusion, un allongement dépassant ces capacités entraînera une rupture au niveau du point de fragilité du complexe et donc une rupture de la jonction myo-aponévrotique. (18)

2.4.3 Classification

Il existe à ce jour plusieurs classifications des lésions intrinsèques musculaires en fonction de la modalité de l'évaluation et des auteurs mais dans le langage courant, ce sont les termes abstraits de contracture, élongation, claquage, déchirure, rupture totale, de la classification d'Andrivet (1968) qui sont majoritairement utilisés.

La classification anatomo-clinique en 5 stades de Rodineau- Durey s'intéresse au degré d'atteinte des fibres musculaires et du tissu conjonctif. Ces derniers correspondent à la classification en imagerie (échographie/IRM) de Brasseur-Renoux. Mais ces classifications se basent sur les signes histologiques et sont souvent en décalage avec les signes cliniques (27).

Selon Guillodo, (28). la classification la plus adaptée à la pratique clinique est celle de Levine et al. en deux groupes(29). Cette classification différencie les lésions musculaires mineures (arrêt du sport inférieur à 40 jours) et majeures (arrêt supérieur à 40 jours). A l'inverse des classifications précédentes, elle se base uniquement sur l'examen clinique sans prendre en compte les signes histologiques.

Pour pallier ce manque de corrélation et afin de créer une terminologie plus uniforme des blessures musculaires, des experts en pathologies sportives se sont rencontrés lors du consensus de Munich d'octobre 2012. Lors de cette rencontre, il en est ressorti une classification claire prenant en compte les aspects fonctionnels et structurels d'une lésion myo-aponévrotique. Ils se sont basés sur leurs expériences cliniques afin de fonder cette comparabilité des lésions. Cette nouvelle terminologie a d'ailleurs été approuvée par le Comité International Olympique (CIO) et l'UEFA. C'est à ce jour, la classification internationale adoptée par les professionnels. Elle a l'avantage d'aborder tous les aspects de la pathologie, symptômes, signes cliniques et signes à l'imagerie(30).

2.5 La prévention

2.5.1 Définition de la prévention

Le Larousse définit la prévention « comme un ensemble de moyens médicaux et médico-sociaux mis en œuvre pour empêcher l'apparition, l'aggravation ou l'extension des maladies, ou leurs conséquences à long terme. » (31)

La Haute Autorité de Santé précise que la prévention est classiquement séparée en 3 phases. Il faut distinguer la prévention primaire qui désigne l'ensemble des actes destinés à diminuer l'incidence d'une maladie ou d'un problème de santé, donc à réduire l'apparition des nouveaux

cas dans une population saine par la diminution des causes et des facteurs de risque. ». Cette prévention primaire est synonyme de prophylaxie.

La prévention secondaire est considérée par l'OMS comme un ensemble de mesures destinées à prévenir de futures complications et séquelles, pouvant limiter les incapacités. Elle permet de réduire la durée et la gravité d'évolution de l'état pathologique.

La prévention tertiaire s'appuie sur la connaissance des causes et des conséquences des pathologies. Elle comprend tous les actes destinés à diminuer la prévalence des récurrences dans une population.

2.6.2 Le rôle du kinésithérapeute dans la prévention

Dans l'article L4321-1 du Code de santé publique « La pratique de la masso-kinésithérapie comporte la promotion de la santé, la prévention, le diagnostic kinésithérapeute et le traitement des troubles du mouvement ou de la motricité de la personne, des déficiences ou altérations des capacités fonctionnelles.» (32)

A ce titre, le masseur kinésithérapeute, lors de sa prise en charge, agit dans le but de prévenir de futures complications et séquelles, engendrant des incapacités. C'est de la prévention secondaire. Il agit également lors de la prévention tertiaire, où il cherche à favoriser le retour à un état stable sans risques de récurrences. Il dispose pour cela, d'un panel d'outils qui est explicité dans le référentiel de compétence de la profession. (33)

3 Méthodologie

3.1 Démarche personnelle

Lors du stage de deuxième année dans un cabinet libéral associé à un club professionnel de Handball, nous avons été confrontés à plusieurs lésions myo aponévrotiques dont la plupart étaient des récurrences. Les groupes musculaires en question étaient principalement les ischio-jambiers et le triceps sural. Pour les lésions des ischio-jambiers, une fois que le délai de cicatrisation le permettait, un protocole excentrique était appliqué en s'appuyant sur des écrits scientifiques qui prouvaient son efficacité dans la prévention de nouvelle lésion. Cependant aucun protocole n'était fixé sur le traitement des lésions myo-aponévrotiques des autres groupes musculaires des membres inférieurs.

Notre questionnement professionnel de base est le suivant:

Comment prévenir les récurrences des lésions myo-aponévrotiques des autres muscles du membre inférieur. Nous tenions à faire nos recherches sur d'autres groupes musculaires que les ischio-jambiers car il existe justement peu de littérature.

Notre raisonnement est le suivant:

Sachant qu'il existe des protocoles de prévention validés des blessures par renforcement excentrique des ischio-jambiers et que d'autres études montrent qu'un renforcement excentrique a des effets au niveau architectural de ce muscle (avec une augmentation des longueurs des fascicules en particulier). Notre but était de trouver des études portant sur les autres groupes musculaires afin de voir si une modification architecturale semblable à celle des ischio-jambier avait lieu et ainsi proposer un protocole excentrique expérimental visant lui aussi à réduire le risque des lésions.

3.2 Recherche Bibliographique

Dans le but de répondre de façon rigoureuse à la problématique, il a fallu dans un premier temps définir les mots clés du sujet. Pour cela nous nous sommes basés sur le modèle PICO (P : patient ou problématique médicale ; I : intervention évaluée ; C : comparateur ; O événement mesuré). Dans l'optique d'étendre les recherches dans les données internationales il a fallu que nous traduisions les mots clés sélectionnés en anglais. C'est pourquoi le site MeSH (Medical Subject Headings) a été utilisé pour la traduction et l'arborescence de ces derniers. Nous avons donc obtenu les mots clefs suivants : pour la région du corps à examiner: muscle *limb/muscle*. Pour le traitement: '*eccentric exercise*', '*eccentric training*', '*eccentric contraction*', '*lengthening contraction*', '*negative work*' et enfin *architectural / adaptation/ fascicle* pour le critère à évaluer. Au vu du nombre exponentiel de publications sur le travail excentrique², il a fallu organiser les termes entre eux à l'aide des opérateurs booléens³ afin de questionner les moteurs de recherche suivants : Pubmed, PEDro, Sciencedirect, Google Scholar. De plus un filtre commun a été appliqué sélectionnant uniquement les articles datant de moins de 10 ans.

² (10945 depuis 1971, 672 rien que 2016 sur pubmed)

³ (ET/ OU ; AND/OR ; - pour exclure de la recherche),

Pour Pubmed : (limb) and (eccentric) and (training) and (architecture OR adaptation OR fascicle) : 46 résultats

Pour PEDro : muscle architecture eccentric training : 3 résultats

Pour Sciencedirect : muscle architecture eccentric training fascicle : 96 résultats

Pour Google Scholar (muscle or limb) and (architecture or fascicle) and (eccentric training) -hamstring – biceps : 203 résultats en mettant comme critère les articles depuis 2013.

Au total, 348 revues ont été trouvées sur les moteurs de recherche sur l'ensemble des articles disponibles.

3.3 Inclusion/exclusion des revues de littératures

Les critères d'inclusions des revues retenues, suivant l'utilisation du modèle PICO sont :

- Traiter de des effets à long terme d'un renforcement excentrique : durée supérieure à 4 semaines
- Sur l'architecture musculaire des muscles des membres inférieurs : longueur des fascicules
- Une population saine : absence de pathologie traumatique précédant l'intervention ou de maladie neurologique.
- Les participants sont majeurs et âgés de moins de 30 ans correspondant à une population sportive active.
- Publication en langues anglaise ou française.

Les articles ont été exclus si les critères susmentionnés n'étaient pas remplis :

- L'entraînement était inférieur à 4 semaines et la longueur des fascicules musculaires n'était pas étudiée.
- Sujets ayant des pathologies récentes du muscle étudié, ou avec une pathologie neurologique.
- Muscles n'étant pas des muscles des membres inférieurs ou étant les ischios jambiers
- Publication concernant une population pédiatrique ou ayant un âge supérieur à 30 ans
- Les publications hors français et anglais

3.3.1 La variable architecturale mesurée

La variable qui a été choisie dans ce mémoire est la longueur des fascicules musculaires. Il existe pourtant d'autres paramètres caractérisant l'architecture du muscle. Cependant, la validité de ce paramètre a été prouvée dans la littérature comme facteur influençant la lésion myo-aponévrotique. En effet, des études s'accordent à dire qu'un muscle possédant des fascicules courts est plus exposé à des LMA (5,6,8). Il semble donc intéressant d'aller explorer les modifications de ce paramètre au sein d'autre muscle des membres inférieurs après un renforcement excentrique.

3.4 Procédure de sélection des études

Suite à une première lecture des titres, une sélection a éliminé 186 doublons. Ensuite à la lecture des résumés des articles restants, une seconde sélection a permis d'écarter les articles qui ne comportaient pas les critères d'inclusions mentionnés précédemment. 28 revues ont été éliminées car la population était atteinte de pathologie neurologique ou de lésion myo-aponévrotique actuelle ou antérieure du groupe musculaire évalué et 13 car les sujets étaient soit mineurs soit âgés de plus de 30 ans. 60 articles ont été écartés car le groupe musculaire étudié ne faisait pas parti du membre inférieur ou était les ischio-jambiers. 33 n'étudiaient pas la longueur des fascicules musculaires. 14 revues étudiaient les effets d'une contraction excentrique immédiate ou disposaient d'un protocole de renforcement inférieur à 4 semaines. Et enfin 9 articles n'étaient ni anglophone ni/francophone et ont donc été écartés.

Ainsi, La lecture du corps des études a permis de confronter les écrits sélectionnés avec les critères PICOS. Cette sélection a permis de conserver n= 4 publications. Vous retrouverez l'organigramme de sélection des articles à la page suivante.

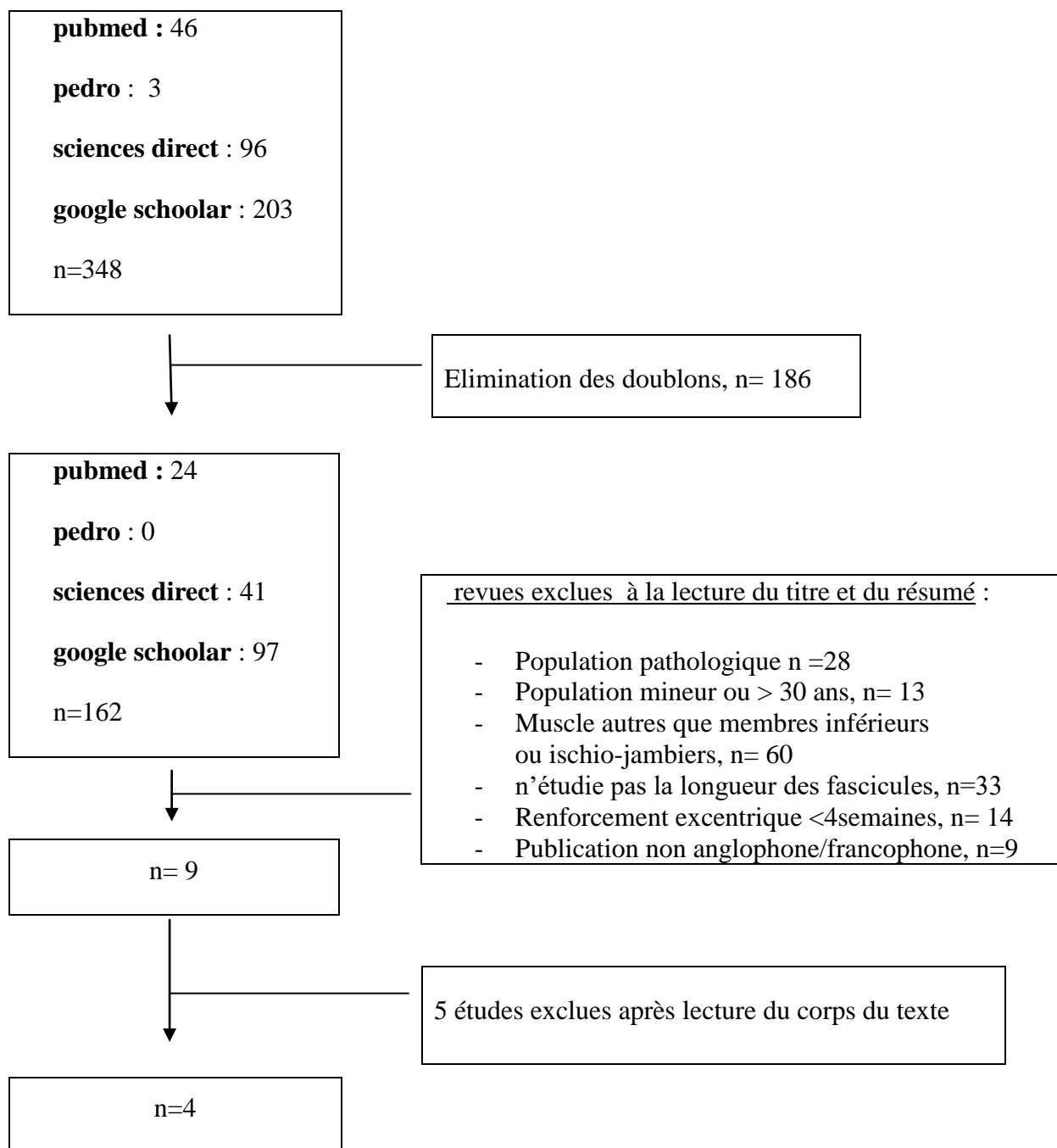


Figure 6 : Organigramme de la procédure de sélection des études

L'examen des articles, par une grille validant la méthodologie, est essentiel lors de l'analyse de la littérature scientifique. Afin de déterminer la qualité méthodologique des études incluses, chaque étude restante a été évaluée avec l'échelle PEDro. Cette grille est un indicateur du niveau de validité d'une étude contrôlée randomisée. Une explication de cette grille se situe en annexe 2. Selon Maher (34), un score PEDro inférieur ou égal à 3 révèle d'une faible

qualité méthodologique. Un score entre 4 et 5 témoigne d'une bonne méthodologie, et d'une haute qualité quand ce score est supérieur à 5.

La grille d'évaluation PEDro de chaque étude sélectionnée se trouve également en annexe 2. On remarquera que la majorité des études est considérée comme étant de haute qualité méthodologique avec des scores de 7 pour l'étude de Blazevich and al, 9 pour Fouré and al et 9 pour Duclay and al. Seule l'étude longitudinale de Baroni reçoit un score de 4 correspondant à une bonne méthodologie.

Cependant il faut bien prendre en compte que l'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. C'est un outil de mesure de la validité de la méthodologie seulement.

4 Analyse de la littérature retenue

Au final seulement 4 études correspondent aux critères préétablis dans les critères d'inclusion. Deux études présentent un protocole de renforcement excentrique au niveau du quadriceps (35,36) et un même nombre traite d'un renforcement au niveau du triceps sural (20,37). Bien que plusieurs de ces études mesurent en plus d'autres paramètres architecturaux, seules les modifications de la longueur des fascicules seront étudiées.

Dans cette analyse, nous débuterons par étudier les caractéristiques des études sélectionnées en commençant par les critères d'inclusions et d'exclusions des sujets. Ensuite nous allons comparer les différences entre les modalités d'application de chaque protocole, charge de travail, durée répétition, position. Nous séparerons, bien évidemment, les études en fonction des groupes musculaires ciblés, pour une meilleure compréhension des protocoles.

4.1 Sujets

Au total 95 sujets sont réunis dans cette revue de littérature. Les critères d'inclusions des sujets sont semblables dans ces 4 études. Tous les sujets sont âgés entre 20 et 26 ans et n'ont pas subi de lésions tendineuses, ligamentaires ou musculaires sur le membre inférieur étudié. Les sujets ne sont pas en aveugle. Ceci est légitime lors d'application de n'importe quel type de protocole de renforcement. Tous les sujets ont été pleinement informés de la nature et du but de l'étude dans laquelle ils appartiennent (19). Toutes les procédures utilisées dans les différentes études étaient conformes à la déclaration d'Helsinki régissant les principes éthiques d'une étude.

Pour assurer des résultats fiables, la totalité des participants ont été conviés à ne pas participer à une autre étude de renforcement durant la durée des protocoles. Baroni and al ont étendu cette précaution à 6 mois avant le début du programme. Duclay and al, quant à eux ont élargi à 12 mois. En revanche, dans l'étude de Fouré and al (38), les auteurs n'ont pas jugé nécessaire que les sujets arrêtent leurs pratiques sportives régulières [8,8 (6,5) h/semaine] durant la période de l'étude.

4.2 Modalités d'application des différents protocoles

Les modalités du protocole de renforcement excentrique ne sont pas les mêmes en fonction, des différents groupes musculaires ciblés et en fonction des études. Un tableau récapitulatif des études se trouve sur la page suivante. Il décrit, entre autre le groupe musculaire ciblé, la durée du protocole, le nombre de session, le nombre de répétition par session, la durée de chaque exercice, l'intervention réalisée et son intensité ainsi que le positionnement des sujets et de la vitesse angulaire du mouvement demandé.

Il est important de regarder la durée des protocoles ainsi que la résistance appliquée à chaque contraction excentrique car ce sont des paramètres qui auront leur importance lors de l'analyse des résultats de ces études.

Dans les parties suivantes, il convient de décrire plus précisément la position des sujets afin de déterminer les modalités d'application de la contraction excentrique en fonction des groupes musculaires.

Etude	Muscle Concerné	Durée (semaine)	Nombre total de sessions	Répétition par session	Durée de chaque exercice(s)	Intensité	intervention	Angulation articulaire	Vitesse angulaire
Blazevich and al	Vaste latéral	10	30	Progression de 6/4 à 6/5 à 6/6	3s	1)100% 2)100%	1) excentrique dynamométrie 2) concentrique dynamométrie	1) Hanche 90° Genou extension max → 100° 2) Hanche 90° Genou 100° → extension max	30° / s
Duclay and al	Gastrocnémien médial	7	18	6/6	3s (deux exercices)	120% CIRM	Excentrique dynamométrique	Hanche 180° Genou 0° Amplitude mouvement de cheville 50-60°	15-20°/s
Baroni and al	Vaste latéral Droit fémoral	12	21	10	1s	100%	Excentrique dynamométrie	Hanche 85° Genou 30° → 90°	60°/s
Fouré and al	Gastrocnémien Médial Gastrocnémien latéral soléaire	14	34	15	6s	Poids de corps Hauteur de calle : 35cm → 50cm → 60cm	Protocole d'Alfredson : Excentrique (chute de talon)	Sujet vertical Poids du corps sur avant-pied Point de départ en flexion plantaire	Amplitude total en 6 s

Tableau 1 : modalités d'application des protocoles de ce mémoire

4.2.1 Modalités d'application de la contraction excentrique du quadriceps

Dans leur étude Blazevidich and al, les sujets ont effectué quatre séries d'extension du genou de six répétitions excentriques sur un dynamomètre isocinétique (Biodex system 3, Biodex Medical Systems); quatre fois durant les trois premières semaines, cinq de la semaine 4 à 7, et six de la semaine 8 à 10. Dans les trois premières sessions, les sujets ont exercé à 50%, 70%, puis 90% de leur maximum établi au préalable pour minimiser les dommages musculaires résultant d'exercices et de charges inhabituelles. Au moins 1 jour sépare chaque session. Les sujets ont effectué une petite contraction d'extension du genou pour déplacer la jambe à une position de 10-15 ° avant de résister au mouvement de descente du bras de levier du dynamomètre et ainsi réaliser un travail excentrique du quadriceps.

Dans l'essai clinique longitudinal de Baroni and al, les sujets ont effectué des contractions excentriques en étant positionnés dans une chaise de dynamométrie semblable à celle de l'étude de Blazevidich and al, avec 85 ° de flexion de la hanche et 90 ° de flexion du genou. Avant chaque contraction excentrique, le membre était passivement étendu à 30 ° de flexion du genou. Les sujets ont été encouragés à effectuer une contraction maximale de l'extenseur du genou dès que le bras dynamomètre a atteint cette position. En réponse à cette contraction, le dynamomètre a entraîné le segment à 90 ° de flexion du genou (amplitude de mouvement = 60°) à une vitesse angulaire de 60°.s-1. Par conséquent, chaque contraction excentrique a duré 1 s, suivie de 1 s de repos au cours de laquelle le membre a été passivement étendu.

4.2.2 Modalités d'application de la contraction excentrique du triceps sural

Lors de l'étude de Duclay and al, les sujets réalisaient deux renforcements excentriques différents. Chaque semaine, une séance de renforcement a été réalisée en position assise avec un angle de 90° aux articulations du genou et de hanche sur une machine à mollet (type MultiForm,), avec la charge remise à la position initiale par le chercheur à la fin de chaque action excentrique. Les deux autres séances de renforcement ont été effectuées sur une presse à jambes. La charge étant renvoyée à la position initiale par un vérin pneumatique (Presse Conex Multi-Form), le sujet réalise un travail excentrique sans la phase concentrique. Au cours de cet exercice, les sujets étaient en décubitus dorsal (angle de 180 ° au niveau de l'articulation de la hanche et en extension de genou). Seule l'extrémité supérieure du pied touchait une plaque de pied verticale permettant la flexion de la cheville. L'amplitude de mouvement variait de 50° à 60°, ce qui correspondait à une vitesse angulaire moyenne de 15°-20° / s. Un repos de 3 minutes a été autorisé entre chaque exercice. La charge d'entraînement était de six séries de six contractions excentriques à 120% d'une répétition concentrique

maximale. Pour chaque exercice, la charge d'entraînement a été déterminée chaque semaine au début de la première séance.

A l'inverse des études précédentes, Fouré and al n'utilise pas de machine dynamométrique. Le programme de renforcement excentrique était basé sur différents types d'exercices. Plus précisément, les sujets ont effectué la contraction excentrique des muscles fléchisseurs plantaires avec la jambe complètement tendue comme décrit dans le protocole d'Alfredson et al (39) en réalisant des descendantes d'une boîte de différentes hauteurs [c'est-à-dire à faible (35 cm), moyenne (50 cm) ou haute (65 cm) de hauteur] effectuée sur un ou sur les deux pieds. Le niveau d'intensité a été augmenté par une élévation du nombre de répétition par exercice, ainsi que par une augmentation de la hauteur de la cale. Le retour à la position initiale se faisait avec la jambe controlatérale.

4.3 Modalités d'évaluation de la longueur des fascicules

Les mesures de l'architecture des muscles ont été établies en utilisant l'échographie pour l'ensemble des études sélectionnées. En revanche il existe des variables sur la temporalité des mesures en fonction des études.

Les sujets de l'étude de DUCLAY & al ont été testés au départ (PRE) et 3-4 jours après la dernière séance d'entraînement excentrique (pendant la huitième semaine) (POST). Les mesures des fascicules du gastrocnémien médial ont été réalisées avec le sujet couché sur un banc d'essai avec l'articulation du genou à pleine extension et l'articulation de la cheville à 90°.

FOURE & al ont placé le sujet en flexion de genou et de cheville à 90°. Les mesures ont été faites avant le programme de renforcement afin d'obtenir des mesures de référence, puis au terme du protocole de renforcement, c'est-à-dire 14 semaines après la première séance.

Dans celle de BARONI, les sujets ont été évalués 5 fois au cours de l'étude pour évaluer les paramètres architecturaux du Rectus Fémoris et Vaste Latéral. Au cours des 4 premières semaines de l'étude, les volontaires ont été soumis à une première évaluation (dite de référence) puis à une période de contrôle sans renforcement et enfin à une deuxième évaluation (dite de pré-entraînement). Après la deuxième évaluation, les sujets ont lancé le programme de formation excentrique de 12 semaines. Des évaluations supplémentaires ont été effectuées à une période d'intervalle de 4 semaines soit après 4 (post-4), 8 (post-8) et 12 semaines (post-12) d'entraînement. Les sujets ont été évalués en position couchée avec les jambes complètement tendues et les muscles au repos.

BLAZEVICH & al, quant à eux, ont mesuré la longueur des fascicules avant le début du protocole de renforcement, puis 5 semaines et 10 semaines après la 1^{ère} séance. Tout comme l'étude de BARONI and al, les sujets étaient allongés et les jambes en rectitude lors de la mesure

Dans les études de BARONI et DUCLAY, il a été précisé que les sujets ne se sont pas engagés dans une activité physique vigoureuse 48 heures avant les mesures. En effet il a été vu auparavant que la contraction excentrique peut induire des DOMS, ce qui pourrait affecter les mesures.

4.4 Résultats des études

Dans l'étude de BARONI, Des scores élevés de fiabilité test-retest entre les évaluations de base et de pré-entraînement ont été obtenu pour toute la mesure de longueur des fascicules (RF = 0,95; VL = 0,91). De plus, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée entre ces 2 temps. En ce qui concerne les valeurs, il y a eu un effet statistiquement significatif sur la longueur du fascicule (RF: $p < 0,01$; VL: $P < 0,01$). Les longueurs des fascicules du rectus fémoris et du vaste latéral ont montré une augmentation significative après 4 semaines de formation (RF: $P = 0,02$, VL: $P = 0,05$) et entre les temps post-4 et post-8 ($P < 0,01$ pour RF et VL). Cependant il n'y a pas eu de changements significatifs en post-12 par rapport à post-4 ou post-8 ($P > 0,05$) pour les deux muscles RF et VL.

En conclusion ces muscles ont eu des changements significatifs dans l'architecture musculaire dès les 4 premières semaines de formation. Cette augmentation de longueur des fascicules a également eu lieu jusqu' à la 8^{ème} semaine. Mais une stagnation de longueur est à signaler entre la 8^{ème} et la 12^{ème} semaine. Au final, cette étude a révélé que la longueur des fascicules a augmenté de 17 à 19%.

	Référence	Pré-entraînement	Post-4	Post-8	Post-12
Rectus Femoris	13.49±2.48	13.63±2.29	14.31±1.97*	15.32±1.86#	15.61±1.51#
Vaste Latéral	8.10±1.11	8.22±1.32	8.54±1.21*	9.51±1.50#	9.67±1.7#

*Différence avec la mesure de référence et de pré-entraînement ($P < 0,05$) ; # Différence avec post-4 ($P < 0,05$)

Tableau 2 : évolution de la longueur des fascicules de l'étude de Baroni and al (en cm)

Dans l'étude de BLAZEVIČH, la mesure des fascicules de VL n'a montré aucun changement chez les sujets témoins $[-0,3 \pm 0,7 \text{ mm } (0,3 \pm 0,9\%)]$ sur la période d'entraînement de 10 semaines. Une analyse du groupe de renforcement excentrique a révélé une augmentation significative après 5 semaines ($4,7 \pm 1,7\%$, $P < 0,05$), mais pas plus de changement à 10 semaines (Pré-post = $+4,21 \pm 4\%$).

Au niveau du gastrocnémien médial, Les résultats de DUCLAY & al montrent qu'au repos dans le groupe contrôle, aucun effet changement n'a été trouvé (Fl) ($P < 0, 05$). Dans le groupe de renforcement. En revanche, (Fl) était significativement plus élevé pendant la séance POST ($21,41 \pm 0,78 \text{ mm}$) que dans la session PRE ($18,82 \pm 1,07 \text{ mm}$) ($P < 0,01$).

FOURE and al ont mesuré le groupe de renforcement excentrique au bout des 14 semaines. Aucun changement significatif n'a été trouvé au niveau de la longueur des fascicules musculaires du triceps ($P < 0,05$). en effet la mesure étant de $8.6 \pm 1.8 \text{ cm}$ (prétest) contre $9.5 \pm 2.8 \text{ cm}$ (post test) au niveau du gastrocnémien latéral, $5.9 \pm 0.9 \text{ cm}$ (pré test) contre $6.2 \pm 1.0 \text{ cm}$ (post test) pour le gastrocnémien médial et $3.1 \pm 0.7 \text{ cm}$ (prétest) contre $3.1 \pm 0.8 \text{ cm}$ (post test) au niveau du soléaire ne permet pas d'affirmer qu'il y un effet du travail excentrique sur ce paramètre architectural . En résumé L'entraînement excentrique n'a pas entraîné d'augmentation significative de la longueur des fascicules (gastrocnémien médian = environ 5%, gastrocnémien latéral= environ 10% et soleus = environ 0%) suite à une intervention de renforcement de 14 semaines.

Longueur de fascicule en cm	Groupe de renforcement		Groupe contrôle	
	Pré-test	Post test	Pré-test	Post test
Gastrocnémien latéral	8.6 ± 1.8	9.5 ± 2.8	9.1 ± 3.1	8.0 ± 1.3
Gastrocnémien médial	5.9 ± 0.9	6.2 ± 1.0	5.8 ± 1.1	5.9 ± 0.8
Soléaire	3.1 ± 0.7	3.1 ± 0.8	3.6 ± 1.0	3.7 ± 0.7

Tableau 3 : évolution de la longueur des fascicules dans le protocole de Foure and al (en cm)

5 Discussion

5.1 Interprétation des résultats

Au terme de ces protocoles de renforcement excentrique, toutes ces études hormis l'étude de FOURE and al, ont démontré qu'il existait une augmentation de la longueur des fascicules musculaires. Le fait que l'étude de FOURE n'ait pas montré de modification significative peut être expliqué par le mode d'application différent de renforcement musculaire des autres études. En effet, elle était la seule à réaliser un renforcement excentrique à poids de corps. Les autres études appliquaient la charge de travail sur dynamomètre avec une force de résistante proche des maximales de capacité musculaire. La charge était donc nettement supérieure dans ces derniers protocoles et pourrait expliquer la divergence des résultats avec l'étude de FOURE. Ainsi l'exercice excentrique avec une charge maximale sur le muscle ciblé, permet d'induire des adaptations architecturales. Notre hypothèse de départ est en partie confirmée. Cette recherche a révélé qu'une modification de la longueur des fascicules avait lieu lorsque le muscle travaillait contre une charge proche ou supérieure de ses capacités maximales. Ces modifications architecturales semblent apparaître dès les 4 semaines de renforcement selon l'étude de BARONI & al. Ce dernier remarque également qu'il n'y a plus d'augmentation de la longueur des fascicules après 12 semaines de renforcement. Il semblerait que les fascicules musculaires ne puissent s'allonger d'avantage. Cette observation est corrélée avec les mesures observées par BLAZEVIČ qui constate également une augmentation de la longueur des fascicules au bout de 5 semaines de renforcement mais que cet accroissement disparaît à la 10^{ème} semaine, les mesures à la 10^{ème} semaine n'ont pas d'augmentations significatives par rapport à celle de la 5^{ème} semaine. La dernière étude de DUCLAY atteste également que les fascicules augmentent. Cependant, dans cette dernière étude, les auteurs n'ont réalisé que des mesures en pré et en post renforcement et ne permet pas de confirmer cette hypothèse selon laquelle la longueur des fascicules n'augmente plus à partir d'une certaine durée de renforcement excentrique.

5.2 Intérêt dans la pratique kiné

5.2.1 Perspectives dans la prévention primaire

Il a été observé qu'un muscle possédant des longueurs de fascicule court était plus sujet au LMA qu'un même muscle avec des longueurs plus longues (5,6). Augmenter la longueur des fibres musculaires participe à prévenir les LMA. D'après les résultats obtenus dans cette revue de la littérature, il est possible d'agir sur la longueur des fascicules musculaires du

Quadriceps (rectus femoris et vaste latéral) et du gastrocnémien médial par un renforcement excentrique à charge maximale. Cette addition de sarcomère en série induit par le renforcement excentrique protège le muscle en lui permettant de subir moins de tension lors de contraction excentrique intense (24). En conséquence de cet allongement, la tension maximal d'une fibre musculaire se déplace vers des longueurs de fascicule plus grandes (6,40). Cette constatation est intéressante pour les athlètes afin d'éviter les blessures musculaires puisqu'il a été montré que les mécanismes lésionnels sont justement un étirement excessif du complexe musculo-aponévrotique ou une tension trop importante dépassant ses capacités d'extensibilité (19). De plus, les muscles possédant des fascicules plus longs ont une plus grande vitesse de raccourcissement maximale par rapport à ceux avec des fascicules plus courts (7). Cette vitesse de raccourcissement plus élevée des fibres plus longues améliore la performance athlétique par des mouvements de plus grande puissance. Cela a été prouvé par KUMAGAI & al sur les muscles, vaste latéral et gastrocnémien médial, étudiés dans cette revue de littérature. Ils ont démontré que les coureurs professionnels ayant un meilleur temps de sprint de 100 m entre 10,0 et 10,9 s ont une plus grande longueur de fascicule que les coureurs plus lents (11,0 - 11,7 s). Ainsi, la longueur des fascicules est significativement corrélée avec la performance des athlètes (41). Le renforcement excentrique apparaît donc comme un moyen intéressant de placer le muscle sain dans une situation de performance optimal tout en se protégeant des risques de lésion myo-aponévrotique par tension ou étirement excessifs.

5.2.2 Hypothèse de prévention secondaire

Les personnes ayant des antécédents de lésion musculaire présentent un risque accru de blessures futures par rapport à celles qui n'ont pas d'antécédents (8). Bien que le risque de récurrence soit multifactoriel, il est en partie dû à une diminution de la longueur des fascicules causé par la LMA. En effet, les fascicules plus courts (c.-à-d. Moins de sarcomères en série) sont plus sujets aux lésions musculaires pendant les contractions excentriques de haute intensité que les fascicules plus longs (6,11,42). De plus, les fascicules plus longs ont une plus grande vitesse de raccourcissement maximale par rapport à ceux avec des fascicules plus courts(7). Ce décalage de vitesse de contraction entraîne un asynchronisme entre les différentes fibres musculaires au sein même du muscle, engendrant une contrainte néfaste sur le tissu cicatriciel et augmentant d'avantage son risque de récurrence (6) .

Dans l'hypothèse où un muscle anciennement lésé répond de la même manière qu'un muscle sain. Cette revue de littérature apporte une possible solution en allongeant les fascicules musculaires du muscle lésé afin de lui redonner son état antérieur. Il serait intéressant que des

études se penchent sur l'impact d'un travail excentrique sur un muscle atteint du LMA et d'analyser les modifications structurales engendrées.

En revanche, il a été démontré au niveau moléculaire, que la contrainte induite par des contractions excentriques, semble provoquer une augmentation de la synthèse des protéines dans la région Z de la titine (14). Il a été expliqué dans le cadre conceptuel qu'au niveau de la ligne Z, se trouve une jonction des fibres de collagène issue du périnysium et des sarcolème des fibres musculaires. Ces jonctions appelées Perimysial Junctional Plates (PJP) grandement mises en tension par le travail excentrique sont riches en cellules satellites. Ces dernières sont des cellules précurseurs quiescentes mitotiquement et métaboliquement (c'est-à-dire des cellules souches). Lors des lésions musculaires, les cellules satellites sont activées, prolifèrent et migrent vers les zones endommagées du muscle pour synthétiser les protéines nécessaires à la création de nouvelles fibres (14,43). Les recherches de Hyldahl et al. ont montré que l'exercice excentrique de résistance maximale, provoquait une prolifération aiguë des cellules satellites (43). Au cours de la période de 24 heures suivant un seul exercice maximal excentrique, la teneur en cellules satellites peut augmenter de 30 à 150% en fonction des études.(14,43). Le travail excentrique va donc être un outil important dans la synthèse de nouvelles fibres musculaires. Si on associe à cela, l'hypothèse selon laquelle un muscle lésé réagisse de la même manière qu'un muscle sain au renforcement excentrique avec une augmentation de la longueur de ses fascicules, donc le travail excentrique apparaît comme un atout majeur de la prise en charge des LMA.

5.3 Limite des études

Il ne faut cependant pas tirer de conclusion hâtive car seulement quatre études composent cette synthèse. Bien que la méthodologie de 3 de ces études est considérée comme de haute qualité (score PEDro >5) et que la dernière est dite de bonne qualité (score PEDro =4), le faible nombre de participant dans chaque étude constitue une limite non négligeable dans l'interprétation des résultats. Un faible nombre de sujet apporte une faiblesse statistique. Le risque majeur étant de considérer l'effet d'un protocole comme significatif alors qu'il n'est pas ou inversement. Ce biais peut être dû à la difficulté d'inclure des sujets de morphologie (longueur fasciculaire) et de capacité musculaire strictement identique. De plus la différence entre les protocoles utilisés que ce soit l'intensité, la durée, la charge ainsi que le positionnement lors des renforcements, additionnés aux différences intra et intergroupe contrôle ou test ne favorisent pas les comparaisons des études sélectionnées.

D'autre part, les études démontrant une augmentation de la longueur des études sont réalisées sur dynamomètre. Peu de structure dispose de cette machine. Ainsi le rapport coût/efficacité et la faisabilité dans la pratique s'en trouvent diminués. S'ajoute à cela que les protocoles de renforcements sur machine dynamométrique s'éloignent d'un mouvement fonctionnel en charge. Or le but principal étant de prévenir les LMA, il semble indispensable de placer les muscles dans leur fonctionnement quotidien. Ainsi le protocole qui s'en rapproche est celui de Fouré and al qui ne démontre pas d'augmentation de longueur des fascicules par un renforcement au poids de corps. Il serait donc intéressant de voir si, avec une charge proche des capacités maximales du muscle ciblé, un renforcement plus fonctionnel augmenterait la longueur des fascicules musculaires.

Mais comme nous le rappelle, un travail excentrique avec des charges élevées ou supra maximal entraînent des microlésions des fibres musculaires dues à un allongement forcé du complexe myo-aponévrotique accompagnées d'un haut niveau de tension. Ces micros-lésions, caractérisées par une désorganisation du sarcomère par atteinte de la titine, entraînent un processus inflammatoire avec l'apparition progressive de douleur (DOMS) qui limitent la production de force, les amplitudes articulaires et place le muscle lésé dans un état de fragilité (22). Ainsi, lors de la mise en place de protocole de renforcement excentrique il faudra prendre un compte qu'un travail excentrique à charge maximale rend le muscle fébrile. Il faut donc éviter de réaliser d'autres efforts intensifs lors de cette période. Dans le rapport bénéfice/risque, il existe donc un versant négatif au travail excentrique. Ce renforcement est délétère sur une courte période après la séance mais, à long terme, l'augmentation de la longueur des fascicules va protéger le muscle de lésion musculaire. L'importance du moment d'application de ce type de renforcement dans le planning des sujets se doit donc d'être réfléchi et à distance de toutes autres activités intensives.

5.4 Limites de cette revue de littérature

Les moteurs de recherche ont été interrogés par une seule personne ce qui peut influencer les résultats des recherches. Cela en fait le biais majeur de ce travail. En effet l'analyse de la littérature a été réalisée par des équations de recherche déterminées par un seul individu. De plus, ces équations ont été différentes en fonction des moteurs de recherche. Car une même équation de recherche pour tous les moteurs de recherche sélectionnée nous a exposé à énormément de bruit. Par exemple, si l'on utilise l'équation établie dans PEDro (résultat n=3) dans un autre moteur tel que google scholar, le résultat obtenu est supérieur à 20 000

résultats. Il a donc été nécessaire, au vu du temps imparti dans la réalisation du mémoire, de choisir des équations spécifiques selon les différents moteurs de recherche. D'autre part, la limite temporelle oblige la réalisation d'un tri sommaire des études sélectionnées basé sur la lecture de leurs titres. En agissant ainsi, il est possible que certaines études potentiellement pertinentes aient été oubliées.

De plus, entre le moment des recherches et la finalisation de ce mémoire, des études en rapport avec le thème choisit ont pu être rédigées. Elles auraient pu appuyer ou contredire les résultats obtenus.

Afin d'optimiser une synthèse de revue de littérature, il aurait donc été nécessaire que plusieurs intervenants analysent les articles traitants du sujet exposé dans ce mémoire. Il aurait fallu que leurs recherches se fassent en aveugle, c'est-à-dire que les intervenants réalisent leurs propres équations de recherche sans savoir l'avancée de leurs confrères, pour ensuite mettre en commun les études trouvées. Dans ce schéma, les études récurrentes, et donc ayant le plus de poids, auraient été sélectionnées. Il aurait également été intéressant de se tenir informé quotidiennement des études publiées afin de détecter celles qui auraient été susceptibles de nous intéresser.

6 Conclusion

Cette exploration de la littérature a permis de mieux comprendre les changements architecturaux induits par un renforcement excentrique. Il nous a permis d'identifier qu'un allongement des fascicules musculaires avait lieu au sein du quadriceps (rectus femoris et vaste latéral) et du gastrocnémien médial lors d'un renforcement excentrique avec des charges proches des capacités maximales ou supra maximales du muscle ciblé. Cette modification est notable dès la 4^{ème} semaine de renforcement selon l'étude de BARONI. Cependant aucune étude sélectionnée n'a évalué avant ce terme. Il est donc possible que des modifications avaient déjà eu lieu. En revanche les études de BARONI et BLAZEVIK s'accordent à dire que cette accroissement s'arrête, laissant penser que le fascicule ait atteint son augmentation maximal de longueur.

Le travail excentrique apparait donc comme un outil indispensable pour le masseur kinésithérapeute lors de sa prise en charge. En effet, la mise en place d'exercice quotidien de renforcement musculaire excentrique peut être appliquée à d'autres muscles que les ischio-jambiers dans le but d'allonger les fascicules musculaires et ainsi permettre au muscle

concerné de mieux accepter un étirement actif. Cependant, il est nécessaire d'explorer d'avantage lors d'études futures, que cet allongement permet de prévenir les LMA. Il est donc nécessaire de réaliser, tout comme pour les ischios-jambiers, la mise en place d'une étude randomisée au sein d'une population, sportive de préférence, comparant un protocole de renforcement excentrique d'un de ces muscles (Gastrocnémien médial, rectus fémoris et vaste latéral) avec un groupe contrôle. L'hypothèse serait d'obtenir les mêmes résultats que dans l'étude de PERTESSEN (11) qui a appliqué un renforcement excentrique des ischio-jambiers par les « Nordic Hamstring Exercises » sur des joueurs professionnels de 50 équipes de football. Il a objectivé une diminution des LMA et de leurs récurrences grâce à ce renforcement comparativement au groupe témoin.

D'autre part, grâce aux recherches réalisées dans ce mémoire, il m'a été permis de comprendre les différents mécanismes de la lésion myo-aponévrotique, son processus de cicatrisation et l'apport du travail excentrique dans leur prise en charge. Son intérêt dans la stimulation des cellules satellites et dans la favorisation de la synthèse des protéines de liaison en fait un moyen remarquable dans le traitement des LMA. Ainsi dans ma pratique professionnelle future, le travail excentrique occupera une place majeure dans la prévention des LMA ainsi que dans leurs traitements.

Pour finir, l'apprentissage professionnel de la méthode de revue de littérature me permet désormais d'analyser la littérature et d'avoir un regard critique à son égard. Cette exploration de la littérature, oriente notre parcours professionnel vers la possibilité de mettre en place un protocole de renforcement excentrique d'un des muscles cité dans cette analyse de la littérature. Ceci dans le but de déterminer si, tout comme au niveau des ischio-jambiers, les modifications engendrées permettront une diminution de l'émergence des LMA.

Références

1. Mise en page 1 - chiffres-cles_du_sport_2015.pdf [Internet]. [cité 1 févr 2017]. Disponible sur: http://www.sports.gouv.fr/IMG/pdf/chiffres-cles_du_sport_2015.pdf
2. Bahr R. Risk factors for sports injuries -- a methodological approach. *Br J Sports Med.* 1 oct 2003;37(5):384-92.
3. Ekstrand J, Hagglund M, Walden M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med.* 1 juin 2011;45(7):553-8.
4. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of Muscle Injuries in Professional Football (Soccer). *Am J Sports Med.* juin 2011;39(6):1226-32.
5. Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Biceps Femoris Long Head Architecture: A Reliability and Retrospective Injury Study. *Med Sci Sports Exerc.* mai 2015;47(5):905-13.
6. Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *Br J Sports Med.* déc 2016;50(23):1467-72.
7. Lieber RL, Ward SR. Skeletal muscle design to meet functional demands. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 27 mai 2011;366(1570):1466-76.
8. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training: *Med Sci Sports Exerc.* mars 2016;48(3):499-508.
9. Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *Eur J Appl Physiol.* avr 2009;105(6):939-44.
10. Porter T, Rushton A. The efficacy of exercise in preventing injury in adult male football: a systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med - Open.* 2015;1(1):4.
11. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jørgensen E, Hölmich P. Preventive Effect of Eccentric Training on Acute Hamstring Injuries in Men's Soccer: A Cluster-Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* nov 2011;39(11):2296-303.
12. Muscles et tissu conjonctif. Données histologiques. 484-490 p. (Annales de Chirurgie Plastique Esthétique; vol. Volume 57, Issue 5).
13. Herzog W, Powers K, Johnston K, Duvall M. A new paradigm for muscle contraction. *Front Physiol* [Internet]. 10 juin 2015 [cité 15 févr 2017];6. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fphys.2015.00174/abstract>
14. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Med* [Internet]. 15 sept 2016 [cité 15 févr 2017]; Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-016-0624-8>
15. Lieber RL, Fridén J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve.* nov 2000;23(11):1647-66.

16. Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. Risk Factors for Lower Extremity Muscle Injury in Professional Soccer: The UEFA Injury Study. *Am J Sports Med.* févr 2013;41(2):327-35.
17. Yoshida K, Itoigawa Y, Maruyama Y, Saita Y, Takazawa Y, Ikeda H, et al. Application of shear wave elastography for the gastrocnemius medial head to tennis leg: Application of Shear Wave Elastography. *Clin Anat.* janv 2017;30(1):114-9.
18. Shorten M. Muscle Elasticity and Human Performance. *Med Sport Sci.* mars 2016;1-18.
19. Bruchard A. Lésions musculaires et aponévrotiques du footballeur (1re partie). *Kiné Act.* juin 2013;(1326):18-22.
20. Fouré A, Nordez A, Cornu C. Effects of eccentric training on mechanical properties of the plantar flexor muscle-tendon complex. *J Appl Physiol.* 1 mars 2013;114(5):523-37.
21. Middleton P, Gaujard E, Petit H, Guillermo A, Vidal M-C, Bientz I, et al. Isocinétisme : le travail musculaire excentrique. *Lett Médecine Phys Réadapt.* juin 2013;29(2):70-8.
22. Guilhem G, Cornu C, Guével A. Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Ann Phys Rehabil Med.* juin 2010;53(5):319-41.
23. Edouard P. Notions fondamentales sur la physiologie et la mécanique de la contraction musculaire. In: *Guide D'isocinétisme* [Internet]. Elsevier; 2016 [cité 7 mars 2017]. p. 1-18. Disponible sur: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9782294745911000011>
24. Herzog W. The role of titin in eccentric muscle contraction. *J Exp Biol.* 15 août 2014;217(16):2825-33.
25. Herzog JA, Leonard TR, Jinha A, Herzog W. Are titin properties reflected in single myofibrils? *J Biomech.* juill 2012;45(11):1893-9.
26. Morel M. Suivi des lésions musculaires du sportif à potentiel de rechute : place de l'imagerie. *J Traumatol Sport.* juin 2015;32(2):81-9.
27. Brasseur JL ; Bach G, Renoux J, Zeitoun-Eiss. Classification des lésions musculaires ; de quoi parle t'on ? In Montpellier; 2010. p. 147-67. (L' imagerie en traumatologie du sport).
28. Guillodo Y, Saraux A. Treatment of muscle trauma in sportspeople (from injury on the field to resumption of the sport). *Ann Phys Rehabil Med.* avr 2009;52(3):246-55.
29. Levine WN, Bergfeld JA, Tessorodorf W, Moorman CT. Intramuscular corticosteroid injection for hamstring injuries. A 13-year experience in the National Football League. *Am J Sports Med.* juin 2000;28(3):297-300.
30. Mueller-Wohlfahrt H-W, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *Br J Sports Med.* avr 2013;47(6):342-50.
31. Définitions : prévention - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 1 févr 2017]. Disponible sur: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/pr%C3%A9vention/63869>
32. Code de la santé publique - Article L4321-1. Code de la santé publique.

33. Microsoft Word - referentiel_MK_MKO_16_10_12-OK.doc - referentiel_MK_MKO_16_10_12-OK.pdf [Internet]. [cité 12 avr 2017]. Disponible sur: http://www.ordremk.fr/wp-content/uploads/2012/11/referentiel_MK_MKO_16_10_12-OK.pdf
34. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. août 2003;83(8):713-21.
35. Baroni BM, Geremia JM, Rodrigues R, De Azevedo Franke R, Karamanidis K, Vaz MA. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: Rectus femoris vs. vastus lateralis: Adaptations to Eccentric Training. *Muscle Nerve*. oct 2013;48(4):498-506.
36. Blazeovich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol*. 9 août 2007;103(5):1565-75.
37. Duclay J, Martin A, Duclay A, Cometti G, Pousson M. Behavior of fascicles and the myotendinous junction of human medial gastrocnemius following eccentric strength training. *Muscle Nerve*. juin 2009;39(6):819-27.
38. Foure A, Nordez A, Cornu C. Effects of eccentric training on mechanical properties of the plantar flexor muscle-tendon complex. *J Appl Physiol*. 1 mars 2013;114(5):523-37.
39. Alfredson H, Pietilä T, Jonsson P, Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med*. juin 1998;26(3):360-6.
40. Brughelli M, Mendiguchia J, Nosaka K, Idoate F, Arcos AL, Cronin J. Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players. *Phys Ther Sport*. mai 2010;11(2):50-5.
41. Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. mars 2000;88(3):811-6.
42. Fyfe JJ, Opar DA, Williams MD, Shield AJ. The role of neuromuscular inhibition in hamstring strain injury recurrence. *J Electromyogr Kinesiol*. juin 2013;23(3):523-30.
43. Hyldahl RD, Olson T, Welling T, Groscost L, Parcell AC. Satellite cell activity is differentially affected by contraction mode in human muscle following a work-matched bout of exercise. *Front Physiol* [Internet]. 11 déc 2014 [cité 12 mars 2017];5. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2014.00485/abstract>

Annexes

Table des Annexes :

- Annexe 1 : Table de illustrations
- Annexe 2 : Tableau de la Qualité méthodologique des études évaluée par l'échelle PEDro
- Annexe 3 : Tableau récapitulatif des études utilisées dans ce mémoire

Annexe 1 : Tableau des illustrations

Figure 1 - représentation schématique des composants d'un muscle squelettique.....	3
Figure 2 - : Schéma représentant les différentes protéines sarcomériques structurales.	5
Figure 3 - : représentation schématique d'un sarcomère et de la place de la Titine.....	5
Figure 4 : schéma des caractéristiques de l'architecture du muscle.....	6
Figure 5 : Modélisation des composantes du muscle strié squelettique, d'après Shorten.....	7
Tableau 1 : modalités d'application des protocoles de ce mémoire.....	19
Tableau 2 : évolution de la longueur des fascicules de l'étude de Baroni and al (en cm).....	22
Tableau 3 : évolution de la longueur des fascicules dans l'étude de Foure and al (en cm).....	23

Annexe 2 : Tableau de la Qualité méthodologique des études évaluée par l'échelle PEDro

études	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Score
Blazevich and al	Oui	oui	oui	oui	non	non	Non	oui	non	oui	oui	7
Duclay and al	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	9
Fouré and al	Oui	Oui	oui	oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	oui	9
Baroni and al	Oui	Non	Non	Non	non	Non	Non	oui	oui	non	oui	4

Qualité méthodologique des essais inclus évalués à l'aide de l'échelle PEDro

Critère 1- les critères d'éligibilité ont été précisés

Critère 2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)

Critère 3. la répartition a respecté une assignation secrète

Critère 4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants

Critère 5. tous les sujets étaient "en aveugle"

Critère 6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"

Critère 7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels

Critère 8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes

Critère 9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"

Critère 10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels

Critère 11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité

Annexe 3 : Tableau récapitulatif des études utilisées dans ce mémoire

Etude et groupe musculaire concerné	Groupe musculaire concerné	Taille de l'échantillon	genre	Age moyen	Groupe de comparaison	Unité mesuré
Blazevich and al	quadriceps	33	16hommes 17femmes	23	1) Excentrique 2) Concentrique 3) Contrôle	Longueur de fascicule musculaire
Duclay and al	Triceps sural	18	Homme seulement	23	1) Excentrique 2) Contrôle	-Longueur de fascicule -Angle de pennation -Epaisseur musculaire
Baroni and al	quadriceps	20	Homme seulement	24	Etude longitudinale	-longueur de fascicule -angle de pennation -épaisseur musculaire
Foure and al	Triceps sural	24	Homme seulement	21	1) Excentrique 2) Contrôle	-rigidité des composantes passives et active - amplitude cheville - angle de pennation -longueur de fascicule - air de section anatomique (CSA)

