



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et
Réadaptation

Pays de la Loire.

54, rue de la Baugerie - 44230 SAINT- SÉBASTIEN SUR LOIRE

**EFFET DU RENFORCEMENT EXCENTRIQUE DANS LA RÉÉDUCATION DES
LÉSIONS MYO-APONEVROTQUES AUX ISCHIO-JAMBIERS CHEZ LES
SPORTIFS**

Revue de la littérature

Victor LABÉ

Mémoire UE28 Semestre 10

Année scolaire : 2022-2023

RÉGION DES PAYS DE LA LOIRE

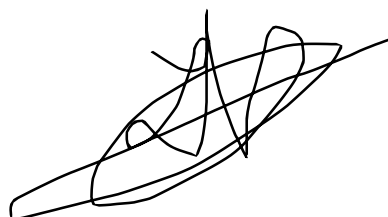


Je, soussigné

LABÉ Victor, déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à Nantes

Le 22/04/2023

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

AVERTISSEMENT

Les mémoires 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

Merci à toutes les personnes qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce travail, de près ou de loin, que ce soit par de simples échanges, des conseils, ou une relecture.

Merci à l'OB et à l'AS d'avoir pimentés ces quatre années incroyables qui resteront gravées dans ma mémoire.

Merci aux Dormeurs, à l'ASES, aux futurs « collègues », de m'avoir soutenu, à leur manière, tout au long de mes études.

Merci à ma famille qui me supporte depuis ma naissance jusqu'à ce rendu de mémoire, et c'est déjà pas si mal.

Merci à Laura, pour tout ce que tu m'as apporté et m'apportes encore.

Résumé

Introduction : La lésion myo-aponévrotique aux ischio-jambiers est une pathologie récurrente chez les sportifs. Le renforcement excentrique est souvent utilisé dans sa rééducation. Ce travail vise à analyser l'apport du renforcement excentrique, notamment dans la réduction du temps de retour au sport et dans la récupération de la force musculaire des ischio-jambiers.

Matériels et méthodes : Une revue systématique de la littérature a été réalisée. Deux bases de données ont été interrogées : PubMed et PEDro. Nos recherches se concentrent sur des études contrôlées, et l'évaluation de la qualité méthodologique des études est établie avec l'échelle PEDro.

Résultats : Sur les 205 articles trouvés, nous avons retenu 5 essais contrôlés randomisés. Les études comparent l'effet de protocoles de rééducation composés de renforcement excentrique sur le temps de retour au sport et la force par rapport à d'autres protocoles de rééducation sans renforcement excentrique. Les résultats semblent diverger sur l'intérêt de cette technique pour accélérer le retour au sport, tandis que les études ne semblent pas montrer d'impact sur la récupération de la force des ischio-jambiers.

Discussion : Nous observons des divergences dans les résultats des études, et un manque d'applicabilité clinique de ces résultats. Des écrits complémentaires et plus rigoureux sur l'utilisation du renforcement excentrique seul dans la rééducation de lésions des ischio-jambiers permettraient de justifier l'intérêt de cette technique. Augmenter les connaissances sur la notion de retour au sport en définissant des critères communs ainsi que d'utiliser de meilleurs outils de mesure amélioreraient l'évaluation de l'excentrique.

Mots clés :

- Lésions myo-aponévrotiques des ischio-jambiers
- Renforcement excentrique
- Retour au sport
- Force musculaire

Abstract

Introduction : Hamstring injury is a recurrent pathology in athletes. Eccentric strengthening is often used in its rehabilitation. This work aims to analyse the contribution of eccentric strengthening, particularly in reducing the time taken to return to sport and in recovering hamstring muscle strength.

Material and methods : A systematic review of the literature was performed. Two databases were searched: PubMed and PEDro. Our search focused on controlled studies, and the assessment of the methodological quality of the studies was established with the PEDro scale.

Results : Of the 205 articles found, we selected 5 randomised controlled trials. The studies compared the effect of rehabilitation protocols consisting of eccentric strengthening on time to return to sport and strength compared to other rehabilitation protocols without eccentric strengthening. The results seem to disagree on the value of this technique in speeding up the return to sport, while the studies do not seem to show an impact on hamstring strength recovery.

Discussion : We observe discrepancies in the results of the studies, and a lack of clinical applicability of these results. Additional and more rigorous literature on the use of eccentric strengthening alone in the rehabilitation of hamstring injuries would justify the value of this technique. Increasing knowledge of the notion of return to sport by defining common criteria as well as using better measurement tools would improve the evaluation of eccentric.

Key words :

- Hamstring injuries
- Eccentric strengthening
- Return to play
- Strength

Liste des abréviations

ACL : Anterior Cruciate Ligament

AM : Âge moyen

BF : Biceps fémoral

CON : Concentrique

DOMS : Delayed Onset Muscle Soreness

DV : Décubitus ventral

EBP : Evidence Based Practice

ECR : Essais contrôlés randomisés

EXC : Excentrique

GC : Groupe « Contrôle »

GE : Groupe « Excentrique »

H/F : Homme / Femme

HeTOP : Health Terminology/Ontology Portal

IJ : Ischio-jambiers

IRM : Imagerie par résonance magnétique

LMA : Lésion myo-aponévrotique

MeSH : Medical Subject Headings

NHE : Nordic Hamstring Exercise

PATS : Progressive Agility Trunk Stabilization

PICO : Population Intervention Comparateur Outcom

PRES : Progressive Running and Eccentric Strengthening

P1 : Phase 1

P2 : Phase 2

P3 : Phase 3

RE : Rotation externe

RI : Rotation interne

RtP : Return to Play

RTP : Retour au sport

RTS : Return to sport

SD : Ecart-type

SLR : Straight Leg Raising

SM : Semi-membraneux

ST : Semi-tendineux

STST : Stretching and Strengthening

Table des matières

1. Introduction.....	1
2. Cadre conceptuel.....	2
2.1 Les muscles ischio-jambiers	2
2.2 Les lésions myo-aponévrotiques des ischio-jambiers.....	7
2.3 La contraction excentrique	10
2.4 Le retour au sport	13
2.5 La force	14
3. Problématisation et hypothèses	16
4. Méthodologie.....	16
4.1 Choix de la méthode.....	16
4.2 Critères PICO.....	16
4.3 Bases de données interrogées	17
4.4 Mots-clés	17
4.5 Équation de recherche.....	17
4.6 Critères d'inclusion.....	18
5. Résultats	19
5.1 Évaluation méthodologique des études	19
5.2 Description des études	20
5.3 Résultats sur le temps de retour au sport	30
5.4 Résultats sur la force	31
6. Discussion.....	32
6.1 Interprétations des résultats	33
6.2 Limites des études	37
6.3 Limites de la revue.....	45
6.4 Perspectives professionnelles	46
7. Conclusion.....	48
Bibliographie.....	
Annexes 1 à 7	

Table des illustrations :

Figure 1 : Anatomie des ischio-jambiers (10)	3
Figure 2 : Représentation schématique de la jonction myo-aponévrotique (25).....	6
Figure 3 : Allongement des ischio-jambiers pendant le cycle de la course (58).....	9
Figure 4 : Modes de contractions : excentrique et concentrique (67)	10
Figure 5 : Exercice « Nordic Hamstring Exercise » (NHE) (84).....	12
Figure 6 : Exercice « Bilateral stiff-leg Deadlift » (84).....	13
Figure 7 : Exercice « the Diver » (protocole L d'Askling).....	VII
Figure 8 : Exercice « the Extender » (protocole L d'Askling).....	VII
Figure 9 : Exercice « the Glider » (protocole L d'Askling).....	VII
Figure 10 : Exercice « Foot catches » (Sherry, Silder)	VII
Figure 11 : Exercice « Flexion de hanche résistée » (Kim)	VII

Table des tableaux :

Tableau I : Critères PICO	17
Tableau II : Mots-clés.....	17
Tableau III : Équations de recherches et résultats associés	18
Tableau IV : Définition utilisée pour le temps de retour au sport.....	27
Tableau V : Caractéristiques des études incluses	29
Tableau VI : Résumé des résultats sur le temps de retour au sport.....	31
Tableau VII : Résumé des résultats sur la force	32

1. Introduction

Ces dernières années, la pratique sportive s'est grandement développée en France (1). Une pratique sportive augmentée associée à une intensité et un temps de pratique accrue, ainsi qu'une spécialisation sportive précoce, s'accompagne donc d'une augmentation notable des blessures (2). Parmi les blessures liées au sport, les lésions myo-aponévrotiques (LMA) représentent 30 à 35 % de toutes les blessures et surviennent principalement dans les membres inférieurs (3)(4). De plus, le groupe musculaire des ischio-jambiers (IJ) fait partie des muscles les plus atteints avec 37% des LMA du membre inférieur dans le football (3).

Lors de différents stages au sein de clubs professionnels de sport (football, rugby, handball), nous avons été confrontés à de multiples reprises à cette pathologie et nous avons observé plusieurs techniques de rééducation. Une composante de cette rééducation qui revenait irrémédiablement était le renforcement excentrique (EXC). En approfondissant les recherches, nous avons observé que le thème de la rééducation des LMA des IJ était plutôt développé dans la littérature. Cependant, l'apport de l'excentrique dans la rééducation n'avait jamais été étudié indépendamment des autres approches.

Pourtant, il semblerait logique que le régime excentrique fasse partie des piliers de la rééducation des LMA lorsqu'on observe ses apports, que l'on décrira plus tard, au niveau de la physiologie musculaire. De nombreuses revues ont montré son utilité dans la prévention de ces lésions. Cependant, son efficacité en rééducation reste encore à prouver.

Enfin, nous savons que ces LMA entraînent chez les sportifs un temps d'arrêt de l'activité sportive. Si chez les sportifs amateurs, cela peut sembler moins primordial, chez les sportifs professionnels, les impacts sont importants et mesurables. C'est le cas notamment dans le football, sport majoritairement pourvoyeur de LMA, où on dénote une perte financière et sportive pour les clubs des joueurs concernés (5)(6). De plus, selon **Ekstrand & al**, 16 % de ces lésions réapparaissent dans l'année qui suit la blessure initiale et entraînent des périodes d'arrêt de l'activité physique plus longues (3).

Il est donc nécessaire que l'athlète soit mieux préparé aux exigences du terrain à son retour de blessure. La récupération de la force musculaire des ischio-jambiers constitue un des critères nécessaires pour considérer l'athlète apte à ce retour (7)(8). L'intérêt de proposer aux sportifs la rééducation la plus adaptée pour une LMA aux ischio-jambiers semble donc pertinent

pour notre future pratique et ce, afin d'accélérer le retour au sport en toute sécurité (9). Tous ces éléments nous amènent à notre problématique :

Le renforcement excentrique est-il efficace dans la rééducation des lésions myo-aponévrotiques des ischio-jambiers chez les sportifs ?

Afin d'y répondre, nous établirons un cadre conceptuel en présentant les différents éléments constitutifs de notre problématique. Nous énoncerons nos hypothèses et nous développerons la méthode avec les modalités de recherche et de sélection d'articles utilisées. Puis, nous détaillerons le contenu des différentes études retenues ainsi que les résultats associés. Ces derniers seront analysés et confrontés avec la littérature actuelle dans la discussion. Nous aborderons ensuite les limites de nos études et de notre revue. Enfin, nous présenterons les perspectives professionnelles qui ont émergé de notre travail, suivies de la conclusion de ce dernier.

2. Cadre conceptuel

2.1 Les muscles ischio-jambiers

2.1.1 Anatomie

Les ischio-jambiers forment le groupe musculaire de la loge postérieure de la cuisse. Le complexe des ischio-jambiers regroupe trois muscles dits « poly-articulaires » : le semi-membraneux (SM) et le semi-tendineux (ST) dans la partie médiale ; le biceps fémoral (BF) plutôt dans la partie latérale (10). Ces trois muscles possèdent une insertion proximale commune au niveau de la tubérosité ischiatique de l'os coxal. S'ajoute à ces derniers une partie mono-articulaire : le chef court du biceps fémoral issu de la lèvre latérale de la ligne âpre du fémur, à sa portion inférieure (2/3).

Le **semi-membraneux** est un muscle large qui s'insère sur l'ischion et donne 3 tendons distincts :

- Un tendon direct se terminant sur la face postérieure de l'épiphyse supérieure du tibia.
- Un tendon réfléchi finissant sur la partie antéro-médiale de l'épiphyse supérieure du tibia par un tendon aplati.
- Un tendon récurrent (par des fibres tendineuses) qui s'insère sur la partie supérieure de la coque condylienne externe du genou.

La longue portion du biceps fémoral partage un tendon commun avec les deux autres IJ puis se prolonge entre le semi-tendineux et le semi-membraneux dans sa partie proximale. Le **semi-tendineux**, qui constitue un des 4 muscles de la patte d'oie, se prolonge jusqu'au $\frac{1}{4}$ supéro-médial du tibia par un tendon large et aplati. La longue portion du **biceps fémoral** rejoint la courte portion du biceps fémoral pour se terminer par un tendon commun s'insérant sur la tête de la fibula, à son bord supérieur (11).

L'ensemble de ces muscles est innervé par le nerf sciatique (racines L5 S1 S2)(11).

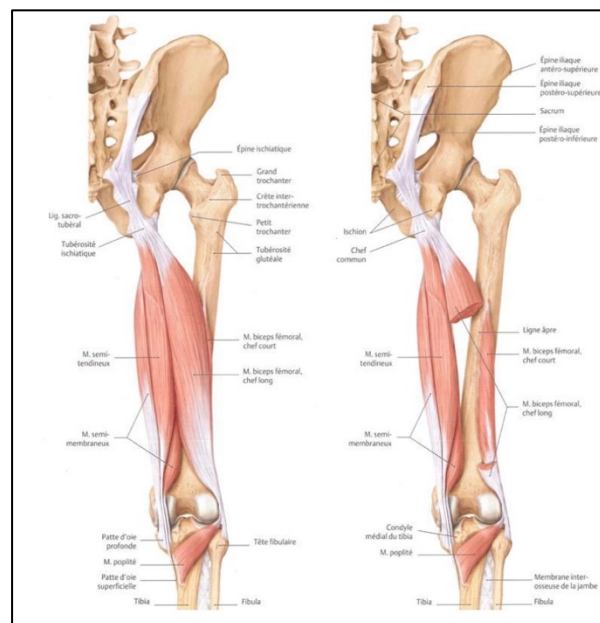


Figure 1 : Anatomie des ischio-jambiers (10)

2.1.2 Biomécanique

Par leur composante poly-articulaire (excepté la courte portion du BF), les ischio-jambiers possèdent une action à la fois sur les articulations de la hanche et du genou.

En proximal, ils se révèlent donc être **extenseurs de hanche** en chaîne ouverte et participent à la rétroversion du bassin en chaîne cinétique fermée (12).

Au niveau distal, ils sont principalement **fléchisseurs du genou**, mais présentent également une composante rotatoire en flexion de genou : rotateur latéral pour le biceps fémoral et rotateur médial pour le semi-membraneux et semi-tendineux (11).

2.1.3 Architecture musculaire

Tout d'abord, les muscles ischio-jambiers sont des **muscles striés squelettiques**. Le tissu musculaire squelettique est composé de fibres hautement spécialisées avec 4 propriétés principales :

1. Excitabilité, probabilité qu'une fibre musculaire réponde à un stimulus nerveux
2. La contractilité, capacité des fibres musculaires à se raccourcir
3. L'extensibilité, capacité des fibres musculaires à s'étirer.
4. L'élasticité, propriété par laquelle les fibres musculaires peuvent revenir à leur état de base après avoir été contractées (raccourcies) ou étirées.

Ces muscles sont constitués de cellules musculaires cylindriques (également appelées fibres) disposées parallèlement les unes aux autres, chacune entourée d'une gaine de tissu conjonctif appelée endomysium. Ces fibres musculaires sont agrégées en faisceaux contenus dans le pérимysium. L'ensemble de ces faisceaux constitue le muscle, lui-même entouré de l'épimysium. Les muscles sont capables de convertir l'énergie chimique en énergie mécanique grâce aux composants des cellules musculaires. Chaque fibre musculaire est composée de myofibrilles disposées en parallèle. Ces myofibrilles sont composées de sarcomères mis bout à bout, qui est l'unité contractile de base du muscle squelettique. L'unité contractile est principalement constituée de deux principaux types de myofilaments : les filaments épais de myosine et les filaments fins d'actine. Ces deux filaments interagissent entre eux en créant des ponts pour aboutir à la contraction musculaire (13)(*annexe I*).

Dans les anciennes représentations anatomiques, le muscle était décrit selon la continuité « tendon- faisceaux musculaires-tendon », mais ce concept se révèle aujourd'hui inexact, notamment avec la notion de pennation (14).

En effet, les ischio-jambiers sont des muscles **pennés** (15). Au sein des muscles pennés, le tissu conjonctif forme un squelette intra et péri-musculaire où les fibres musculaires s'insèrent de part et d'autre. Cette architecture penniforme signifie que les fibres ne vont pas de tendon à tendon, mais s'insèrent d'aponévrose à aponévrose, que ce soit sur un support périphérique ou une cloison centrale (16). Elles ne sont pas orientées longitudinalement, mais obliquement de sorte qu'elles forment un angle avec l'axe principal du muscle donné par ses deux insertions : c'est donc l'angle de pennation. Cette obliquité se retrouve dans les trois plans de l'espace. Un angle de pennation plus faible (comme à la partie proximale de la longue portion

du BF) conduit à une diminution des capacités de production de force, mais aussi à une moindre tolérance à l'allongement. On l'explique par le fait que les muscles avec un angle de pennation plus faible ont une surface transversale plus petite pour générer de la force, ce qui signifie que chaque fibre musculaire est soumise à une tension plus élevée lorsqu'elle se contracte (17)(18)(19).

Cette notion de pennation explique donc que la longueur des fascicules d'un muscle long ne soit pas proportionnelle à la longueur de son corps charnu apparent, comme en témoigne la différence de longueur des fascicules des trois IJ : 8 cm pour le SM ; 20 cm pour le ST ; 10 cm pour le BF. Ce paramètre est déterminant dans la LMA puisque le risque de blessure musculaire augmente avec la diminution de longueur des fascicules musculaires (20) (21). Ce constat explique en partie l'efficacité de l'excentrique en prévention des LMA (22).

Ces fibres s'attachent aux cloisons aponévrotiques par l'intermédiaire de protéines de liaison, pouvant apparaître en qualité et quantité très différente selon les individus, le sport pratiqué et l'entraînement spécifique (23)(24). Ces protéines sont présentes tant à l'échelle du sarcomère avec la desmine et la titine (strie Z), qu'à l'échelle de la jonction myo- aponévrotique avec deux principaux complexes protéiques : le complexe « dystrophine-glycoprotéine » et le complexe « taline-vinculine-intégrine-laminine » (25)(26). Des études ont montré que lors des mécanismes de lésions, la perturbation se produisait majoritairement dans la partie distale des fibres musculaires, à la jonction entre l'aponévrose et la fibre musculaire, confirmant que ces protéines de liaison constituent un point de faiblesse (27)(28). C'est ce constat qui a amené le changement de concept de « lésion musculaire » en « lésion myo-collagénique » ou « lésion myo-aponévrotique » davantage en adéquation avec la réalité anatomique de l'architecture des muscles lésés (29)(30).

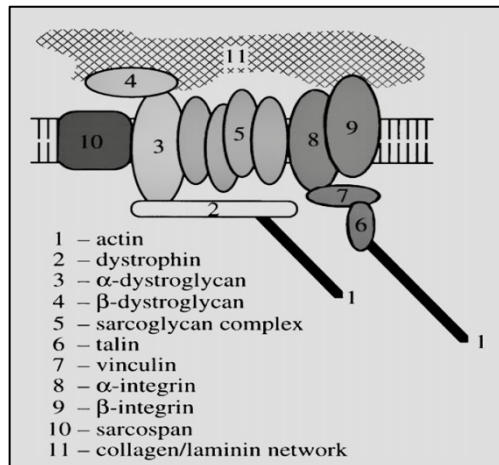


Figure 2 : Représentation schématique de la jonction myo-aponévrotique (25)

2.1.4 Type de fibres

La proportion des différents types de fibres varie en fonction des groupes musculaires (31) :

- Fibres lentes de type I : elles sont utilisées sur de longues durées et pour des mouvements de faible puissance (positions de maintien), elles sont très résistantes mais génèrent peu de force.
- Fibres rapides de type II : ce sont les fibres qui peuvent développer le plus de force mais qui sont extrêmement fatigables.
- Fibres intermédiaires de type IIa : leur pourcentage varie selon les personnes et les muscles. Ainsi, selon les exercices pratiqués, elles évoluent en Type I (entraînement long et soutenu) ou Type II (entraînement court et à haute intensité).

Chaque type de fibre est variable en quantité, en fonction de l'activité physique et de la prédisposition génétique du sujet. Ainsi, l'entraînement intensif d'un sport explosif comme le football ou le sprint semble entraîner une adaptation physiologique de l'organisme avec une proportion plus élevée de fibres de type II par rapport aux individus inactifs (32).

Le groupe musculaire des ischio-jambiers est composé de 55% de fibres de **type II**. Cette composition permet de développer des actions rapides, mais lui confère une exposition lésionnelle non négligeable (31).

2.2 Les lésions myo-aponévrotiques des ischio-jambiers

2.2.1 Définition

Le tissu musculaire peut être lésé soit par un mécanisme d'origine extrinsèque, un choc par exemple, soit par un mécanisme d'origine intrinsèque. De manière plus classique, la LMA aux IJ a été décrite comme « une douleur postérieure de la cuisse, où le contact direct avec la cuisse est exclu en tant que cause de blessure, avec une hyper-intensité dans le muscle ischio-jambier qui peut être détectée en imagerie par résonance magnétique (IRM) » (33)(34). Cependant, la dénomination de lésions musculaires laisse peu à peu place à celle de lésion myo-aponévrotique puisque l'atteinte est rarement isolée au muscle, mais peut toucher les différents tissus associés (30).

La lésion myo-aponévrotique (LMA) intrinsèque correspond donc à un décollement d'un faisceau musculaire de son support aponévrotique (29). Il s'agit d'une rupture de la liaison entre la fibre musculaire et le tissu conjonctif : c'est une désinsertion. Celle-ci peut se produire aux différentes zones de jonction de ces deux éléments histologiques : au niveau de la jonction myotendineuse mais aussi au niveau des cloisons myo-aponévrotiques centrales ou périphériques (27). Ce « décollement » provoque alors des réactions en cascade comme :

- une nécrose des fibres musculaires (35)(36)
- un processus inflammatoire et catabolique dans le tissu conjonctif (29)(36)
- une détérioration voir une destruction des protéines de liaison (27)(37)

Pour ce qui est de l'examen clinique, la LMA est donc caractérisée par la survenue brutale d'une douleur aiguë dans la loge postérieure de la cuisse. De plus, une triade douloureuse est souvent recherchée à l'examen : douleur à la palpation, à l'étirement et aux tests de contraction isométriques dans les différentes courses ainsi qu'à la contraction excentrique résistée (38). On peut également observer dans certains cas un hématome et/ou une ecchymose au niveau de la région touchée. L'absence de ce dernier n'est pas corrélée avec une lésion mineure (39). Les examens complémentaires préférentiels pour objectiver une lésion myo-aponévrotique sont l'échographie (40) et l'IRM pour les zones lésées plus profondes (34).

2.2.2 Épidémiologie

Les lésions myo-aponévrotiques font partie des blessures les plus fréquentes dans le monde du sport chez l'homme comme chez la femme (41)(42). Cependant, dans le football par exemple, le taux d'incidence de cette blessure est plus important chez l'homme que chez la femme (43). La dernière publication de **Ekstrand & al de 2023**, sur près de 4000 joueurs de football, indique les LMA aux ischio-jambiers constituent 24% de toutes les blessures dans le football masculin professionnel et avec, de surcroît, une augmentation croissante (44). La LMA des IJ est retrouvée dans de nombreux sports mais préférentiellement dans ceux impliquant des sprints et sauts mais aussi le mouvement de frappe de balle. On retrouve donc le football en tête de liste (45)(3) mais aussi le rugby (46) ou encore le football américain (47). L'incidence de ces blessures augmente avec des gros volumes d'entraînement du sport (48)(49). On retrouve donc logiquement une plus grande incidence chez les sportifs de haut niveau. Le chef long du BF est le muscle le plus touché avec une prévalence de 53% dans le football professionnel (50) et de 75% en athlétisme dont 93% au niveau de la jonction myo-aponévrotique (51).

2.2.3 Mécanismes lésionnels

Les lésions musculaires résultent principalement de traumatismes indirects sans contact. Globalement, pour les traumatismes dits « directs » : la lésion est localisée au niveau de l'impact. On parle davantage de contusion dans ces cas. Elles représentent un peu moins de 10 % des lésions totales (50).

Pour ce qui est des traumatismes indirects ou lésions intrinsèques, on décrit trois principaux mécanismes lésionnels :

- « **Sprinting type** » : c'est donc lors **d'une contraction excentrique active au cours d'une accélération** (52)(39). Lors de la fin de la phase oscillatoire du sprint, les IJ génèrent une activité excentrique freinatrice de l'extension du genou avant la phase de contact initiale (53)(54). Lors de cette phase, le groupe musculaire des IJ subit un allongement important dû à la combinaison de flexion de hanche et d'extension de genou. La lésion aux IJ survient si la capacité d'absorption des contraintes des IJ en allongement est dépassée (55)(56). Cette contraction excentrique active entraîne de fortes contraintes sur la desmine et les dystrophines, susceptibles de les endommager. La portion proximale du BF est la plus touchée pour ce mécanisme (57). Cela peut s'expliquer par le fait que le BF est le muscle

des ischio-jambiers le plus allongé et activé durant cette période, car il produit son maximum de force à un degré d'allongement supérieur aux autres chefs des IJ (54).

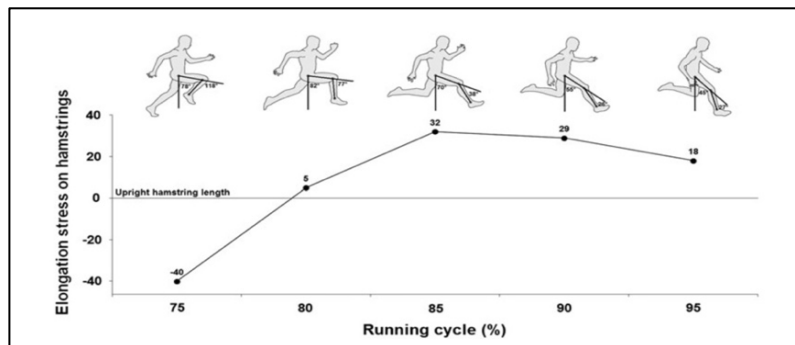


Figure 3 : Allongement des ischio-jambiers pendant le cycle de la course (58)

- « **Overstretching** » : c'est-à-dire lors **d'un étirement excessif, donc un mouvement ample, passif et à haute vitesse** (58). Au niveau des IJ, ce mécanisme de lésion survient donc lors de mouvements comportant une flexion de hanche à haut degré ainsi qu'une extension complète de genou. Cela constitue un dépassement des capacités de résistance du muscle face à une contrainte. Il s'agit par exemple du mouvement de coup de pied, encore sur une course de haies (59)(60). L'ischio-jambier le plus touché pour ce mécanisme est le SM (58). Lors de cet étirement rapide, le point de fragilité se trouve à la jonction des deux biomatériaux (fibre musculaire et aponévrose) dont les structures et les qualités physiologiques sont de nature différente.
- « **Slow speed stretch** » : qui est décrit par Askling comme **un étirement dans des amplitudes très grandes mais à des vitesses très faibles** (61)(62). L'auteur décrit ce mécanisme de lésion principalement pour des lésions proximales des ischio-jambiers. Dans le cas des IJ, il s'agit donc d'une flexion lente et ample de la hanche lorsque le genou est tendu. Ce mécanisme va concerner notamment les danseuses classiques ou encore les gymnastes. Ici encore, le SM est le muscle le plus touché (61).

Le mécanisme « sprinting type » est le plus fréquent. Selon **l'étude de Wangenstein (2017)**, sur 176 sportifs professionnels, 106 lésions sont survenues durant un sprint (63).

2.3 La contraction excentrique

2.3.1 Définition

Il existe différents modes de contraction : le concentrique (CON), l'excentrique, l'isométrique et le pliométrique. Nous nous intéresserons au régime de contraction excentrique.

Lors de la contraction excentrique, les fibres musculaires ne produisent pas assez de force pour résister à l'étirement. Ce mode de contraction est également appelé « freinateur » car le muscle travaille pour ralentir son propre allongement. La contraction EXC intervient généralement lorsque le muscle doit résister à une force externe.

Ce type de contraction entraîne donc un allongement des fibres et les points d'insertion du muscle mis en jeu s'éloignent. Ce travail engendre beaucoup plus de contraintes et de tensions sur le système contractile que les autres types de contractions. En effet, le travail EXC engendre 25 % de tensions en plus que le travail isométrique, avec un nombre moindre d'unités motrices recrutées. Cependant, les contractions EXC sont également associées à une plus grande force de production musculaire que les contractions CON, ce qui en fait un outil utile pour améliorer la force et la puissance musculaire (64). Le travail musculaire EXC est donc recommandé dans la prévention, mais aussi dans le traitement des pathologies musculotendineuses. De plus, ce mode de contraction permet de surcharger le complexe musculaire à un coût énergétique plus faible qu'une contraction CON (65)(64).

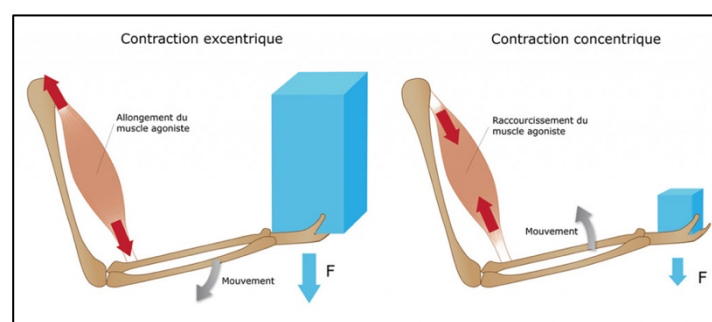


Figure 4 : Modes de contractions : excentrique et concentrique (67)

2.3.2 Adaptations induites par l'entraînement excentrique

Le mode de contraction excentrique est très étudié dans les recherches scientifiques sur les lésions myo-aponévrotiques. Il a déjà été prouvé son intérêt dans la prévention et certains articles vantent ses mérites dans la rééducation de certaines pathologies musculaires (66)(65).

S'il est utilisé avec pertinence et que la charge de travail est bien modulée durant l'entraînement, il présente de nombreux avantages dans la rééducation. En effet, une LMA est un décollement entre les faisceaux musculaires et l'entité aponévrotique sur laquelle ceux-ci s'insèrent. Soit « 3 lésions conjuguées » qu'il faut envisager au moyen d'une « tri-thérapie » : soigner le muscle, soigner le tissu conjonctif et surtout recréer les protéines de liaison. Et pour se faire, de nombreuses études ont étudié les effets de la contraction excentrique sur la physiologie musculaire au niveau macroscopique, mais aussi microscopique.

Différentes études, et notamment celles portant sur les protéines de liaison, nous indiquent que le travail excentrique, qui dans un premier temps détruit ces « agrafes », va provoquer leur reconstruction de ces dernières dans une plus grande quantité et de meilleure qualité. Dès l'application d'un protocole de renforcement excentrique, le pic de reconstruction se situe 72 heures après la première séance (67)(68). De plus, le seul fait d'exercer des contraintes en régime excentrique, permet de solliciter sélectivement les fibres de type II anaérobiques, préférentiellement lésées dans le cadre de LMA (69). Ensuite, le travail excentrique permet une stimulation et une prolifération des cellules satellites de Mauro (69)(70)(71), qui sont responsables de la prolifération des myoblastes (72).

Le régime excentrique améliorerait la synthèse de collagène ce qui favoriserait le remodelage des tendons musculaires et augmenterait également la résistance de ce tissu collagénique de soutien, siège des lésions LMA (73)(64).

Enfin, le travail excentrique permet une modification de l'architecture musculaire des fibres concernées avec notamment une augmentation de la longueur des fascicules musculaires ainsi qu'une augmentation de l'angle de pennation des fascicules (74)(75)(20)(76). On retrouve aussi une modification des propriétés mécaniques par une hausse du nombre de sarcomères en série. En effet, si un muscle possède trop peu de sarcomères disposés en série, ses fibres risquent d'être davantage endommagées. Cette incidence va entraîner un déplacement du pic de couple de force vers des longueurs musculaires plus grandes (64)(77). Le mode excentrique permet également une hypertrophie musculaire avec une surface de section transversale des fibres musculaires augmentée (77).

De surplus, il semblerait que les exercices en allongement permettraient une meilleure récupération des amplitudes articulaires par rapport aux étirements passifs (78). Toutes ces adaptations structurales permettraient une amélioration de la capacité musculaire.

2.3.3 Exercices types excentriques IJ

Il existe une multitude d'exercices pouvant recruter le groupe musculaire des ischio-jambiers selon le mode excentrique (79). L'exercice le plus décrit dans ce domaine est le « **Nordic Hamstring Exercise** » (NHE)(80)(81). En effet, on le retrouve très souvent dans les protocoles de prévention des blessures dans le football ou encore en athlétisme. Il y est couplé à d'autres types d'interventions. Cet exercice consiste à se placer genoux dressés avec une rectitude coxo-fémorale, chevilles maintenues par une tierce personne ou à l'aide d'un espalier pour permettre le contact des pieds au sol. On demande alors au patient de freiner le plus longtemps possible la descente antérieure de son tronc jusqu'à son arrivée au sol ; le tout en gardant impérativement la hanche à 0° d'extension. Le patient remonte ensuite avec l'aide de ses mains sur la phase concentrique de l'exercice. Cet exercice peut se révéler relativement difficile pour un débutant.



Figure 5 : Exercice « Nordic Hamstring Exercise » (NHE) (84)

L'autre grand exercice recrutant les ischio-jambiers selon le mode excentrique va être le soulevé de terre uni ou bilatéral ou « **stiff-leg deadlift** » (79). Il consiste à soulever du sol une barre chargée jusqu'à la position debout, le tout en gardant le dos droit puis redescendre de la même manière la barre au sol. La phase qui recrute les ischio-jambiers selon le mode excentrique est la phase au cours de laquelle on abaisse la barre jusqu'à ce qu'elle touche le sol.

Il existe un autre exercice appelé « **Diver** » qui se base pratiquement sur le même schéma. Le sujet ralentit au maximum la flexion du buste tout en gardant la jambe en extension.



Figure 6 : Exercice « Bilateral stiff-leg Deadlift » (84)

Nous pouvons également citer le « **leg curl** » qui se fait sur une machine de musculation permettant d'effectuer des flexions de genou en position allongée (79)(82). C'est un exercice d'isolation permettant de cibler les ischio-jambiers. On peut travailler particulièrement la phase excentrique à l'aide de consignes précises données au patient. Il consiste à se tenir en décubitus ventral sur la machine. La résistance est placée au niveau du tendon d'Achille. Le sujet effectue d'abord une flexion de genou, qui peut être aidée. Une fois qu'il a atteint la position maximale de la contraction concentrique, le patient doit résister à la descente de la résistance vers l'extension de genou en gardant le contrôle de la vitesse. Il est important dans cet exercice de surveiller les compensations possibles notamment au niveau de la hanche et de le réaliser à vitesse lente.

2.4 Le retour au sport

2.4.1 Définition

"Quand pourrai-je rejouer ?". Cette simple question introduit un concept très spécifique que les anglo-saxons appellent « Return to Play » (RtP). Cependant, bien que ce concept soit fondamental dans de nombreuses pathologies sportives, il reste mal défini. « Retour au sport », « Retour à la compétition », « Retour à l'activité », « Retour à la participation », « Retour au niveau d'avant la blessure » ne sont que quelques-unes des expressions utilisées pour définir quand un athlète est déclaré apte à retourner sur le terrain (83)(84). Bien qu'ils puissent sembler similaires, le fait qu'il n'y ait pas de définition précise peut entraîner des malentendus et des incohérences entre les différents acteurs impliqués dans la rééducation des athlètes. En effet, si l'on prend la « reprise du sport » comme exemple, est-ce le moment où les sportifs reprennent leur activité physique ? Ou est-ce le moment où ils jouent un match à nouveau ? Selon la

réponse, le temps de récupération variera pourtant. En plus de l'absence d'une définition claire du retour au sport (RTP), il n'y a pas de consensus dans la littérature sur le moment où un athlète est prêt à reprendre le jeu après une lésion aux IJ. Si nous devons retenir une définition précise, celle établie par **N. van der Horst & al (2017)** semble être un bon compromis : « *le moment où un joueur a reçu une autorisation médicale basée sur des critères et est mentalement prêt pour une disponibilité complète pour la sélection du match et/ou l'entraînement complet* » (85)(86).

2.4.2 Critères

Bien que la définition reste contestée, on peut citer **la revue de Sherry (2015)** qui fournit certains critères à remplir que l'on retrouve fréquemment dans la littérature scientifique (87). Ils restent cependant discutables pour certains experts (8)(7). Nous avons donc :

- Pas de douleur à la palpation au niveau de la blessure ;
- Une force maximale des IJ CON et EXC dans une position longue similaire au côté sain.
Si effectué avec une machine isocinétique, la différence par rapport au côté sain ne doit pas dépasser 5 %
- Une endurance musculaire (CON et EXC) similaire
- Des propriétés neuromotrices symétriques
- Une absence de peur ou d'appréhension lors du test H d'Askling
- Une répétition de courses à haute intensité sans gêne ni douleur

Certaines études insistent également sur l'intérêt de réaliser des tests fonctionnels spécifiques du sport pratiqué comme le précise **la revue de littérature de Erickson & al (2017)** (88).

2.5 La force

2.5.1 Définition

La force musculaire est définie comme la capacité d'un muscle à produire de la force. Elle se distingue des qualités de puissance et d'endurance musculaire. Des études ont montré que la force musculaire peut être améliorée grâce à un entraînement musculaire régulier (89). Il existe différents types de force musculaire, qui sont définis en fonction du type de mouvement produit par la contraction musculaire, telles que la force dynamique et la force statique ou isométrique (90).

La force musculaire isométrique est mesurée lorsque l'activation musculaire est maintenue à une longueur musculaire fixe. En revanche, la force musculaire dynamique correspond à une activation musculaire avec des variations dans la longueur des fibres musculaires (91). On peut décomposer cette dernière en deux « régimes » de contractions distincts : concentrique et excentrique. La force musculaire concentrique est la capacité d'un muscle à générer une force en raccourcissant sa longueur (92). Enfin, nous avons la pliométrie qui correspond à des mouvements explosifs intégrant ces deux modes de contractions (EXC puis CON)(93).

2.5.2 Mesure de la force

Lorsqu'il s'agit de patients présentant des pathologies musculosquelettiques, l'évaluation de la force musculaire est une considération clinique importante. Elle fournit une base d'informations lors de la première consultation du patient et permet également de suivre quantitativement l'efficacité du traitement. La force musculaire peut être mesurée à différentes positions angulaires pour explorer différentes zones de la relation tension-longueur d'un muscle. De plus, les modalités de mesure peuvent différer selon les études : contractions maximales demandées, régimes de contractions différents, etc.

Tout d'abord, il existe **le test de force manuelle**. Il est effectué par un thérapeute qui applique une résistance manuelle à la flexion du genou tandis que le patient essaie de fléchir le genou contre cette résistance. Le patient peut également résister au thérapeute qui amène l'extension du genou. Le thérapeute attribue donc lui-même la cotation pour chaque groupe musculaire, cotation le plus souvent sur 5 (selon le testing de Daniel et Worthingham)(94). Ce test peut donner une estimation de la force des ischio-jambiers, mais peut être influencé par la force du testeur. Dans **l'étude de Bohannon (1986)**, on recommandait déjà d'utiliser des outils plus performants que le testing manuel pour mesurer la force musculaire, notamment pour les cotations 4 à 5 ou le testing ne s'avère ne pas être assez précis (95).

Ensuite, il existe deux options pour mesurer quantitativement la force musculaire : les dynamomètres isocinétiques et les dynamomètres manuels :

- Le **dynamomètre isocinétique** (ex : Biodex, Cybex) peut mesurer différents aspects de la force musculaire, telles que la force excentrique et concentrique, et fournir des courbes qui en montrent l'évolution. Il est considéré comme un outil fiable et précis pour

mesurer la force musculaire, et est largement considéré comme l'appareil de référence, souvent appelé le "Gold standard", pour ce type de mesure (96).

- Le **dynamomètre manuel**, également connu sous le nom de dynamomètre à main, est un outil de mesure de la force que les thérapeutes peuvent utiliser. Il est placé entre la main du thérapeute et la partie du corps du patient à tester, comme lors d'un test musculaire manuel. Cet appareil fournit une mesure quantitative de la force musculaire (96).

3. Problématisation et hypothèses

La LMA aux IJ représente une part importante des blessures dans le monde du sport et les conséquences qui en découlent sont nombreuses. De plus, l'intérêt clinique du renforcement excentrique n'ayant pas encore été prouvé dans sa rééducation, il semble intéressant d'étudier son efficacité. Compte tenu des différents éléments abordés dans notre cadre conceptuel, il se dégage la question de recherche suivante :

Le renforcement excentrique est-il pertinent dans la rééducation des lésions myo-aponévrotiques aux ischio-jambiers sur la réduction du temps de retour au sport et de la récupération de la force musculaire ?

Nous formulons différentes hypothèses de réponses. Un programme avec du renforcement excentrique permet d'accélérer le retour au sport par rapport à un programme sans. Il permet également de retrouver une force des IJ similaire à la jambe saine à l'examen final, contrairement au programme sans renforcement excentrique.

4. Méthodologie

4.1 Choix de la méthode

Afin de répondre à notre problématique, nous avons fait le choix de réaliser une revue de littérature. Elle est définie comme « cherchant à rassembler toutes les données disponibles pour répondre à une question de recherche spécifique, selon des critères d'éligibilité préétablis, et visant à minimiser les biais en utilisant des méthodes systématiques explicites ».

4.2 Critères PICO

Dans le but de simplifier nos recherches et d'obtenir les réponses les plus pertinentes, nous avons défini notre question de recherche selon les critères PICO (97). L'acronyme PICO

se compose des termes : Population, Intervention, Comparateur et Outcom. Nous détaillons donc les notions clés de notre question.

Tableau I : Critères PICO

Population	Sportifs atteints de lésions myo-aponévrotiques aux ischio-jambiers
Intervention	Protocole de rééducation comprenant du renforcement excentrique
Comparateur	Autres modalités d'interventions
Outcoms	Temps de retour au sport Force musculaire

4.3 Bases de données interrogées

Nous avons fait le choix d'utiliser deux bases de données scientifiques : *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro) et PubMed du *National Center for Biotechnology*. Nous avons fait le choix de la base de données PEDro pour sa spécificité en physiothérapie. Tandis que PubMed est la base de données la plus conséquente (plus de 16 millions d'articles recensés en 2016) sur les publications biomédicales.

4.4 Mots-clés

Afin de réaliser nos équations de recherche dans les différents moteurs de recherches, nous avons tout d'abord défini les mots clés nécessaires pour optimiser nos recherches. Nous avons défini nos termes principaux, puis nous les avons traduits en anglais à l'aide du site *HeTOP* ou encore *MeSH*, portails qui incluent les principales terminologies en santé. Ils permettent aussi la recherche de synonymes de ces termes.

Tableau II : Mots-clés

Lésions myo-aponévrotiques	(Muscle) Injury / Strain
Ischio-jambiers	Hamstring
Protocole de rééducation	Rehabilitation / Protocols / Programs
Renforcement excentrique	Eccentric / strengthening / eccentric training / eccentric exercises / lengthening exercises
Retour au sport	Return to play
Force musculaire	Strength
Sportifs	Athletes

4.5 Équation de recherche

Au vu du nombre conséquent de publications sur le travail excentrique, il a fallu organiser les termes entre eux à l'aide des opérateurs booléens tels que « AND » et « OR » afin de préciser notre question sur le moteur de recherche PubMed. Nous nous sommes rendus compte que certains mots-clés entraînaient un trop grand bruit documentaire, nous avons donc fait le choix de les retirer de notre équation de recherche PubMed. Nous utiliserons la troncature

avec le caractère « * » qui remplace des lettres manquantes à la fin des mots « injury » et « strain ». Cela permet de sélectionner plusieurs termes ayant une racine commune, ainsi que de rechercher le singulier et le pluriel de ces mots. Enfin, nous avons fait le choix d'utiliser l'opérateur « NOT » afin d'exclure le terme « ACL » après avoir fait le constat que de nombreuses études traitant de participants atteints de LMA suite à une rupture du ligament croisé antérieur (ACL en anglais) étaient incluses avec notre équation initiale.

Ensuite, PEDro ne reconnaît pas les opérateurs booléens, nous n'en avons donc pas utilisé. De plus, l'ajout du terme rééducation (« rehabilitation ») dans l'équation de recherche entraîne un silence documentaire, nous l'avons donc supprimé. Nous avons par la suite ajouté en recherche avancée le terme proposé « Strength training » pour la catégorie « Therapy ». Nous avons par la suite sélectionné les études datant d'après 2000 afin que les études proposées ne soient pas dépassées par rapport aux connaissances actuelles sur le traitement des LMA.

Tableau III : Équations de recherches et résultats associés

Moteur de recherche	Équation utilisée	Filtres utilisés	Nombre de résultats (n)
PubMed	Hamstring AND (injur* OR strain* OR "muscle injur*" OR "muscle strain*") AND (eccentric OR "eccentric training" OR "lengthening exercises" OR "eccentric exercises" OR strengthening) NOT ACL	Période : 2000-2023	n = 145
PEDro	Hamstring Injury	Catégorie « therapy » : « Strength training » Période : depuis 2000	n = 63

4.6 Critères d'inclusion

Afin de sélectionner les ressources les plus pertinentes pour répondre à notre question de recherche, nous avons établi des critères d'inclusion et d'exclusion permettant un triage efficace des résultats initiaux.

Tout d'abord, nous conservons uniquement des articles **rédigés en anglais et/ou en français** dans un souci de compréhension de l'étude. Toute autre langue utilisée est donc exclue. Ensuite, en regard de la consistance de la littérature sur le sujet, nous avons choisi d'inclure comme design d'étude uniquement des **essais contrôlés randomisés (ECR)** afin d'obtenir un bon niveau de preuve, ainsi, nous excluons les revues narratives, revues

systématiques, les avis d'expert, les guidelines ou autre consensus et articles de colloque. Nous avons également sélectionné des études avec le texte intégral accessible.

Nous reprenons ensuite nos critères PICO pour les thématiques souhaitées. Tout d'abord, concernant les participants des études, les sujets devront être des **hommes ou femmes sportifs** donc une population adulte ou adolescente pratiquant une activité physique au moins une fois par semaine. Tous les types de sports sont inclus. Toutes études s'intéressant à une population gériatrique (> 80 ans) ou pédiatrique (< 15 ans) seront donc exclues.

Les sujets devront présenter une **lésion myo-aponévrotique isolée aux muscles ischio-jambiers**. Nous incluons toute lésion aigüe ou chronique. Le diagnostic de la lésion est libre. Nous excluons toutes les ruptures complètes/avulsions des IJ. Toute étude s'intéressant à un autre groupe musculaire sera exclue ainsi que les études traitant de patients avec des pathologies associées (rupture du ligament croisé antérieur, lombalgies, pathologies neurologiques).

Ensuite, on devra retrouver comme modalité d'intervention **au moins un exercice de renforcement selon le mode excentrique**. Toute étude ne traitant pas de renforcement excentrique sera alors automatiquement exclue. De plus, si les deux protocoles comparés dans l'étude comprennent chacun du renforcement excentrique, l'étude sera également exclue.

Enfin, nous nous intéresserons au **temps de retour au jeu** de l'athlète blessé ainsi qu'à la **récupération de la force musculaire** de l'athlète. Toute étude traitant de prévention sera exclue ainsi que les études n'ayant pas au moins un de ces deux critères de mesure. Les modalités de mesure de la force musculaire sont libres. Il est nécessaire que l'étude inclue une comparaison intergroupe de la force de la jambe lésée.

5. Résultats

5.1 Évaluation méthodologique des études

Le processus de sélection (*annexe 2*) a permis de sélectionner 5 ECR. La grille PEDro permet d'évaluer la validité interne de ces articles (98). Nous avons préféré la grille d'évaluation PEDro à la « *Revised Cochrane Risk-of-Bias Tool for Randomized Trials* » pour sa spécificité pour les études traitant de protocoles de rééducation (99). De plus, la grille PEDro donne un score par rapport à 11 items, contrairement à la grille Cochrane qui ne définit que 3

catégories de risque de biais (« *high* », « *some concerns* », et « *low* »). Le premier item n'étant pas pris en compte dans le calcul du score, la qualité méthodologique des ECR est donc évaluée par un score de 0 à 10. Un score inférieur à 4 est considéré comme mauvais, un score de 4 à 5 comme acceptable, de 6 à 8 comme bon et de 9 à 10 comme excellent (98). **L'étude de Askling de 2013** (100) obtient le score de 5/10 tandis que **celle de 2014** (101) obtient le score de 4/10. **L'étude de Sherry et Best** (102) possède également un score de 4/10 tout comme **celle de Slider** (103). Enfin, **l'ECR réalisé par Kim** (104) dispose d'un score de 5 /10. Les différents scores, issus de la grille d'évaluation PEDro, des études sont détaillées (*annexe 3*). Nous détaillerons les différents biais retrouvés dans la discussion de cette revue de littérature.

5.2 Description des études

5.2.1 Présentation générale

Le processus de sélection a conduit à retenir **5 études contrôlées randomisées** publiées entre 2004 et 2018 (101)(100)(102)(103)(104). Elles sont détaillées dans le tableau V (p.30).

Toutes les études retenues ont sélectionné une population initiale entre 13 et 75 participants. On dénombre un total de 192 sujets qui ont terminé leurs études respectives, avec une proportion de 127 hommes pour 35 femmes, répartis en deux groupes. Il y aura le groupe comportant du renforcement excentrique, appelé groupe « Excentrique » (GE) tandis que le groupe sans renforcement EXC sera appelé groupe « Contrôle » (GC). Tous les GC et GE des ECR ont une majorité masculine, sauf **l'étude de Kim & al** dans laquelle les deux groupes sont à majorité féminine (104). Les critères d'inclusion et d'exclusion se rejoignent dans la majorité des études : les patients doivent être des sportifs/athlètes atteints d'une lésion myo-aponévrotique des IJ, être en capacité de réaliser un programme de rééducation, ne pas avoir de pathologies associées (atteintes neurologiques, lombalgies, rupture ligament croisé antérieur).

Toutes les études comparent les effets d'un protocole de rééducation comprenant au moins un exercice de renforcement des ischio-jambiers en contraction excentrique (GE), par rapport à un protocole « contrôle » ne comprenant lui aucun exercice de renforcement excentrique (GC). Au niveau des effets mesurés, trois des cinq ECR possèdent comme critère de jugement le temps de retour au sport (100)(101)(102). Un ECR s'intéresse à la force musculaire des ischio-jambiers (104) et un ECR mesure simultanément ces deux critères (103).

5.2.2 Population

Tout d'abord, dans **les deux études d'Askling (100)(101)** il s'agit d'une population de sportifs professionnels. Dans la première étude réalisée par **Askling & al (2013) (100)**, les auteurs ont recruté 75 footballeurs/footballeuses de haut niveau, provenant majoritairement des 2 plus hautes divisions suédoises (67 sur 75) et répartis aléatoirement dans le groupe « Excentrique » (C-protocol) et le groupe « Contrôle » (L-protocol). Dans la **seconde étude de 2014 (101)**, nous avons 56 athlètes d'« élite » faisant partie du top 20 national des catégories « juniors » (15-19 ans) ou « seniors » (plus de 20 ans) dans les disciplines de sprints (n=38) ou de sauts (n=10, dont 8 dans les types de sauts horizontaux) en indoor ou outdoor. Aucun abandon n'est relevé pour les deux études. Les participants sont également répartis de façon randomisée entre les 2 groupes. Les auteurs précisent que la randomisation est stratifiée selon le sexe du participant et le type de blessure dans les deux ECR ainsi que selon l'implication du tendon proximal des IJ dans **l'étude de 2014**.

Ensuite, dans **l'étude de Sherry & al (2004) (102)**, nous retrouvons 28 sportifs atteints de LMA (4 sujets ont été exclus de l'étude par la suite), dont le niveau de pratique n'est pas précisé, qui ont été recrutés à l'aide d'affiches et de contacts avec des médecins, des entraîneurs sportifs et des kinésithérapeutes. Ils ont été répartis aléatoirement dans le groupe « Contrôle » (PATS) et le groupe « Excentrique » (STST). La randomisation est stratifiée selon l'âge et le sexe des participants. Les sports pratiqués sont multiples : football, basketball, baseball, softball, hockey, athlétisme, ultimate, triathlon, cross- country, tennis.

La quatrième publication est **celle de Silder & al (2013) (103)**, datant de mai 2013. Les sujets ont été identifiés et recrutés par l'intermédiaire de médecins, d'entraîneurs et de kinésithérapeutes du sport. La randomisation, par un biostatisticien indépendant, a donc été effectuée sur 29 sujets pratiquant des sports avec des courses à hautes vitesses entre le groupe « Contrôle » (PATS) et le groupe « Excentrique » (PRES). La randomisation est stratifiée selon plusieurs paramètres : âge, blessure initiale ou récidivante, mécanisme lésionnel. On relève 5 sujets qui ne sont pas allés jusqu'aux tests de RTP. Les auteurs renseignent que les sujets ont une pratique de leurs sports respectifs à hauteur de 3 fois par semaine. Il y a 5 participants qui ont été exclus au cours de l'étude.

La dernière **étude de Kim & al (2018)** (104), comporte un total de 16 danseurs traditionnels coréens, recrutés au sein de groupes de danse de Corée du Sud et répartis aléatoirement entre deux groupes. On relève 3 abandons au sein de cette étude.

Dans **les études d'Askling**, la LMA est objectivée avec les mêmes critères diagnostic : lorsqu'on retrouve à l'examen clinique une douleur à la palpation des muscles ischio-jambiers, une douleur localisée lors d'un test passif d'élévation de jambe genou tendu (SLR test)(105), une augmentation de la douleur lorsqu'on demande une contraction isométrique des ischio-jambiers pendant ce même test. Une IRM est également effectuée et un muscle est considéré comme blessé lorsqu'il révèle une intensité de signal élevée, signe d'un œdème, par rapport à celui non blessé (34). De plus, les sujets ont été interrogés sur les circonstances de survenue de la lésion, c'est-à-dire les mouvements ou les exercices au cours desquels la blessure s'est produite. Comme la majorité des sujets vient du monde professionnel, des vidéos du mécanisme de la blessure sont disponibles dans une grande partie des cas.

Dans **l'étude de Sherry**, l'auteur principal de l'étude réalise, sur 30 minutes, un bilan de leurs antécédents médicaux ainsi qu'un interrogatoire, le tout suivi d'un examen physique. Les lésions ont été classées au premier ou au deuxième degré sur la base de la description originale de Craig (106). Mais ce système de classification a une certaine subjectivité qu'il est important de souligner. On considère ici les sujets atteints d'une lésion musculaire des ischio-jambiers si on ressort de l'interrogatoire un mécanisme lésionnel typique susceptible d'entraîner une lésion des muscles ischio-jambiers et de l'examen clinique : une sensibilité à la palpation dans l'unité muscle-tendon de l'ischio-jambier concerné, une douleur à la flexion du genou contre résistance, une douleur avec un test passif d'élévation de la jambe genou tendu (SLR test), et enfin une limitation de l'activité quotidienne ou sportive.

Au sein de **l'étude de Silder**, tous les sujets ont reçu un examen physique et une IRM dans les 10 jours suivant la lésion. La lésion des ischio-jambiers est confirmée par un kinésithérapeute. Il doit retrouver obligatoirement un mécanisme d'apparition soudaine et la présence d'au moins 2 des critères suivants : douleur à la palpation le long de l'un des muscles ischio-jambiers, douleur postérieure de la cuisse lors du SLR test (sans symptômes radiculaires), une faiblesse musculaire en flexion du genou contre résistance, et/ou une douleur au niveau de la loge postérieure des ischio-jambiers pendant le sport ou la course à pied.

Enfin, dans **l'étude de Kim**, les auteurs considèrent le sujet inclus si la lésion est unilatérale et modérée (grade 2)(107) et est confirmée par un auto-questionnaire des lésions des ischio-jambiers décrit par Askling (108).

Dans **les études de Sherry et de Silder**, pour inclure les sujets dans l'étude, les sujets doivent présenter une lésion survenue au cours des 10 derniers jours. **Askling & al** précisent également que le délai entre la survenue de la lésion et le début de la rééducation est de 5 jours. Enfin, **Kim & al** incluent dans leur étude toute lésion survenue au cours des 8 derniers mois.

5.2.3 Interventions

Nous détaillons chaque protocole de rééducation utilisé. (*annexe 4*). Dans **les deux études d'Askling & al**, chaque protocole de rééducation consiste en trois exercices différents, où le premier exercice vise principalement à augmenter la souplesse des ischio-jambiers, l'exercice 2 à un exercice combiné pour la force et la stabilisation du tronc et du pelvis et l'exercice 3 à davantage un exercice de renforcement spécifique (*annexe 5*). Pour ce qui est du groupe « Excentrique », l'exercice 1 est appelé « *The Extender* » et consistait à tenir et stabiliser la cuisse de la jambe blessée avec la hanche fléchie à environ 90°, puis à effectuer des extensions lentes du genou jusqu'à ce que la douleur soit ressentie. L'exercice 2 est « *The Diver* » et s'articule un peu comme l'exercice du soulevé de terre où on demande au patient de fléchir la hanche (à partir d'une position verticale du tronc) avec une jambe restée au sol semi-tendu (10-20° de flexion de genou) et d'amener les bras vers l'avant et une extension maximale de la hanche de la jambe soulevée (jambe à 90°) tout en gardant le bassin horizontal ; le genou doit être maintenu en extension pour la jambe soulevée. Cet exercice doit être effectué à vitesse très lente. Le dernier exercice, nommé « *The Glider* », consiste à partir d'une position avec un tronc droit. La totalité du poids doit être sur le talon de la jambe blessée avec un genou fléchi à 10-20° maximum. Le mouvement commence avec l'autre jambe qui glisse vers l'arrière grâce à un support glissant et s'arrête avant que la douleur ne soit provoquée. Le mouvement de retour à la position de départ se fait à l'aide des deux bras, et non pas avec la jambe blessée. La progression pour cet exercice consiste à augmenter la longueur glissée et la vitesse d'exécution. Le protocole C, appuyant moins sur l'allongement, consiste en un exercice d'étirement en contracté/relâché, à un renforcement concentrique en extension de hanche et à un exercice d'inclinaison pelvienne. Les protocoles des GC sont détaillés plus précisément en *annexe 4*.

Dans **l'étude de 2014**, les auteurs ont décidé de rajouter un programme général de réadaptation avec une progression spécifique au sujet qui a été suivi par tous les athlètes et dans les deux protocoles. Ce programme commun, mis en œuvre par le responsable de test, comprend notamment du vélo stationnaire pendant 10 minutes, des sauts rapides sur place 10 fois 20 secondes, 10 fois du jogging sur 40 mètres avec de courtes foulées, 10 fois 10 mètres d'accélération en avant et en arrière. Lorsque la partie ci-dessus du programme général peut être réalisée sans douleur, les athlètes entament un programme de course progressive composé d'exercices de course à grande vitesse (6×20, 4×40 et 2×60 mètres). En complément de ces deux programmes, l'athlète peut également suivre autant que possible son programme d'entraînement habituel, supervisé par l'encadrement habituel, sans ressentir de douleur ou d'inconfort.

Dans **l'étude de Sherry & al**, chaque groupe est composé de 2 phases de traitement. Dans la première phase de traitement pour chaque groupe, de la glace est appliquée sur la loge postérieure de la cuisse pendant 20 minutes après avoir terminé les séances de rééducation quotidiennes. Les sujets sont passés des exercices de la première phase aux exercices de la seconde phase lorsqu'ils peuvent marcher avec la même longueur de pas, qu'ils ont un temps similaire en appui unipodal sur la jambe saine et sur la jambe blessée et qu'ils sont capables de faire une élévation du genou sur place sans douleur. Pour rappel, le protocole STST consiste en des étirements, des exercices de résistance progressive et l'application de glace. Les exercices de phase 1 sont portés sur l'étirement statique et le renforcement isométrique des ischio-jambiers. Tandis que dans la phase 2, l'étirement dynamique est incorporé dans le protocole tout comme le renforcement concentrique et excentrique des ischio-jambiers. Les exercices selon le mode excentrique sont le « *leg curl* » qui consiste simplement à résister à l'extension de genou en position couchée. On retrouve aussi l'exercice « *Foot catches* » qui consiste à reproduire la phase « *swing* » de la course durant laquelle les IJ se contractent en excentrique afin de freiner l'extension complète du genou (*annexe 5*). Concernant le groupe contrôle, nous précisons que les exercices du protocole PATS font référence à des exercices où l'on a un travail de renforcement du tronc et du bassin pour maintenir la colonne vertébrale et le bassin dans une posture ou un alignement souhaité.

Dans **l'étude de Silder & al**, chaque protocole est composé de 3 phases de traitement. Durant la première phase, de la glace est appliquée sur la face postérieure de cuisse pendant 20 minutes, à la suite de chaque séance de rééducation. Le passage à la phase 2 est permis lorsque

le sujet peut marcher avec la même longueur de foulée, réaliser un appui unipodal sur le membre lésé et sain durant le même temps et initier une contraction isométrique des ischio-jambiers sans douleur à 90° de flexion du genou avec une évaluation manuelle musculaire jugée à, au moins, 4/5 selon le testing musculaire. Enfin, les sujets passent à la phase 3 lorsqu'ils sont capables de marcher en avant mais aussi en arrière avec la même longueur de foulée, de réaliser un appui unipodal sur le membre blessé et non blessé le même temps et de montrer un score de 5/5 lors du testing musculaire manuel des muscles IJ dans 3 conditions particulières : à 90 ° de flexion de genou avec le tibia en position neutre, en rotation interne et en rotation externe. Le protocole PATS modifié, qui correspond à une modification du protocole PATS d'origine, est composé de 3 phases permettant l'application d'une résistance plus progressive. Les deux premières phases restent identiques, cependant, une troisième phase est ajoutée au cours de laquelle la vitesse et/ou la résistance des mouvements est augmentée. Le groupe « Excentrique » suit le protocole PRES qui est composé, dans sa phase 1, de courses à faible allure et de renforcement isométrique des ischio-jambiers. Dans la phase 2, des exercices de renforcement selon les régimes de contraction concentrique et excentrique sont intégrés. Des exercices comme le « *prone leg curl* » ou le « *Foot catches* » sont ajoutés dans cette phase. Enfin, la phase 3 est basée sur des exercices de renforcement musculaire à haute intensité, purement excentrique, auquel on rajoute une composante de puissance. Lors de cette phase, on retrouve notamment comme exercice le très plébiscité « *Nordic Hamstring Exercise* » que l'on a décrit plus haut et qui est l'exercice de référence en termes de renforcement excentrique des ischio-jambiers mais aussi d'autres exercices avec augmentation de la résistance comme l'exercice « *Foot catches* ». Pour compléter, concernant les deux dernières phases, le programme de course du protocole PRES consiste en des séries de sprints avec accélération et décélération progressives.

Enfin, dans l'étude de Kim & al, l'intervention a été conçue et modifiée sur la base d'études antérieures et d'exercices thérapeutiques de base. Dans le protocole « Excentrique », on retrouve notamment des étirements statiques et dynamiques, des exercices de renforcement des IJ en concentrique et excentrique mais aussi du travail de stabilisation de la posture. Pour l'exercice de renforcement excentrique, le sujet est allongé sur le dos. En contractant les ischio-jambiers, il consiste à résister à la flexion de hanche amenée par le sujet lui-même à l'aide d'un élastique accroché au talon. La jambe concernée doit avoir le genou en extension durant la totalité de l'exercice (annexe 5). Les sujets effectuent cet exercice à 10 reprises. Le groupe «

Contrôle » reçoit des antidouleurs classiques et des séances de kinésithérapie uniquement pour le contrôle de la douleur, sans exercice.

Pour ce qui est des modalités d'application des protocoles, dans **les études d'Askling**, les séances de rééducation sont supervisées au moins une fois par semaine pendant toute la période de réadaptation. La vitesse et la charge sont augmentées selon la progression du sujet. L'intensité et le volume de la charge de travail ont été rendus aussi égaux que possible entre les deux protocoles. Les exercices demandés dans les deux protocoles peuvent se faire à domicile et sans équipement spécifique. Le programme général de rééducation ajouté dans **l'étude de 2014**, est réalisé trois fois par semaine. Il est supervisé semaine après semaine par le kinésithérapeute responsable du club d'athlétisme de l'athlète, et ce, durant toute la période de réhabilitation.

Dans **l'étude de Sherry**, les deux programmes de réadaptation se présentent sous la forme de programmes quotidiens d'exercices à réaliser à domicile. On demande aux sujets d'évaluer leur assiduité aux exercices des protocoles respectifs en enregistrant les jours où ils ont effectué leur programme de rééducation complet sur un journal et de le rapporter à chaque visite de suivi. Les visites de suivi sont programmées en fonction des progrès du patient et du rapport des symptômes, qui sont recueillis par des appels téléphoniques ou par courrier électronique tous les 3-4 jours. Les sujets ont cette visite « clinique » au moins tous les 7 jours afin de vérifier la bonne réalisation des exercices et de réévaluer leur statut. Si les sujets ont effectué leurs exercices pendant moins de 7 fois au cours des 10 derniers jours, ils ne sont pas inclus dans l'étude. C'est l'auteur principal de l'étude qui a supervisé les programmes de réadaptation pour les deux groupes.

Pour **l'étude de Silder**, les séances de rééducation doivent être réalisées à hauteur de 5 jours par semaine et peuvent se faire à domicile. Pour ce qui est du suivi, les modalités sont les mêmes que celles de **l'étude de Sherry & al**, avec la supervision par le même kinésithérapeute tout du long, qui, dans cette étude, est aveuglé à toutes informations obtenues lors des examens cliniques et IRM initiaux des participants.

Enfin, dans **l'étude de Kim**, les participants au groupe « Excentrique » suivent leur programme sous la supervision d'un kinésithérapeute qualifié et d'assistants. Le programme de réadaptation est répété trois fois par semaine pendant 8 semaines au sein d'un laboratoire.

5.2.4 Outcoms

Quatre études retenues dans notre revue de littérature étudient chacune le temps de retour au sport mais avec deux définitions distinctes. Pour préciser notre propos, 2 paramètres sont donc mesurés en fonction des articles pour définir le temps de retour au sport : le « *Return to Play* » (RtP) et le « *Return to Sport* » (RTS). Le RtP est défini par le délai entre la blessure et le retour à la compétition ou l'entraînement sans restriction avec capacité de jouer en compétition (101)(100). Le RTS est défini par le délai entre la blessure et le retour à l'entraînement, avec ou sans restriction, qui s'apparente plutôt à la durée de la rééducation (102)(103).

Tableau IV : Définition utilisée pour le temps de retour au sport

	Askling & al (2013)	Askling & al (2014)	Sherry & al (2004)	Silder & al (2013)
RtP	X	X		
RTS			X	X

Pour des raisons pratiques, la mention de « retour au sport » (RTP) employée dans ce mémoire regroupera ces 2 termes en une unique notion, plus globale, de retour à la pratique sportive.

Concernant les modalités de mesure du temps de retour au sport, dans **les études d'Askling**, on apprend que le même évaluateur effectue l'examen clinique chaque semaine jusqu'à ce qu'il n'y a aucun signe de blessure restante. Cet examen clinique comprend une évaluation manuelle de la souplesse et de la force des ischio-jambiers du côté atteint et non atteint. De plus, lorsque l'examen clinique ne montre aucun signe de blessure restante, le test H d'Askling est effectué (109). Pendant ce test, le participant est allongé sur le dos sur une table d'examen. Une orthèse est placée sur la jambe blessée, immobilisant le genou en extension complète. L'autre jambe est attachée à la table d'examen en position droite. Ensuite, le participant doit effectuer trois répétitions d'un mouvement actif de flexion de la hanche sur la jambe affectée, dans toute l'amplitude de mouvement disponible. Il est validé lorsque le patient ne ressent plus d'insécurité ou de douleur lors de ce test. Une fois ce test validé et l'examen clinique favorable, on considère que l'athlète est apte. La dernière décision du responsable de test est confirmée par un kinésithérapeute indépendant avant d'être actée.

Dans **l'étude de Sherry**, les patients sont autorisés à retourner au sport lorsqu'ils démontrent au testing manuel une force de 5/5 à la flexion du genou en position allongée avec la hanche en extension neutre, qu'ils n'ont aucune douleur à la palpation le long de la loge postérieure des ischio-jambiers et lorsqu'ils démontrent un état de forme suffisant à la suite de tests d'agilité et de course. De plus, le jour J du retour au terrain, des tests fonctionnels sont également réalisés. Les tests fonctionnels administrés par l'auteur principal comprennent les tests « *hop-for-height test* », « *hop-for-distance test* », « *4-hop cross-over test* », ainsi qu'un sprint de 40 yards. Si les sujets de l'étude signalent une sensation de « raideur » ou de « décharge » postérieure lors de leurs tests de course, ils ne sont pas autorisés à reprendre l'activité.

Enfin, dans **l'étude de Silder**, les sportifs sont autorisés à reprendre le sport lorsque : la palpation à la face postérieure de cuisse n'est plus douloureuse, les athlètes ne ressentent pas d'appréhension lors d'une série de sprints progressifs à vitesse maximale et le testing manuel de la force des ischio-jambiers est à 5/5 sur 4 répétitions consécutives. De plus, des examens cliniques initiaux et finaux sont menés par le même kinésithérapeute, qui est en aveugle de l'intervention.

Ensuite, concernant la mesure de la force musculaire, nous relevons deux études qui ont analysé ce critère. Tout d'abord, au sein de **l'étude de Silder**, on réalise un examen physique complet final. Il comprend notamment des mesures bilatérales de l'amplitude des mouvements, un testing musculaire et une évaluation de la douleur. Les tests de force consistent à un testing manuel classique dans différentes positions et sont cotés sur 5. La force isométrique de flexion de genou est mesurée avec le sujet couché, hanche à 0° et le genou fléchi à 90° et 15°. Lorsque le genou est fléchi à 90°, la force de flexion du genou est également mesurée avec le tibia en rotation neutre, en rotation interne puis en rotation externe. La force isométrique d'extension de hanche est aussi mesurée.

Dans **l'étude de Kim**, les auteurs évaluent la force isométrique des ischio-jambiers à l'aide d'un dynamomètre portatif en utilisant la méthode du « *break test* » (110). Les sujets sont placés sur le ventre et fixés à la table à l'aide de sangles au niveau du bassin et de la jambe controlatérale. On procède à la mesure lorsque le genou est à 90° de flexion. Il est demandé au sujet d'effectuer une contraction maximale en concentrique au moment où l'évaluateur applique une résistance au niveau du talon. On applique cette résistance pendant 3 secondes. La moyenne des trois essais est utilisée. Le même évaluateur effectue toutes les mesures.

Tableau V : Caractéristiques des études incluses

Étude	Auteurs Année	Population : Nombre (N) Profils	LMA : Diagnostic Temporalité	Allocation Caractéristiques des groupes	Groupe « Contrôle » (GC)	Groupe « Excentrique » (GE)	Outcoms
<i>“Acute hamstring injuries in Swedish elite football: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols” (100)</i>	Carl M Askling, Magnus Tengvar 2013	N = 75 Joueurs de football suédois d'élite	Interrogatoire et Examen clinique + IRM Au cours des 5 derniers jours	L-protocol (GE) : 37 patients AM : 25 ± 5 H/F: 34/3 C-protocol (GC): 38 patients AM: 25 ± 6 H/F: 35/3	C-protocol : 3 exercices conventionnels pour les ischio-jambiers, moins axés sur l'allongement	L-protocol : 3 différents exercices visant spécifiquement à charger les ischio-jambiers pendant un allongement important, principalement lors d'actions musculaires excentriques.	Temps de retour au sport Récidive
<i>“Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols” (101)</i>	Carl M Askling, Magnus Tengvar 2014	N = 56 Sprinters et athlètes de saut suédois d'élite	Interrogatoire et Examen clinique + IRM Au cours des 5 derniers jours	L-protocol (GE) : 28 patients AM : 21 ± 4 H/F : 19/9 C-protocol (GC) : 28 patients AM : 19 ± 3 H/F : 19/9	C-protocol : 3 exercices conventionnels pour les ischio-jambiers, moins axés sur l'allongement + programme général de rééducation (dont un programme spécifique de course)	L-protocol : 3 différents exercices visant spécifiquement à charger les ischio-jambiers pendant un allongement important, principalement lors d'actions musculaires excentriques. + programme général de rééducation (dont un programme spécifique de course)	Temps de retour au sport Récidive
<i>“A Comparison of 2 Rehabilitation Programs in the Treatment of Acute Hamstring Strains” (102)</i>	Marc A. Sherry, Thomas M. Best 2004	N = 28 Sportifs avec lésions de grade 1 ou 2 (selon la description de Craig) (106)	Interrogatoire et Examen clinique Au cours des 10 derniers jours	STST (GE) : 11 patients AM : 24.3 ± 12.4 H/F : 9/2 PATS (GC) : 13 patients AM : 23.2 ± 11.1 H/F : 9/4	PATS (Progressive Agility and Trunk Stabilization) : P1 : Exercices PATS dans le plan frontal et transversal + glace P2 : Exercices PATS dans le plan transverse et sagittal + glace	STST (Stretching and Strengthening) : P1 : étirement statique, exercice avec résistance progressive isolé, glçage P2 : étirement dynamique, renforcement concentrique et excentrique	Temps de retour au sport Tests fonctionnels (hop-for-height test, hop-for-distance test, 4-hop cross- over test, and a 40-yard sprint) Récidive
<i>“Clinical and Morphological Changes Following 2 Rehabilitation Programs for Acute Hamstring Strain Injuries : A Randomized Clinical Trial” (103)</i>	Amy Silder, Marc A. Sherry 2013	N = 29 Athlètes avec au moins 3 entraînements par semaine et pratiquant un sport nécessitant des courses à haute vitesse	Examen clinique Au cours des 10 derniers jours	PRES (GE) : 11 patients PATS (GC) : 13 patients AM : 24 ± 9 H/F : 19/5	PATS modifié (de 2 à 3 phases) : P1 : Exercices PATS dans le plan frontal et transversal + glace P2 : Exercices PATS dans le plan transverse et sagittal + glace. P3 : Exercices PATS dans le plan transversal et sagittal avec augmentation de la vitesse et de la résistance + glace	PRES (Progressive Running and Eccentric Strengthening) : P1 : jogging à vitesse faible et exercice isométrique P2 : exercice de renforcement concentrique et excentrique intégrés, sprints P3 : renforcement excentrique avec une composante de puissance, sprints	Temps de retour au sport IRM : longueur crânio-caudale (CC) de la blessure, profondeur de la zone blessée Force musculaire Amplitudes articulaires Douleur
<i>“Effect of stretching-based rehabilitation on pain, flexibility and muscle strength in dancers with hamstring injury: a single-blind, prospective, randomized clinical trial” (104)</i>	Giwon Kim, Hyangsun Kim 2018	N = 16 Danseurs traditionnels coréens avec lésions unilatérales de grade 2 (selon la revue de J. Petersen) (107)	Auto- questionnaire selon l'étude de Carl M. Askling (108) Au cours des 8 derniers mois	Control Group (GC): 6 patients AM: 25 H/F: 1/5 Rehabilitation Group (GE): 7 patients AM: 22,9 ± 2,3 H/F: 2/5	Control Group : Antidouleurs conventionnels et séances de kinésithérapie pour le contrôle de la douleur, sans exercices.	Rehabilitation Group : Étirements statiques et actifs, exercices de gain d'amplitude, exercices de renforcement concentrique et excentrique, exercices de stabilisation posturale	Force musculaire Douleur Souplesse

Cette partie développe les résultats de chaque protocole, en fonction du critère de mesure évalué : le temps de retour au sport ou la force. Les études se réfèrent à des P -value < 0.05 afin de pouvoir rejeter l'hypothèse nulle.

5.3 Résultats sur le temps de retour au sport

L'étude d'Askling & al (2013) utilise le temps de retour au sport comme critère principal de mesure. Dans cette étude, les résultats sont représentés à l'aide d'un diagramme en boîte où l'on retrouve les valeurs médianes ainsi que les valeurs moyennes avec comme indicateurs de dispersion : l'écart-type (SD). Le test U de Mann-Whitney a été utilisé pour évaluer les différences dans le temps de retour entre les différents protocoles. La durée moyenne de retour au sport est de $51 (\pm 21)$ jours pour le GC et de $28 (\pm 15)$ jours pour le GE. On retrouve un temps de retour au sport significativement inférieur pour le groupe « Excentrique » par rapport au groupe « Contrôle » à une P -value « p » $< 0,001$. On constate donc une différence de 23 jours entre les moyennes.

Ensuite, dans **l'étude d'Askling & al (2014)** sur les sprinters, la mise en forme des résultats est similaire à la précédente étude. On retrouve un temps de retour significativement plus court dans le GE par rapport au GC ($p < 0,001$) avec une moyenne de 49 jours ± 26 (avec des valeurs comprises entre 18 et 107 jours) contre 86 jours ± 34 (avec des valeurs comprises entre 26 et 140 jours). Le test U de Mann-Whitney a permis d'évaluer les différences pour le temps de retour entre les différents groupes (GE et GC). On retrouve une différence des moyennes de 37 jours entre les deux protocoles de rééducation. Le « d » de Cohen qui est de -1,21 a été calculé, pour les échantillons indépendants dans cette étude, grâce au test U de Mann-Whitney.

Dans **l'étude de Sherry & al (2004)**, des moyennes de $37,4 (\pm 27,6)$ et $22,2 (\pm 8,3)$ jours dans le GE (STST) et GC (PATs), respectivement, ont été rapportées dès le jour de la blessure jusqu'au retour à la pratique sportive. L'analyse statistique du temps de retour au sport a été faite selon un test de somme de rang de Wilcoxon. Il semble que le temps de retour au sport du groupe « Excentrique » soit inférieur à celui du groupe « Contrôle » mais aucune différence statistiquement significative n'a été trouvée ($p = 0,25$).

Enfin, au sein de **l'étude de Silder & al (2013)**, le temps de retour au sport est de $28,8 \pm 11,4$ et $25,2 \pm 6,3$ jours dans les groupes GE et GC, respectivement du protocole « PRES » et

« PATS modifié », avec aucune différence statistiquement significative ($p = 0,35$). L'analyse statistique du temps de retour au sport a été effectuée à l'aide d'un t-test (de Student) à 2 échantillons.

Tableau VI : Résumé des résultats sur le temps de retour au sport

ECR	Groupes	Durée moyenne de RTP (en jours) $\pm$ écart-type (SD)	« p » P-value « d » de Cohen	Données supplémentaires
Askling & al (2013)	Protocole C (GC)	51 $\pm$ 21	p < 0,001	Étendue : 12 – 94 jours
	Protocole L (GE)	28 $\pm$ 15		Étendue : 8 – 58 jours
Askling & al (2014)	Protocole C (GC)	86 $\pm$ 34	p < 0,001 d = - 1,21	Étendue : 26 – 140 jours
	Protocole L (GE)	49 $\pm$ 26		Étendue : 18 – 107 jours
Sherry & al (2004)	PATS (GC)	22,2 $\pm$ 8,3	p = 0,2455	Erreur type : 2,3 Étendue : 10 – 35 jours
	STST (GE)	37,4 $\pm$ 27,6		Erreur type : 8,3 Étendue : 10 – 95 jours
Silder & al (2013)	PATS modifié (GC)	25,2 $\pm$ 6,3	p = 0,346	Médiane : 23 jours Étendue : 21 – 28 jours
	PRES (GE)	28,8 $\pm$ 11,4		Médiane : 28 jours Étendue : 20 – 33 jours

5.4 Résultats sur la force

Pour ce critère de mesure, nous pouvons relever les résultats de deux études : celle de **Silder & al (2013)** et celle de **Kim & al (2017)**.

Dans l'étude de **Silder & al (2013)**, les résultats sont retranscrits à l'aide d'un tableau répertoriant les valeurs médianes, accompagné de l'étendue entre parenthèses, des cotations du testing musculaire pour chaque jambe (blessée ou saine), avant et après le protocole, et cela, pour le groupe « Contrôle » (PATS modifié) et le groupe « Excentrique » (PRES). Nous observons les mesures de flexion de genou en post-intervention pour la jambe lésée. Pour une flexion de genou de 15°, on retrouve une valeur médiane de 5 pour le GC (PATS) ainsi qu'une médiane similaire pour le GE (PRES). Ensuite pour un genou fléchi à 90°, que ce soit en rotation neutre, en rotation externe (RE) ou en rotation interne (RI), on obtient à chaque fois une cotation médiane de 5 pour le groupe « Excentrique » (PRES) et une médiane semblable, donc de 5

également, pour le groupe « Contrôle » (PATS modifié). Les auteurs précisent que qu'il n'y a aucune différence statistiquement significative, pour chacune de ces 4 catégories, entre les deux groupes à l'issue de leurs protocoles respectifs. De plus, on sait que les auteurs n'ont retrouvé aucune différence statistiquement significative entre les valeurs du test de force mesurées à l'examen clinique initial (lors de la survenue de la blessure) et celles mesurées à l'examen final. Afin d'appuyer nos propos dans la discussion des résultats, nous renseignerons les étendues de chaque modalité de mesure dans le tableau VII.

Dans l'étude de Kim & al (2018), on nous fournit les valeurs moyennes des deux groupes avec comme indicateur de dispersion : l'écart-type (SD). On relève une moyenne de $23,6 \text{ N} \pm 3,3$ pour le groupe « Contrôle » tandis que la moyenne du groupe « Excentrique » est de $24,8 \text{ N} \pm 3,6$. Il semble y avoir un léger écart, mais nous ne retrouvons pas de différence statistiquement significative entre les deux protocoles selon le test U de Mann-Whitney. Cependant, après les 8 semaines de rééducation, on a retrouvé, chez les deux groupes de rééducation, une augmentation significative ($p < 0,05$) de la force musculaire à l'examen final par rapport à l'examen initial.

Tableau VII : Résumé des résultats sur la force

ECR	Groupes	Mesure de la force musculaire (Étendue) ± écart-type (SD)
Silder & al (2013)	PATS modifié (GC)	15° : 5 (4 à 5) 90° : 5 (4+ à 5) 90° RE : 5 (5) 90° RI : 5 (4 à 5)
	PRES (GE)	15° : 5 (5) 90° : 5 (4+ à 5) 90° RE : 5 (5) 90° RI : 5 (4+ à 5)
Kim & al (2018)	Control Group (GC)	90° : $23,6 \text{ N} \pm 3,3$
	Rehabilitation Group (GE)	90° : $24,8 \text{ N} \pm 3,6$

6. Discussion

Les résultats mentionnés précédemment sont ceux fournis par les auteurs, mais il est crucial de comprendre la méthodologie utilisée et la signification clinique de ces résultats. L'objectif de cette discussion est de clarifier ces aspects et de mettre en évidence les limites ainsi que les perspectives de cette revue de littérature.

6.1 Interprétations des résultats

6.1.1 Analyse des résultats du temps de retour au sport

Nous avons 4 ECR analysant le temps de retour au sport. La durée moyenne de retour au sport oscille entre 22,2 jours pour le groupe « Contrôle » de Sherry & al et 86 jours pour le groupe « Contrôle » de Askling (2014). Les temps de retour au sport sont assez hétérogènes et peuvent s'expliquer sur la notion de retour au sport qui diffère en fonction des études.

Dans **l'étude de Sherry & al**, bien que la différence entre les deux groupes (37 jours pour le GE contre 22 jours pour le GC) semble importante, nous n'observons pas de différence significative en termes de RTP entre les deux groupes de rééducation ($p = 0,2455$). Ce décalage peut probablement s'expliquer par l'écart type important du groupe « Excentrique » (STST)($\pm 27,6$). On sait donc que les valeurs sont très dispersées autour de la moyenne, ce qui rend difficile l'obtention d'une différence significative entre les groupes. De plus, on observe dans le GE une étendue de 10 à 95 jours par rapport à une étendue de 10 à 35 jours pour le GC ainsi qu'un faible nombre de sujets (11 patients pour le GE). Ces éléments peuvent expliquer cette différence importante, mais pas significative entre les deux moyennes (102).

Dans **l'étude de Silder & al**, il semble pertinent de ne pas retrouver de différence significative statistique avec un écart entre les moyennes de chaque groupe est limité (25,2 jours pour le groupe GC et 28,8 jours pour le groupe GE). De plus, leurs écarts-types respectifs faibles ($\pm 6,3$ pour le GC et $\pm 11,4$ pour le GE), ainsi que leurs médianes respectives quasi similaires à leurs moyennes (23 jours pour le GC et 28 jours pour le GE), sont les preuves d'une faible variabilité dans leurs résultats (103).

De plus, même si l'on retrouvait une différence statistiquement significative, le gain de temps retrouvé au sein de **l'étude de Silder** (3 jours) est trop faible pour avoir un intérêt clinique. À l'inverse, le gain de temps estimé d'environ 15 jours en faveur du GC dans **l'étude de Sherry** aurait pu être intéressant cliniquement. D'autant plus, lorsque l'on sait que cette étude considère le retour au sport comme un retour à l'entraînement. Et il est plus compliqué de montrer une différence significative sur une période plus courte.

Seules les deux études cliniques menées par **Askling & al** mettent en évidence la supériorité d'un programme de réadaptation par rapport à un autre en termes de temps de retour au sport (RTP). Dans les deux cas, le groupe suivant le protocole L (GE) a montré un RTP

significativement plus court que le groupe suivant le protocole C (GC). Les résultats ont montré que pour les footballeurs suédois, le groupe « Excentrique » a eu un RTP de 28 jours contre 51 jours pour le groupe « Contrôle » ($p < 0,001$), tandis que pour les athlètes suédois, le GE a eu un RTP de 49 jours contre 86 jours pour le GC ($p < 0,001$). Dans l'article de 2014, le d de Cohen est de -1,21, ce qui traduit une taille d'effet très élevée (en valeur absolue, $d > 1,20$)(111). Avec un écart de jours entre les moyennes, entre le GC et le GE, plus élevé que celui de **l'étude de 2013** (37 jours contre 23 jours), le protocole L d'Askling, auquel s'ajoute un programme général de rééducation, présente un intérêt clinique notable pour la prise en charge des LMA aux IJ chez les sportifs. En effet, on sait que dans les deux études de Askling, le retour au sport est objectivé lorsque le sujet est en capacité de jouer/concourir en compétition. En considérant que la blessure survienne en pleine saison et que l'on se base sur le rythme d'un match par semaine dans les sports collectifs les plus étudiés (football, rugby) (48): cela nous ferait gagner 2 à 3 participations supplémentaires à des matchs de compétition, par athlète, comparé au GC. Ces résultats suggèrent donc qu'un programme de renforcement excentrique ciblé permettrait un retour plus rapide à la compétition qu'un programme avec du renforcement « classique » (GC), tel que décrit par Askling. Le fait que deux populations de sportifs différentes (footballeurs et athlètes/sprinters) aient observé le même résultat augmente la généralisation de l'efficacité de ce protocole à une population sportive quelconque (100)(101).

Pour conclure cette partie, seuls les groupes « Excentrique » **des études de Askling** ont montré une réduction de leur temps de retour au sport par rapport aux groupes « Contrôle ». Leurs protocoles associés semblent intéressants, d'un point de vue clinique, pour des sportifs atteints de LMA. D'autant plus, le protocole L additionné au programme général de rééducation de **l'étude d'Askling (2014)**.

6.1.2 Analyse des résultats de la force

Tout d'abord, dans **l'étude de Silder & al**, nous n'observons aucune différence significative entre les deux groupes. L'auteur ne précise pas la P -value. Cependant, la force musculaire est mesurée grâce à un testing manuel avec une cotation sur 5 qui est donnée subjectivement par l'auteur du test, pour chaque modalité de mesure (angle de flexion de genou, rotation externe/interne). Les auteurs ont fourni l'étendue, pour tous les angles de mesure, comme indicateur de dispersion. On observe que pour les deux groupes, quelle que soit la modalité de mesure, les cotations ont une plage de résultats entre 4/5 (minimum) et 5/5 (maximum). Or, comme décrit plus haut dans notre cadre conceptuel, le testing manuel n'est

pas un outil de mesure performant pour quantifier la force musculaire (95). Dans cette étude de 2017 (112), les auteurs précisent que pour les cotations de 0 à 3 (selon Daniel et Worthingham) le testing manuel peut être adapté tandis que pour les cotations 4 à 5, il ne s'avère pas être assez précis. Les auteurs indiquent également qu'il n'y a pas de différences significatives intragroupes entre l'examen clinique initial et l'examen clinique final concernant le testing musculaire. Les tests de force manuels ont révélé que tous les sujets ne présentaient pas de déficit de force sur leur membre blessé pendant tous les tests de force ; cependant, chaque sujet a montré un déficit de force pendant au moins 1 test de force. La faiblesse des ischio-jambiers suite à une LMA n'est donc pas objectivée à 100%, en pré-rééducation. Or, il est fréquent que la présence d'une LMA aux IJ soit souvent corrélée avec une diminution de la force à la flexion de genou et que, dans la littérature, l'un des critères de diagnostic de la lésion est une faiblesse musculaire en flexion de genou contre résistance dans cette étude (87)(39). Se pose alors la question de la fiabilité de l'outil de mesure étant donné que l'on ne retrouve aucune différence statistiquement significative avant et après la rééducation dans chaque groupe, mais aussi entre les deux groupes (GC et GE). Quand bien même, l'intérêt clinique des protocoles proposés par Silder, dans la récupération de la force musculaire après une lésion aux IJ, semble faible dans cette étude.

Concernant **l'étude de Kim & al**, on mesure la force à l'aide d'un dynamomètre portatif avec une flexion de genou à 90°. L'auteur ne retrouve aucune amélioration significative de la force d'un groupe par rapport à un autre (24,8 N pour le groupe « Excentrique » contre 23,6 N pour le groupe « Contrôle »). Cependant, il existe une augmentation significative de la force ($p < 0,05$) entre la mesure initiale et la mesure finale, et ce, pour les deux protocoles (+ 7,1 N pour le groupe « Excentrique » et + 7,2 N pour le groupe « Contrôle »). Cela pourrait nous faire penser qu'aucun des deux groupes n'a montré de supériorité par rapport à l'autre, mais que les deux protocoles sont efficaces. Or, l'auteur nous fournit également les mesures de la jambe non lésée, avant et après rééducation, et les valeurs obtenues sont sensiblement similaires à celles de la jambe lésée, que ce soit en pre ou en post-intervention. La taille des groupes constitue une vraie limite ici (6 et 7 sujets) car ils sont finalement très peu représentatifs de la population ciblée. De plus, la fiabilité de l'outil de mesure et les modalités d'évaluation discutables pourraient également être des explications de ces résultats décevants. Cependant, le protocole du GE ne semble tout de même pas montrer de réel intérêt clinique dans la récupération de la force des IJ.

Pour conclure, aucun de ces deux ECR n'a montré de réels intérêts, d'un point de vue clinique, du renforcement excentrique dans la récupération de la force des IJ chez les sportifs atteints de LMA.

6.1.3 Synthèse des résultats et confrontation à la littérature actuelle

La comparaison de ces études reste limitée sans la réalisation d'une méta-analyse. Cependant, nous pouvons affirmer que 2 ECR sur 4 ont montré un intérêt clinique du renforcement excentrique pour réduire le temps de retour au sport. Pourtant, aucune des 2 études n'a relevé d'intérêt clinique de l'excentrique dans la récupération de la force musculaire des IJ. Nous avons aussi observé que les participants n'avaient pas de perte de force significative lors de la blessure par rapport à leur jambe saine. Dans notre situation, il y a donc un effet plafond, ce qui rend compliqué d'avoir des différences entre les GE et GC. En effet, si peu de déficit musculaire est objectivé en début de rééducation, il semble logique de ne pas constater de « récupération » de la force musculaire à la fin. Ce constat s'explique dans la littérature actuelle avec **la revue systématique de Maniar & al (2016)**(113). Ils constatent qu'une force isométrique inférieure a été trouvée jusqu'à 7 jours après la lésion ($d = -1,72$), mais cela n'a pas persisté au-delà de ces 7 jours. Lorsque s'ajoute une rééducation et qui plus est avec des durées de rééducation toutes supérieures à 7 jours, il est normal de retrouver une force similaire au côté sain au testing final. Le testing musculaire comme critère de retour au sport après la rééducation n'explique donc pas les différences de temps de RTP entre nos études. Pourtant, dans **la revue de Medeiros & al (2020)**, en prévention, la force excentrique des IJ est augmentée avec la mise en place du NHE chez des sujets sains (114). On peut expliquer la différence d'efficacité de l'excentrique entre la prévention et la rééducation par 2 variables. La première est la durée de l'intervention. Dans la revue de Medeiros, seuls les programmes de 4 semaines ou plus sont inclus tandis que le temps de rééducation est variable dans notre revue avec certaines durées n'excédant pas les 3 semaines. La seconde variable est la douleur. En effet, dans notre étude, on renforce des sujets douloureux quand, en prévention, on renforce des sujets sans pathologie. La douleur fait partie intégrante du diagnostic et de la rééducation des LMA aux IJ : à la palpation, lors des tests ou encore lors d'exercices de renforcement. En effet, la grande majorité de nos ECR précise que les exercices doivent se faire sans douleur (100)(101)(103). Or dans **l'étude de Hickey & al (2020)**, on apprend qu'une rééducation à un seuil de douleur a entraîné une plus grande récupération de la force isométrique des fléchisseurs du genou et un meilleur maintien de la longueur du fascicule BF, par rapport à

la rééducation sans douleur (115). Bien, que dans cette étude, cela ne réduise le temps de RTP, cette composante de la rééducation reste à explorer.

Une autre piste d'amélioration est le moment de l'introduction du renforcement excentrique dans la rééducation. Dans **l'étude de Vermeulen & al (2020)**, les auteurs retrouvent une réduction du RTP de 10 jours en faveur de l'introduction précoce du « protocole L » décrit par Askling (au 1er jour) par rapport à une introduction tardive (116). Bien que cette différence ne soit pas significative, cet ECR ouvre la voie sur la notion du renforcement EXC dans les premiers jours suivant la lésion. En effet, dans l'étude de Silder et de Sherry, la première phase (P1) n'est jamais composé de renforcement EXC car considéré par les auteurs comme dangereux en phase aiguë. Tandis, que dans les études d'Askling, le renforcement EXC débute seulement 5 jours après la LMA. Alors, cette nuance pourrait être une des explications possibles de la réduction du temps de retour au sport en faveur du GE dans les études d'Askling. Ces modalités de rééducation (seuil de douleur et introduction précoce) sont encore à prouver (pas de revue systématique), c'est pourquoi il serait intéressant de faire d'autres études abordant ces variables sur des échantillons plus grands.

Enfin, une des pistes d'explications des résultats des études d'Askling par rapport aux 2 autres sur le temps de retour au sport pourrait se trouver dans les critères de retour au sport. Dans de nombreux articles, comme celui de **Hickey & al (2017)**(7), de **van der Horst & al (2016)** (86), ou encore plus récemment celui de **Dunlop & al (2020)**(9), il est mis en avant la pertinence des tests fonctionnels /de performance (de courses, de sauts, etc.) comme critère de décision, et que ce soit pour le retour à la compétition, mais aussi pour le retour à l'entraînement sans risque. Or, dans les études d'Askling, on ne retrouve aucun de ces tests contrairement aux études de Sherry ou Silder.

6.2 Limites des études

6.2.1 Biais identifiés selon la grille PEDro

6.2.1.1 Biais lié à la randomisation (items 2 à 4)

En ce qui concerne la randomisation, tous les sujets des articles ont été assignés de manière aléatoire à des groupes. Cependant, dans 4 de nos articles l'assignation secrète des groupes n'a pas été assurée, ce qui peut potentiellement introduire un biais.

(101)(100)(102)(103). Seule **l'étude de Kim & al** précise que l'assignation des groupes a été faite en « en tirant des étiquettes parmi des enveloppes opaques ».

6.2.1.2 Biais lié à l'aveuglement (items 5 à 7)

Les biais liés à l'aveuglement se divisent en trois catégories : l'aveuglement des participants, des thérapeutes et des évaluateurs. Les participants en aveugle ne savent pas à quel groupe ils appartiennent. Les thérapeutes ou évaluateurs en aveugle ne connaissent pas le groupe auquel appartient le patient qu'ils traitent. Pour qu'une étude soit valide, les trois groupes doivent être aveugles. Les études en triple aveugle sont donc plus fiables que celles en double aveugle, etc. Toutefois, en kinésithérapie, il est difficile d'obtenir un aveuglement total en raison de la nature manuelle de ce domaine, qui limite les capacités d'aveuglement des thérapeutes et des patients. En effet, il est souvent difficile de ne pas distinguer deux moyens de traitement, en particulier pour le thérapeute. Pour minimiser les risques de biais, certaines études ont mis en place certaines mesures telles que l'ignorance des données initiales des patients par les évaluateurs et thérapeutes dans **l'étude de Silder** (103). Cependant, aucune indication n'est donnée pour les autres études. Bien que certaines études se présentent comme étant en "double aveugle" ou même en « simple aveugle », elles ne le sont pas réellement selon la grille Pedro. Les **études de Silder** (103) et **Kim** (104) en sont des exemples.

6.2.1.3 Biais liés à l'élaboration des résultats (items 8 à 10)

Pour éviter le biais d'attrition, il est important que les données des patients soient complètes à la fin de l'étude. La grille Pedro considère que l'item correspondant à ce biais est validé si les données, au minimum pour un critère de jugement essentiel, sont disponibles pour au moins 85% des patients initialement répartis dans les groupes. Toutes les études présentent des données disponibles pour plus de 85% des patients inclus au départ sauf **l'étude de Silder** (103) ainsi que **l'étude de Kim** (104) qui présentent toutes deux un taux inférieur à cette valeur (respectivement 77% et 81%).

Ensuite, il existe deux types d'analyses possibles dans une étude : en intention de traiter et en per-protocole. La première est préférable, car elle traite statistiquement tous les patients qui ont pris part au protocole, contrairement à la seconde qui ne prend que les patients encore inclus dans le test, en laissant de côté les patients exclus pendant le déroulement de l'étude. Deux de nos études ont présenté une analyse en intention de traiter (104)(103). L'absence d'intention de traiter peut causer deux biais : le premier est que, du fait que les résultats

correspondant à certaines personnes sont absents, la randomisation ne s'applique plus forcément, et le second est que l'intention de traiter reflète une certaine « vérité du terrain ». En effet, dans la population réelle, de nombreux athlètes pourraient ne pas respecter totalement le protocole en utilisant d'autres moyens ou en ne suivant pas exactement les consignes (et donc seraient exclus au sein de l'étude). Cette analyse permet également d'éviter des biais de sélection et de publication.

6.2.2 Biais identifiés selon les critères PICO

6.2.2.1 Populations

Composition des groupes :

Comme évoqué précédemment, la présence de certains critères d'inclusions, que ne partagent pas certaines études, rend difficile les comparaisons entre ces études.

Les **caractéristiques des sportifs** varient également entre les études ; certaines contiennent principalement ou totalement des sportifs professionnels, semi-professionnels ou "élites" (101)(100), tandis que d'autres comportent majoritairement des sportifs amateurs (103). De plus, nous avons une population de danseurs traditionnels coréens et ne connaissant pas précisément les aspects de cette discipline, nous pouvons légitimement nous poser la question de l'inclure dans la catégorie de « population sportive » (104). Les différences entre ces groupes sont nombreuses : les sportifs professionnels (et semi-pro ou "élites") qui ont généralement plus de temps à consacrer à leur rééducation, ont de meilleures capacités physiques et une meilleure éthique de travail. Ils bénéficient d'un encadrement médical et de préparation physique supérieurs. Cependant, ces différences peuvent également être préjudiciables aux sportifs professionnels, car leur profession les incite souvent à vouloir revenir plus rapidement sur le terrain. Et comme expliqué dans notre cadre conceptuel, la charge de travail physique importante qui leur est imposée peut également entraîner une rechute au cours de la saison, tandis que le fait de jouer plus souvent les expose davantage aux risques de blessures (41)(3)(48).

La répartition des participants selon **le sexe** peut également constituer un frein à la comparaison, sachant que ces lésions sont plus fréquentes chez les hommes que chez les femmes (24). On remarque que dans **l'étude de Kim**, la proportion de femmes est majoritaire (environ 77% de femmes) alors que dans les autres études, elle reste faible, oscillant entre environ 8 % (100) et 32 % (101).

Diagnostic de lésion myo-aponévrotique :

Nous considérons dans notre revue que tous les sujets inclus souffrent d'une LMA aux IJ. Or, on observe des similitudes quant au diagnostic lors de l'examen clinique initial entre les études mais également quelques différences (*annexe 6*).

On remarque tout de suite le caractère isolé de **l'étude de Kim** dans l'élaboration du diagnostic (104). En effet, les auteurs se basent sur un auto-questionnaire, s'intéressant au ressenti des sportifs, pour caractériser la lésion (108). Or, on sait que la perception et gestion de la douleur sont propres à chaque individu (117)(118). De plus, les conséquences de lésion myo-aponévrotique, si elles ne sont pas avérées, comme expliqué dans notre cadre conceptuel, conduirait à un biais de sélection (30)(29). Il nous serait donc difficile de comparer les résultats de cette étude avec ceux des autres articles. Cette réflexion sur la douleur vaut également pour les critères de retour au sport incluant l'absence de douleur. De plus, il est important de souligner que **Kim & al** incluent toutes lésions datant de moins de 8 mois quand les autres auteurs requièrent que la lésion soit survenue dans les quelques jours précédents pour être inclus. Les déficits observés initialement chez les sujets peuvent différer lorsqu'une lésion a eu lieu il y a 7 mois par rapport à une lésion qui a eu lieu il y a 5 jours (119).

Ensuite, on peut voir que **l'étude de Sherry** n'inclut pas la composante de douleur à survenue brutale lors de la pratique sportive. Ce critère reste cependant très caractéristique du diagnostic d'une lésion myo-aponévrotique aux ischio-jambiers. Il se pourrait que des sujets avec un diagnostic différentiel des LMA, comme les tendinopathies, soient inclus dans l'étude (120). Cependant, elle rejoint **les études d'Askling** avec comme critère la présence d'un des mécanismes lésionnels typiques qui sont très décrits dans la littérature, car ils sont fréquemment retrouvés chez des populations sportives (33)(58).

Enfin, **les études de Sherry et de Silder** intègrent dans leur diagnostic la notion de limitation à la course et/ou à l'activité quotidienne. Cette caractéristique de leur diagnostic pourrait s'expliquer par le fait que ces études s'intéressent à des populations de sportifs amateurs et non professionnels. Il semble donc pertinent d'évaluer également le retentissement de la lésion sur l'activité quotidienne, et non pas uniquement sportive, afin de ne pas omettre d'inclure un sujet atteint d'une LMA mais avec une pratique sportive modérée.

Taille d'échantillon :

Dans quelques études, les tailles d'échantillon semblent être plutôt réduites, car il y a trois études qui ont des groupes de moins de 15 participants (102)(103)(104). Dans quatre des études, le calcul préalable de la taille de l'échantillon n'a pas été effectué (100)(101)(102)(104). Seule **l'étude de Silder** a calculé à priori cette taille d'échantillon pour une puissance de 80%. Or, l'auteur, qui avait un petit échantillon, n'a pas pris en compte la possibilité que certains participants abandonnent ou soient exclus au cours de l'étude. Les chercheurs qui prennent en compte ce facteur doivent inclure un plus grand nombre de patients pour éviter que leurs résultats ne soient faussés en cas de données manquantes. Dans le cas de **l'étude de Silder**, les résultats n'ont été disponibles que pour 24 participants, alors que le calcul initial prévoyait 29 participants. Par conséquent, les résultats de l'étude manquent de puissance. Slider & al avaient calculé qu'il était nécessaire d'inclure 17 sujets par groupe. Pourtant, les résultats d'une étude peuvent être biaisés si la taille de l'échantillon est trop petite, car cela peut affecter la représentativité de la population étudiée. Une petite taille d'échantillon augmente également le risque d'obtenir des valeurs aberrantes ou des résultats aléatoires qui ne reflètent pas la vraie relation entre les variables étudiées, ce qui limite la généralisation des résultats à l'ensemble de la population. Il est donc nécessaire de garder cette notion à l'esprit lors de l'analyse des résultats des études de Sherry, Silder ou encore Kim.

6.2.2.2 Intervention

Proportion du renforcement excentrique :

Nous avons énoncé comme critère d'inclusion qu'un des groupes de l'étude devait contenir au moins un exercice de renforcement EXC des IJ. Cependant, nous allons voir qu'il existe de grandes disparités dans la part qu'occupe le renforcement excentrique au sein des groupes « Excentrique » de chaque étude.

Dans **les deux études de Askling**, on note 3 exercices traitant purement de renforcement excentrique. Cependant, dans **celle de 2014**, on y ajoute un programme général de rééducation incluant un programme spécifique de course. Il faut donc mettre en perspective l'impact du protocole L par rapport à celui du programme général dans la réduction significative du temps de retour au sport. Cependant, **les études de Askling** traitent d'un protocole incluant uniquement du renforcement excentrique contrairement aux autres études où l'on retrouve également d'autres techniques. Si l'on se base sur certaines revues existantes, le renforcement concentrique et isométrique (121), les étirements statiques et dynamiques (122) aussi

l'application de glace après les séances (123) pourraient également expliquer les bénéfices obtenus.

Modalités d'application des protocoles :

Certains protocoles d'études sont réalisés sous la supervision d'un thérapeute en temps réel (104), tandis que d'autres comportent une part plus ou moins importante de travail à domicile (100)(102). Dans certains protocoles majoritairement réalisés à domicile, les patients sont invités à reporter leur observance, mais cela peut entraîner des biais dans la réalisation des exercices ainsi que dans le respect des consignes du protocole effectué. Les mouvements peuvent être mal effectués, la posologie peut être négligée et l'observance peut également être trafiquée. Nous savons pertinemment que les modalités d'application (vitesse, résistance, nombre de répétitions, etc.)(124) d'un exercice différent en fonction de ce que l'on recherche (hypertrophie, force, type de fibres recrutées)(125)(32). Qu'en est-il de la pertinence des résultats si les sujets ont effectué leurs exercices en mettant l'accent sur la contraction concentrique des ischio-jambiers plutôt que sur la contraction excentrique (exemple : le « leg curl » comporte ces deux régimes de contraction) ? De plus, l'intensité peut varier en fonction de la présence ou non d'une personne encadrante. En effet, dans **l'étude de Kim & al**, les exercices se faisaient au sein d'un laboratoire et qui plus est sous la supervision d'un kinésithérapeute et de ses assistants. On se doute alors de l'intensité et du sérieux qui ont été appliqués par rapport à la réalisation des exercices à domicile. En raison de ces facteurs, il est possible qu'il y ait des biais lors de la réalisation de protocoles à domicile ou sans supervision d'un thérapeute.

Fréquence du protocole :

Nous constatons entre nos différentes études une variabilité importante sur la fréquence d'application des exercices de rééducation. Si certaines études précisent seulement que l'intensité et le volume de la charge ont été rendus aussi égaux que possible entre les deux protocoles (**les études d'Askling**), d'autres précisent davantage. Par exemple, dans **l'étude de Sherry**, si les sujets avaient effectué leurs exercices pendant moins de 7 des 10 derniers jours, ils n'étaient pas inclus dans l'étude. En effet, dans **la revue de Goode & al (2015)**, il a été montré que l'observance des sujets vis-à-vis du renforcement excentrique était un facteur de réussite de la prévention des LMA aux ischio-jambiers (126). On peut logiquement supposer qu'il en sera de même pour la rééducation (127). Enfin, dans **les études de Silder et de Kim**,

les superviseurs demandent à ce que les séances de rééducation soient réalisées respectivement, à hauteur de 5 et 3 jours par semaine. Or, nous savons pertinemment que le volume de travail effectué impacte l'efficacité d'un protocole de renforcement (128). Cette variabilité dans la fréquence des séances entre les différents protocoles pourrait également être une des explications des écarts dans leurs résultats.

6.2.2.3 Outcoms

Temps de retour au sport :

La partie sur le RTP de notre cadre conceptuel souligne la variété de définitions existantes pour la notion de retour au sport. Sur les 4 articles étudiés pour mesurer le retour au jeu, 2 ont mesuré la durée de RTP (101)(100) tandis que les 2 autres ont mesuré la durée de RTS (102)(103). Cette différence de mesure limite la comparaison entre les études, car la donnée de retour au jeu est calculée pour deux délais distincts : le retour à l'entraînement (RTS) ou le retour à la compétition (RTP). En théorie, les durées de retour au jeu devraient être plus longues pour les études mesurant le RTP par rapport au RTS. En examinant les différentes données, on observe effectivement que la tendance des durées de RTP est supérieure à celles de RTS. Étant donné que les enjeux et les contraintes pour l'athlète ne sont pas les mêmes dans ces deux cas de figure, les exigences des tests ne le seront pas non plus. En effet, la prise de décision concernant le RTP doit tenir compte du compromis entre un retour accéléré et un risque de récurrence faible. Or, nous savons que les exigences des matchs sont supérieures aux exigences de l'entraînement. Dans **l'étude de Stares & al (2018)**, l'accumulation progressive de charges de travail plus élevées, ainsi que l'ajout de séances de gammes de courses (à intensité modérée à élevée), rallongent le temps de retour au sport mais garantit une meilleure préparation pour les contraintes des matchs avec un taux de récurrence plus faible (129). Il serait donc intéressant d'étudier les taux de récurrence dans les différentes études incluses, particulièrement dans notre revue qui aborde le retour au sport, certes, mais en toute sécurité.

Critères de décision de retour au sport :

Un autre facteur de divergence entre les articles est la décision même du retour au jeu, qui est souvent déterminée par des critères spécifiques à chaque auteur. Par conséquent, un même patient peut se voir autoriser un retour au jeu par un auteur, tandis qu'un autre se verra lui être refusé, en fonction des critères établis pour ce retour. Il existe ainsi un grand nombre de

critères différents en fonction des articles (86)(7). Parmi eux, on retrouve ces derniers avec leurs caractéristiques pouvant diverger selon les études :

- Pas de douleur à la palpation : sujets dépendants, échelle de douleur utilisée, perception de la douleur
- Score de 5/5 au testing musculaire : cotations évaluateur dépendantes, modalités de mesures (nombre d'essais, consignes), outils de mesure
- Tests de sprints validés : vitesses demandées, distances effectuées, critères de validation (vitesse minimum atteinte, apparition de la douleur)
- Tests fonctionnels : modalités de mesures, spécifiques du sport pratiqué

En revenant sur la partie traitant du RTP de notre cadre conceptuel, nous constatons que ces critères reviennent souvent dans la littérature. Cependant, nous nous apercevons de la variabilité dans leurs propres caractéristiques, mais aussi dans les combinaisons de critères, en fonction des études, pour objectiver le retour au sport, ce qui pose une limite dans leur comparaison. Nous pouvons citer « l'absence de douleur » qui est un critère discutable tant on sait que la douleur possède différentes dimensions en fonction des individus (118). De plus, nous pouvons relever que **les études d'Askling**, rajoutent un critère bien spécifique pour valider le retour au sport : le test H d'Askling (109). Comme mentionné précédemment, certains critères d'évaluation peuvent considérablement prolonger la durée du retour au jeu. C'est l'argument avancé par Askling, avec, en moyenne, la période de réadaptation qui a été prolongée de 10 jours ($SD \pm 3,4$) pour les athlètes et de 7 jours ($SD \pm 2,7$) pour les joueurs de football en raison de l'exécution du test H d'Askling positif (101). Cependant, ce test semble prévenir davantage les récurrences et est donc adéquat comme critère de retour au sport en toute sécurité. Malgré tout, il faut garder à l'esprit ce critère lorsqu'on compare les temps de retour au sport des études d'Askling par rapport à ceux des autres ECR.

Force :

Comme nous l'avons détaillé dans la partie d'analyse des résultats de la force, les différents outils de mesure rendent difficile la comparaison entre les 2 études. Dans **l'étude de Silder**, la mesure de la force, par un testing manuel, n'est pas l'outcom principal et ne constitue qu'un élément de l'examen clinique réalisé pour valider le retour au sport. De plus, nous avons expliqué plus haut que le testing manuel était une technique approximative avec une faible fiabilité (95). On peut rajouter que le fait que la cotation du testing manuel soit évaluateur

dépendant et qu'elle soit réalisée par un seul évaluateur amène un important biais dans la conception des résultats par les auteurs. Les conditions de mesure ne sont pas détaillées tout comme le nombre de répétitions demandées au sujet ou encore la mesure retenue par exemple (moyenne, la meilleure, etc.). Enfin, dans **l'étude Kim**, les auteurs utilisent un dynamomètre portatif, qui possède une fiabilité supérieure au testing manuel, mais n'est pas non plus le gold standard car possède une reproductibilité inter et intra-opérateur plus faible que le dynamomètre isocinétique (96)(112). Il est précisé que l'on demande au sujet d'effectuer une contraction musculaire concentrique pendant 3 secondes et la moyenne de trois essais a été utilisée. Cependant, nous n'avons aucune information sur l'évaluateur : s'il a été en aveugle des données initiales des patients, des protocoles réalisés. Ce manque d'information amène nombres de questionnement quant à la véracité des mesures réalisées.

6.3 Limites de la revue

Afin de réaliser l'auto-critique de cette revue, et donc d'aborder les limites de cette dernière le plus objectivement possible, nous nous sommes aidés de la grille d'évaluation AMSTAR II (130). Les résultats pour chaque item sont retranscrits (*annexe 7*).

Nous avons relevé certains biais. D'abord, en ayant fait le choix d'inclure uniquement des études en langue anglaise ou française, nous nous exposons à un **biais linguistique**. C'est-à-dire que notre revue de littérature peut être biaisée en faveur de certaines langues, en ignorant les travaux en d'autres langues qui pourraient être pertinents. Ensuite, nous avons fait le choix de sélectionner seulement deux **bases de données** (PubMed et PEDro) pour nos recherches. Bien que cela ne constitue pas un biais aux yeux de la grille AMSTAR II qui requiert « au moins deux moteurs de recherche », nous aurions pu étendre notre recherche à d'autres bases de données dans le but d'améliorer notre processus de sélection. Nos **critères de sélection** peuvent également représenter une limite dans notre revue. Nous avons choisi d'inclure uniquement des essais contrôlés randomisés face à la densité de la littérature sur le sujet. Or, lorsque l'on a évalué la validité externe des études sélectionnées à l'aide de l'échelle PEDro, de nombreuses limites méthodologiques ont été mises en évidence pour l'ensemble de nos ECR (voir ci-dessus). Néanmoins, ces études présentent un niveau de preuve élevé et peuvent influencer les futures recommandations. En outre, l'utilisation d'une méthodologie identique dans plusieurs articles facilite la comparaison des résultats et rend cette dernière plus fiable. Ensuite, les critères PICO sélectionnés ouvrent la porte à des biais notamment avec le diagnostic

de la pathologie qui est laissé libre et donc très variable entre nos études. La population sélectionnée ou encore les différentes modalités d'intervention entre nos études amènent également une certaine limite dans leur comparaison.

Enfin, dans les **directives de rédaction** des revues systématiques, il est recommandé que certaines étapes soient réalisées par deux personnes afin de réduire le risque d'erreur. Le fait que nous ayons été seuls pour le processus de sélection des données et l'extraction des données (items 5 et 6 de la grille AMSTAR II) constitue donc un biais de sélection et d'interprétation pour notre revue (131).

6.4 Perspectives professionnelles

En tant que futur masseur-kinésithérapeute, il est essentiel de se tenir constamment informé des dernières recommandations en effectuant des recherches régulières. Grâce à ce mémoire d'initiation à la recherche, nous avons acquis des compétences pour utiliser efficacement différentes bases scientifiques et en extraire des informations pertinentes. De plus, cette expérience en analyse critique d'articles a permis d'améliorer l'extraction de données avérées et utiles pour l'amélioration de la pratique clinique.

Afin, de déterminer si la mise en place d'un traitement présente un réel intérêt et est applicable, nous pouvons nous appuyer sur le rapport coût/efficacité et le rapport bénéfices/risques.

6.4.1 Rapport coût/efficacité

L'analyse de ce rapport a pour objectif de trouver la manière la plus économique et efficace d'atteindre un objectif donné. Elle permet notamment de comparer différents programmes, ou modalités de rééducation dans notre cas, afin de choisir l'alternative offrant le meilleur résultat pour un coût, qu'il soit financier ou énergétique, le plus faible possible. La mise en place d'un renforcement excentrique dans une séance de kinésithérapie ne représente aucun investissement financier particulier. De nombreux exercices peuvent se réaliser sans matériel ou au mieux avec du matériel classique (kettle bell, barre, espaliers) que possède nombre de cabinets. Cependant, cette modalité de rééducation représente évidemment un investissement temporel. L'évolution est simple, elle peut être basée sur l'augmentation progressive du nombre de séries et/ou de répétitions. L'augmentation de la charge peut être possible si le kinésithérapeute possède le matériel nécessaire mais ce n'est pas une obligation.

En analysant les résultats de notre étude, on peut s'intéresser au protocole L d'**Askling** qui est le seul à avoir prouvé une plus-value clinique (101)(100). On remarquera que dans les deux études, les participants effectuaient majoritairement leurs exercices à domicile. Mais s'agissant de sportifs de haut-niveau et donc avec une certaine éthique de travail vis-à-vis de leur rééducation, on peut penser que le protocole et les consignes associées ont été suivis avec rigueur. Alors, on peut supposer que la conformité à un programme influence grandement son efficacité (127). En effet, pour obtenir de bons résultats, il est important que les participants respectent scrupuleusement les séances, dans son contenu, mais aussi en termes de fréquence ou de nombre de répétitions et de séries. Par conséquent, intégrer ce type de renforcement dans les séances de rééducation de nos patients au cabinet ou en structures de soins, faciliterait leur investissement et leur suivi, notamment en ce qui concerne la progression dans les exercices.

6.4.2 Rapport bénéfices/risques

Il est important de prendre en compte ce rapport afin de nuancer les bénéfices d'une intervention en fonction des risques qu'elle peut entraîner. En effet, après interprétation des résultats de nos études, on peut dire que le renforcement excentrique pourrait réduire le temps de retour au sport. Cependant, nous savons aussi que le renforcement excentrique peut amener certaines contraintes. La principale contrainte prend la forme de DOMS, acronyme de « Delayed Onset Muscle Soreness ». Des altérations de l'architecture du sarcomère, causées par des microlésions, sont à l'origine de ces douleurs musculaires retardées, qui sont appelées « courbatures » dans le langage courant des sportifs. Ces microlésions peuvent endommager la titine, qui joue un rôle important dans la contraction excentrique, ce qui explique la déstructuration du sarcomère. Les DOMS surviennent généralement entre 12 et 48 heures après l'effort physique, avec un pic de douleur entre 24 et 72 heures. Pendant cette période, la force musculaire peut diminuer de 10% à 60%, et les amplitudes articulaires peuvent être réduites en course externe (77). Cependant, au sein **des études d'Askling**, nous ne relevons aucun abandon d'étude. Dans **l'étude de Sherry**, quatre sujets n'ont pas terminé la phase de rééducation de l'étude. Seuls deux de ces quatre sujets ont subi des blessures mineures, mais non liées à leur programme de réadaptation. Sur ces 4 abandons, un seul faisait partie du groupe « Excentrique », et on ne précise pas lequel. Enfin, dans **l'étude de Silder et Kim**, on relève pour chacune un sujet qui n'a pas pu terminer le protocole du groupe « Excentrique » respectif. Pour **l'étude de Kim**, cet abandon est dû à des problèmes familiaux et pour **celle de Silder**, c'est survenu lors des tests de sprints pour objectiver le retour au sport. Nous n'avons donc

aucun sujet, sur toutes les études, qui a été contraint d'abandonner la rééducation à cause des exercices de renforcement excentrique. On peut donc conclure que le gain de temps pour le retour au sport potentiellement acquis grâce au renforcement excentrique ne contrebalance pas avec de grands risques pour les patients.

Pour conclure, dans la perspective de notre future pratique, après avoir détaillé les deux rapports ci-dessus, nous pouvons prétendre que d'inclure du renforcement excentrique dans nos séances de rééducation de lésions myo-aponévrotiques aux ischio-jambiers semble présenter davantage de bénéfices ainsi qu'une efficacité notable pour les risques encourus et le coût associé.

7. Conclusion

À ce jour et au regard de l'ensemble des éléments de notre revue de littérature, l'apport du renforcement excentrique dans le traitement des LMA aux IJ reste controversé. Ce type de renforcement pourrait avoir une place dans la rééducation de cette pathologie en apportant au patient de la diversité dans les exercices proposés et un intérêt dans la prévention de la récurrence.

D'autres recherches doivent être menées dans ce sens, au service de la recherche mais surtout de la profession. Les recherches scientifiques réalisées apportent une plus-value à notre profession. Et pour les kinésithérapeutes, adapter la pratique, en prenant compte de ces recherches, est un devoir. Les codes d'éthique exigent « des soins consciencieux, bienveillants et fondés sur des données scientifiques » pour traiter nos patients (132). Il est intéressant de se demander quelles sont les techniques de rééducation les plus pertinentes dans la rééducation des lésions aux IJ ? Existe-t-il d'autres techniques pour améliorer le temps de retour au sport ? La récupération de la force des IJ peut-elle être accélérée avec une autre technique que le renforcement excentrique ?

De plus, ce mémoire d'initiation à la recherche nous a montré l'importance du processus de recherche et du besoin de rigueur scientifique qui s'y associe. En effet, les conclusions statistiques fournies par les auteurs ne suffisent pas à démontrer la pertinence clinique d'une technique sans tenir compte de l'ampleur de l'effet, des limites des études associées, ou encore du rapport bénéfice/risque et coût/efficacité.

Cela fait de la kinésithérapie une pratique fondée sur des preuves (EBP)(97)(133). Ceci est cohérent avec l'évolution de notre métier vers une pratique plus cohérente avec la littérature.

Ainsi, à l'aube de notre diplôme d'État de masso-kinésithérapie, nous souhaitons établir et mettre en œuvre une pratique basée sur les données de la littérature scientifique, et ce, tout au long de notre carrière. Cela nous permettra de prodiguer les soins les plus appropriés à nos patients, ce qui nécessitera une formation clinique continue et un enrichissement constant des connaissances.

Bibliographie

1. Accueil [Internet]. sports.gouv.fr. [cité 13 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.sports.gouv.fr/accueil-8>
2. Bahr R, Holme I. Risk factors for sports injuries--a methodological approach. *Br J Sports Med*. 2003;37(5):384-92.
3. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med*. juin 2011;39(6):1226-32.
4. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med*. juin 2011;45(7):553-8.
5. Hägglund M, Waldén M, Magnusson H, Kristenson K, Bengtsson H, Ekstrand J. Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med*. août 2013;47(12):738-42.
6. Williams S, Trewartha G, Kemp SPT, Brooks JHM, Fuller CW, Taylor AE, et al. Time loss injuries compromise team success in Elite Rugby Union: a 7-year prospective study. *Br J Sports Med*. juin 2016;50(11):651-6.
7. Hickey JT, Timmins RG, Maniar N, Williams MD, Opar DA. Criteria for Progressing Rehabilitation and Determining Return-to-Play Clearance Following Hamstring Strain Injury: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ*. juill 2017;47(7):1375-87.
8. van der Horst N, van de Hoef S, Reurink G, Huisstede B, Backx F. Return to Play After Hamstring Injuries: A Qualitative Systematic Review of Definitions and Criteria. *Sports Med Auckl Nz*. 2016;46:899-912.
9. Dunlop G, Ardern CL, Andersen TE, Lewin C, Dupont G, Ashworth B, et al. Return-to-Play Practices Following Hamstring Injury: A Worldwide Survey of 131 Premier League Football Teams. *Sports Med Auckl NZ*. avr 2020;50(4):829-40.
10. Schuenke M, Schulte E, Schumacher U, Johnson N. *Thieme Atlas of Anatomy: General Anatomy and Musculoskeletal System*. 3e édition. New York: Thieme Medical Publishers Inc; 2020. 636 p.
11. Anatomie de l'appareil locomoteur-Tome 1 Membre inférieur | Livre | 9782294745027 [Internet]. Elsevier Masson SAS. [cité 17 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.elsevier-masson.fr/anatomie-de-lappareil-locomoteur-tome-1-membre-inferieur-9782294745027.html>
12. Sato K, Nimura A, Yamaguchi K, Akita K. Anatomical study of the proximal origin of hamstring muscles. *J Orthop Sci Off J Jpn Orthop Assoc*. sept 2012;17(5):614-8.
13. Frontera WR, Ochala J. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. *Calcif Tissue Int*. 1 mars 2015;96(3):183-95.

14. 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.
15. François Bonnel - Le muscle nouveau concept [Internet]. [cité 4 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.sauramps.com/product/156133/francois-bonnel-le-muscle-nouveau-concept>
16. Timmins R, Woodley S, Shield A, Opar D. Anatomy of the Hamstrings. In: Thorborg K, Opar D, Shield A, éditeurs. *Prevention and Rehabilitation of Hamstring Injuries* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2020 [cité 3 avr 2023]. p. 1-30. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-3-030-31638-9_1
17. Lieber RL, Roberts TJ, Blemker SS, Lee SSM, Herzog W. Skeletal muscle mechanics, energetics and plasticity. *J NeuroEngineering Rehabil.* 23 oct 2017;14:108.
18. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol.* 2001;537(2):333-45.
19. Witvrouw E, Mahieu N, Danneels L, McNair P. Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med Auckl NZ.* 2004;34(7):443-9.
20. 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.
21. Timmins RG, Bourne MN, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. *Br J Sports Med.* déc 2016;50(24):1524-35.
22. Al Attar WSA, Soomro N, Sinclair PJ, Pappas E, Sanders RH. Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ.* mai 2017;47(5):907-16.
23. Curzi D, Sartini S, Guescini M, Lattanzi D, Di Palma M, Ambrogini P, et al. Effect of Different Exercise Intensities on the Myotendinous Junction Plasticity. *PloS One.* 2016;11(6):e0158059.
24. De Lisio M, Farup J, Sukiennik RA, Clevenger N, Nallabelli J, Nelson B, et al. The acute response of pericytes to muscle-damaging eccentric contraction and protein supplementation in human skeletal muscle. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 15 oct 2015;119(8):900-7.
25. Monti RJ, Roy RR, Hodgson JA, Reggie Edgerton V. Transmission of forces within mammalian skeletal muscles. *J Biomech.* 1 avr 1999;32(4):371-80.

26. Charvet B, Ruggiero F, Le Guellec D. The development of the myotendinous junction. A review. *Muscles Ligaments Tendons J.* 10 sept 2012;2(2):53-63.
27. Garrett WE, Nikolaou PK, Ribbeck BM, Glisson RR, Seaber AV. The effect of muscle architecture on the biomechanical failure properties of skeletal muscle under passive extension. *Am J Sports Med.* 1988;16(1):7-12.
28. Tidball JG, Chan M. Adhesive strength of single muscle cells to basement membrane at myotendinous junctions. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. sept 1989;67(3):1063-9.
29. Wilke J, Hespanhol L, Behrens M. Is It All About the Fascia? A Systematic Review and Meta-analysis of the Prevalence of Extramuscular Connective Tissue Lesions in Muscle Strain Injury. *Orthop J Sports Med.* déc 2019;7(12):2325967119888500.
30. BRUCHARD A. LE NOUVEAU BOOK SUR LES LÉSIONS MUSCULAIRES [Internet]. Arnaud BRUCHARD. [cité 4 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.kinesport.fr/blog/book-lesions-musculaires>
31. Garrett WE, Califf JC, Bassett FH. Histochemical correlates of hamstring injuries. *Am J Sports Med.* 1 mars 1984;12(2):98-103.
32. Wilson JM, Loenneke JP, Jo E, Wilson GJ, Zourdos MC, Kim JS. The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *J Strength Cond Res.* juin 2012;26(6):1724-9.
33. Liu H, Garrett WE, Moorman CT, Yu B. Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *J Sport Health Sci.* 1 sept 2012;1(2):92-101.
34. Nguyen A, Grange S, Court L, Barral FG, Edouard P. Localisation en IRM des lésions musculaires des ischio-jambiers survenues lors de la pratique sportive et liens avec le mécanisme lésionnel : résultats préliminaires de l'étude HAMMER (Hamstring mechanics and MRI). *J Traumatol Sport.* 1 juin 2019;36(2):86-95.
35. Bayer ML, Järvinen TAH. Basic Muscle Physiology in Relation to Hamstring Injury and Repair. In: Thorborg K, Opar D, Shield A, éditeurs. *Prevention and Rehabilitation of Hamstring Injuries* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2020 [cité 4 avr 2023]. p. 31-63. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-3-030-31638-9_2
36. Dueweke JJ, Awan TM, Mendias CL. Regeneration of Skeletal Muscle After Eccentric Injury. *J Sport Rehabil.* avr 2017;26(2):171-9.
37. Tidball JG, Salem G, Zernicke R. Site and mechanical conditions for failure of skeletal muscle in experimental strain injuries. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. mars 1993;74(3):1280-6.
38. Danielsson A, Horvath A, Senorski C, Alentorn-Geli E, Garrett WE, Cugat R, et al. The

mechanism of hamstring injuries – a systematic review. BMC Musculoskelet Disord. 29 sept 2020;21:641.

39. Ernlund L, Vieira L de A. Hamstring injuries: update article. Rev Bras Ortop Engl Ed. 1 juin 2017;52(4):373-82.

40. Masson E. Lésions musculaires : l'approche échographique [Internet]. EM-Consulte. [cité 4 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/1184116/lesions-musculaires-l-approche-echographique>

41. López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, Garcia-Gómez A, Vera-Garcia FJ, Croix MDS, Myer GD, et al. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 1 juin 2020;54(12):711-8.

42. Cross KM, Gurka KK, Saliba S, Conaway M, Hertel J. Comparison of hamstring strain injury rates between male and female intercollegiate soccer athletes. Am J Sports Med. avr 2013;41(4):742-8.

43. Navandar A, Veiga S, Torres G, Chorro D, Navarro E. A previous hamstring injury affects kicking mechanics in soccer players. J Sports Med Phys Fitness. déc 2018;58(12):1815-22.

44. Ekstrand J, Bengtsson H, Waldén M, Davison M, Khan KM, Hägglund M. Hamstring injury rates have increased during recent seasons and now constitute 24% of all injuries in men's professional football: the UEFA Elite Club Injury Study from 2001/02 to 2021/22. Br J Sports Med. 1 mars 2023;57(5):292-8.

45. Diemer WM, Winters M, Tol JL, Pas HIMFL, Moen MH. Incidence of Acute Hamstring Injuries in Soccer: A Systematic Review of 13 Studies Involving More Than 3800 Athletes With 2 Million Sport Exposure Hours. J Orthop Sports Phys Ther. janv 2021;51(1):27-36.

46. Chavarro-Nieto C, Beaven M, Gill N, Hébert-Losier K. Hamstrings injury incidence, risk factors, and prevention in Rugby Union players: a systematic review. Phys Sportsmed. févr 2023;51(1):1-19.

47. Feeley BT, Kennelly S, Barnes RP, Muller MS, Kelly BT, Rodeo SA, et al. Epidemiology of National Football League training camp injuries from 1998 to 2007. Am J Sports Med. août 2008;36(8):1597-603.

48. Williams S, Trewartha G, Kemp SPT, Brooks JHM, Fuller CW, Taylor AE, et al. How Much Rugby is Too Much? A Seven-Season Prospective Cohort Study of Match Exposure and Injury Risk in Professional Rugby Union Players. Sports Med Auckl NZ. nov 2017;47(11):2395-402.

49. Ball S, Halaki M, Orr R. Training volume and soft tissue injury in professional and non-professional rugby union players: a systematic review. Br J Sports Med. juill 2017;51(13):1012-20.

50. Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A, et al. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med.* févr 2004;38(1):36-41.
51. Malliaropoulos N, Papacostas E, Kiritsi O, Papalada A, Gougoulias N, Maffulli N. Posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes. *Am J Sports Med.* sept 2010;38(9):1813-9.
52. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during high-speed running: a longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. *Am J Sports Med.* févr 2007;35(2):197-206.
53. Heiderscheit BC, Sherry MA, Silder A, Chumanov ES, Thelen DG. Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *J Orthop Sports Phys Ther.* févr 2010;40(2):67-81.
54. Heiderscheit BC, Hoerth DM, Chumanov ES, Swanson SC, Thelen BJ, Thelen DG. Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: a case study. *Clin Biomech Bristol Avon.* déc 2005;20(10):1072-8.
55. Schache AG, Wrigley TV, Baker R, Pandy MG. Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait Posture.* 1 févr 2009;29(2):332-8.
56. Chumanov ES, Heiderscheit BC, Thelen DG. The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *J Biomech.* 1 janv 2007;40(16):3555-62.
57. Grange S, Reurink G, Nguyen AQ, Riviera-Navarro C, Foschia C, Croisille P, et al. Location of Hamstring Injuries Based on Magnetic Resonance Imaging: A Systematic Review. *Sports Health.* 2023;15(1):111-23.
58. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Proximal hamstring strains of stretching type in different sports: injury situations, clinical and magnetic resonance imaging characteristics, and return to sport. *Am J Sports Med.* sept 2008;36(9):1799-804.
59. Brooks JHM, Fuller CW, Kemp SPT, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med.* août 2006;34(8):1297-306.
60. Garrett WE, Rich FR, Nikolaou PK, Vogler JB. Computed tomography of hamstring muscle strains. *Med Sci Sports Exerc.* oct 1989;21(5):506-14.
61. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching: clinical, magnetic resonance imaging, and recovery characteristics. *Am J Sports Med.* oct 2007;35(10):1716-24.
62. Askling C. Hamstring muscle strain [Internet]. Institutionen för molekylär medicin och

kirurgi / Department of Molecular Medicine and Surgery; 2008 [cité 4 avr 2023]. Disponible sur: <http://openarchive.ki.se/xmlui/handle/10616/38037>

63. Wangenstein A, Tol JL, Roemer FW, Bahr R, Dijkstra HP, Crema MD, et al. Intra- and interrater reliability of three different MRI grading and classification systems after acute hamstring injuries. *Eur J Radiol.* avr 2017;89:182-90.
64. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *BioMed Res Int.* 2015;2015:193741.
65. LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, Snyder-Mackler L, Reich T, Lindstedt SL. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport. *J Orthop Sports Phys Ther.* oct 2003;33(10):557-71.
66. Middleton P, Montero C. Le travail musculaire excentrique : intérêts dans la prise en charge thérapeutique du sportif. *Ann Réadapt Médecine Phys.* 1 août 2004;47(6):282-9.
67. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Med Auckl NZ.* avr 2017;47(4):663-75.
68. Croisier JL, Forthomme B, Namurois MH, Vanderthommen M, Crielaard JM. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med.* 2002;30(2):199-203.
69. Cermak NM, Snijders T, McKay BR, Parise G, Verdijk LB, Tarnopolsky MA, et al. Eccentric exercise increases satellite cell content in type II muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc.* févr 2013;45(2):230-7.
70. 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.* 2014;5:485.
71. Dreyer HC, Blanco CE, Sattler FR, Schroeder ET, Wiswell RA. Satellite cell numbers in young and older men 24 hours after eccentric exercise. *Muscle Nerve.* févr 2006;33(2):242-53.
72. Kaczmarek A, Kaczmarek M, Ciałowicz M, Clemente FM, Wolański P, Badicu G, et al. The Role of Satellite Cells in Skeletal Muscle Regeneration-The Effect of Exercise and Age. *Biology.* 18 oct 2021;10(10):1056.
73. Newham DJ, McPhail G, Mills KR, Edwards RH. Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *J Neurol Sci.* sept 1983;61(1):109-22.
74. O'Sullivan K, McAuliffe S, Deburca N. The effects of eccentric training on lower limb flexibility: a systematic review. *Br J Sports Med.* sept 2012;46(12):838-45.
75. 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 Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* mai 2010;11(2):50-5.

76. 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.

77. Guilhem G, Cornu C, Guével A. Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Ann Phys Rehabil Med.* 1 juin 2010;53(5):319-41.

78. Wangenstein A, Askling C, Hickey J, Purdam C, van der Made AD, Thorborg K. Rehabilitation of hamstring injuries. In Springer Nature; 2020 [cité 4 avr 2023]. p. 225-70. Disponible sur: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:gih:diva-6302>

79. Bourne MN, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, Kerr GK, Shield AJ. Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *Br J Sports Med.* juill 2017;51(13):1021-8.

80. Mjølunes R, Arnason A, Østhaen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* oct 2004;14(5):311-7.

81. Bautista IJ, Vicente-Mampel J, Baraja-Vegas L, Segarra V, Martín F, Van Hooren B. The effects of the Nordic hamstring exercise on sprint performance and eccentric knee flexor strength: A systematic review and meta-analysis of intervention studies among team sport players. *J Sci Med Sport.* sept 2021;24(9):931-8.

82. Bourne MN, Timmins RG, Opar DA, Pizzari T, Ruddy JD, Sims C, et al. An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercises to Prevent Hamstring Injury. *Sports Med Auckl NZ.* févr 2018;48(2):251-67.

83. Menta R, D'Angelo K. Challenges surrounding return-to-play (RTP) for the sports clinician: a case highlighting the need for a thorough three-step RTP model. *J Can Chiropr Assoc.* déc 2016;60(4):311-21.

84. Creighton DW, Shrier I, Shultz R, Meeuwisse WH, Matheson GO. Return-to-play in sport: a decision-based model. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* sept 2010;20(5):379-85.

85. van der Horst N, Backx F, Goedhart EA, Huisstede BM, HIPS-Delphi Group. Return to play after hamstring injuries in football (soccer): a worldwide Delphi procedure regarding definition, medical criteria and decision-making. *Br J Sports Med.* nov 2017;51(22):1583-91.

86. van der Horst N, van de Hoef S, Reurink G, Huisstede B, Backx F. Return to Play After Hamstring Injuries: A Qualitative Systematic Review of Definitions and Criteria. *Sports Med Auckl NZ.* juin 2016;46(6):899-912.

87. Sherry MA, Johnston TS, Heiderscheit BC. Rehabilitation of acute hamstring strain injuries. *Clin Sports Med.* avr 2015;34(2):263-84.
88. Erickson LN, Sherry MA. Rehabilitation and return to sport after hamstring strain injury. *J Sport Health Sci.* sept 2017;6(3):262-70.
89. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med Auckl NZ.* oct 2016;46(10):1419-49.
90. Siff MC. Biomechanical Foundations of Strength and Power Training. In 2008. p. 103-39.
91. Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* août 2009;43(8):556-68.
92. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Vigotsky AD, Franchi MV, Krieger JW. Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res.* sept 2017;31(9):2599-608.
93. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med Auckl NZ.* avr 2018;48(4):765-85.
94. Le bilan musculaire de Daniels et Worthingham | Livre + Compl. | 9782294767043 [Internet]. Elsevier Masson SAS. [cité 17 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.elsevier-masson.fr/le-bilan-musculaire-de-daniels-et-worthingham-9782294767043.html>
95. Bohannon RW. Test-retest reliability of hand-held dynamometry during a single session of strength assessment. *Phys Ther.* févr 1986;66(2):206-9.
96. Stark T, Walker B, Phillips JK, Fejer R, Beck R. Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. *PM R.* mai 2011;3(5):472-9.
97. Elsevier. Evidence-based practice en rééducation [Internet]. Elsevier Connect. [cité 13 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/kine-osteo/evidence-based-practice-en-reeducation>
98. Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *J Physiother.* janv 2020;66(1):59.
99. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Blencowe NS, Boutron I, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 28 août 2019;366:14898.
100. Askling CM, Tengvar M, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite football: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med.* oct 2013;47(15):953-9.

101. Askling CM, Tengvar M, Tarassova O, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med*. 1 avr 2014;48(7):532-9.
102. Sherry MA. A Comparison of 2 Rehabilitation Programs in the Treatment of Acute Hamstring Strains. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. mars 2004 [cité 22 févr 2023]; Disponible sur: http://www.jospt.org/issues/id.260/article_detail.asp
103. Silder A, Sherry MA, Sanfilippo J, Tuite MJ, Hetzel SJ, Heiderscheit BC. Clinical and Morphological Changes Following 2 Rehabilitation Programs for Acute Hamstring Strain Injuries: A Randomized Clinical Trial. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 1 mai 2013 [cité 19 sept 2022]; Disponible sur: <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2013.4452>
104. Kim G, Kim H, Kim WK, Kim J. Effect of stretching-based rehabilitation on pain, flexibility and muscle strength in dancers with hamstring injury: a single-blind, prospective, randomized clinical trial. *J Sports Med Phys Fitness*. sept 2018;58(9):1287-95.
105. van der Windt DA, Simons E, Riphagen II, Ammendolia C, Verhagen AP, Laslett M, et al. Physical examination for lumbar radiculopathy due to disc herniation in patients with low-back pain. *Cochrane Database Syst Rev*. 17 févr 2010;(2):CD007431.
106. Albertin ES, Walters M, May J, Baker RT, Nasypany A, Cheatham S. AN EXPLORATORY CASE SERIES ANALYSIS OF THE USE OF PRIMAL REFLEX RELEASE TECHNIQUE™ TO IMPROVE SIGNS AND SYMPTOMS OF HAMSTRING STRAIN. *Int J Sports Phys Ther*. avr 2020;15(2):263-73.
107. Petersen J, Hölmich P. Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *Br J Sports Med*. juin 2005;39(6):319-23.
108. Askling C, Lund H, Saartok T, Thorstensson A. Self-reported hamstring injuries in student-dancers. *Scand J Med Sci Sports*. août 2002;12(4):230-5.
109. Askling CM, Nilsson J, Thorstensson A. A new hamstring test to complement the common clinical examination before return to sport after injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. déc 2010;18(12):1798-803.
110. van der Ploeg RJ, Oosterhuis HJ. The « make/break test » as a diagnostic tool in functional weakness. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. mars 1991;54(3):248-51.
111. Bourque J, Blais JG, Larose F. L'interprétation des tests d'hypothèses : p, la taille de l'effet et la puissance. *Rev Sci Léducation*. 19 mai 2009;35(1):211-26.
112. Indermühle C, Henguely D, Mittaz Hager AG. La force isométrique maximale de la flexion et de l'extension du genou à l'aide d'un dynamomètre manuel: une étude de reproductibilité. *Mains Libr*. 15 juin 2017;29-37.
113. Maniar N, Shield AJ, Williams MD, Timmins RG, Opar DA. Hamstring strength and

flexibility after hamstring strain injury: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* août 2016;50(15):909-20.

114. Medeiros DM, Marchiori C, Baroni BM. Effect of Nordic Hamstring Exercise Training on Knee Flexors Eccentric Strength and Fascicle Length: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Sport Rehabil.* 12 oct 2020;30(3):482-91.

115. Hickey JT, Timmins RG, Maniar N, Rio E, Hickey PF, Pitcher CA, et al. Pain-Free Versus Pain-Threshold Rehabilitation Following Acute Hamstring Strain Injury: A Randomized Controlled Trial. *J Orthop Sports Phys Ther* [Internet]. 31 janv 2020 [cité 19 sept 2022]; Disponible sur: <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2020.8895>

116. Vermeulen R, Whiteley R, van der Made AD, van Dyk N, Almusa E, Geertsema C, et al. Early versus delayed lengthening exercises for acute hamstring injury in male athletes: a randomised controlled clinical trial. *Br J Sports Med.* juill 2022;56(14):792-800.

117. Douleur · Inserm, La science pour la santé [Internet]. Inserm. [cité 16 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/douleur/>

118. ATALLAH F, GUILLERMOU Y. L'homme et sa douleur : dimension anthropologique et sociale. *Homme Sa Douleur Dimens Anthropol Soc.* 2004;23(7):722-9.

119. Bayer ML, Hoegberget-Kalisz M, Svensson RB, Hjortshøj MH, Olesen JL, Nybing JD, et al. Chronic Sequelae After Muscle Strain Injuries: Influence of Heavy Resistance Training on Functional and Structural Characteristics in a Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* août 2021;49(10):2783-94.

120. Goom TSH, Malliaras P, Reiman MP, Purdam CR. Proximal Hamstring Tendinopathy: Clinical Aspects of Assessment and Management. *J Orthop Sports Phys Ther.* juin 2016;46(6):483-93.

121. Jankaew A, Chen JC, Chamnongkich S, Lin CF. Therapeutic Exercises and Modalities in Athletes With Acute Hamstring Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Health.* 22 août 2022;19417381221118084.

122. Mason DL, Dickens VA, Vail A. Rehabilitation for hamstring injuries. *Cochrane Database Syst Rev.* 12 déc 2012;12:CD004575.

123. Hubbard TJ, Denegar CR. Does Cryotherapy Improve Outcomes With Soft Tissue Injury? *J Athl Train.* 2004;39(3):278-9.

124. Coratella G. Appropriate Reporting of Exercise Variables in Resistance Training Protocols: Much more than Load and Number of Repetitions. *Sports Med - Open.* 30 juill 2022;8(1):99.

125. DE Camargo JBB, Brigatto FA, Zaroni RS, Trindade TB, Germano MD, Junior ACT, et al. Manipulating Resistance Training Variables to Induce Muscle Strength and Hypertrophy:

A Brief Narrative Review. *Int J Exerc Sci.* 2022;15(4):910-33.

126. Goode AP, Reiman MP, Harris L, DeLisa L, Kauffman A, Beltramo D, et al. Eccentric training for prevention of hamstring injuries may depend on intervention compliance: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* mars 2015;49(6):349-56.

127. Ripley NJ, Cuthbert M, Ross S, Comfort P, McMahon JJ. The Effect of Exercise Compliance on Risk Reduction for Hamstring Strain Injury: A Systematic Review and Meta-Analyses. *Int J Environ Res Public Health.* 27 oct 2021;18(21):11260.

128. Baz-Valle E, Balsalobre-Fernández C, Alix-Fages C, Santos-Concejero J. A Systematic Review of The Effects of Different Resistance Training Volumes on Muscle Hypertrophy. *J Hum Kinet.* janv 2022;81:199-210.

129. Stares J, Dawson B, Peeling P, Drew M, Heasman J, Rogalski B, et al. How much is enough in rehabilitation? High running workloads following lower limb muscle injury delay return to play but protect against subsequent injury. *J Sci Med Sport.* oct 2018;21(10):1019-24.

130. Pallot A, Rostagno S. AMSTAR-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques. *Kinésithérapie Rev.* juill 2021;21(235):13-4.

131. Chapter 1: Starting a review [Internet]. [cité 16 avr 2023]. Disponible sur: <https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-01>

132. R. 4321-80 Qualité des soins > Code de déontologie des Masseurs-Kinésithérapeutes [Internet]. [cité 15 avr 2023]. Disponible sur: <https://deontologie.ordre.k.fr/devoirs-envers-les-patients/r-4321-80-qualite-des-soins/>

133. Arner JW, McClincy MP, Bradley JP. Hamstring Injuries in Athletes: Evidence-based Treatment. *J Am Acad Orthop Surg.* 1 déc 2019;27(23):868-77.

Annexes 1 à 7

Annexe 1 : Structure du muscle squelettique

Annexe 2 : Diagramme de flux PRISMA

Annexe 3 : Grille PEDro

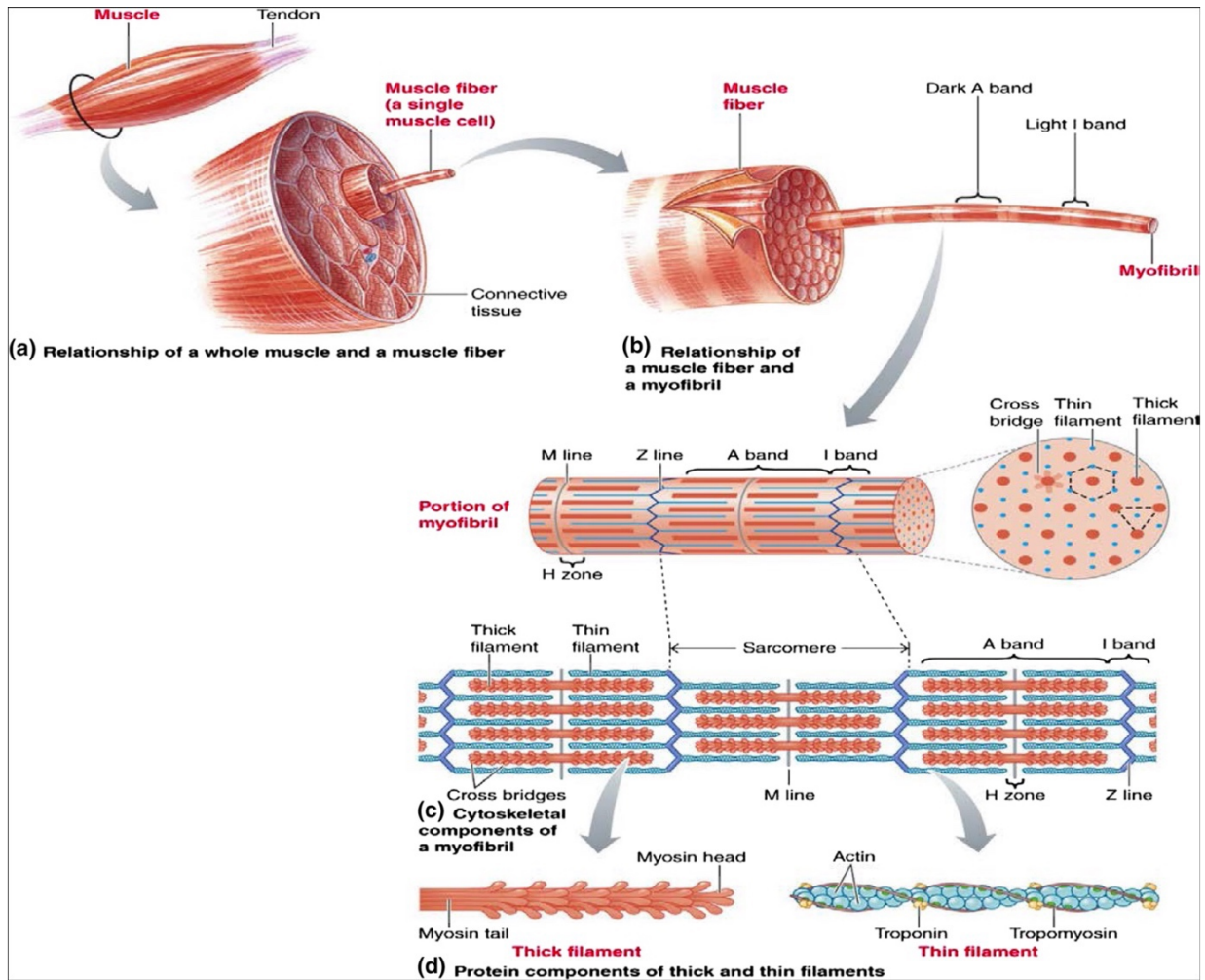
Annexe 4 : Protocoles des ECR

Annexe 5 : Exercices de renforcement excentrique des protocoles des ECR

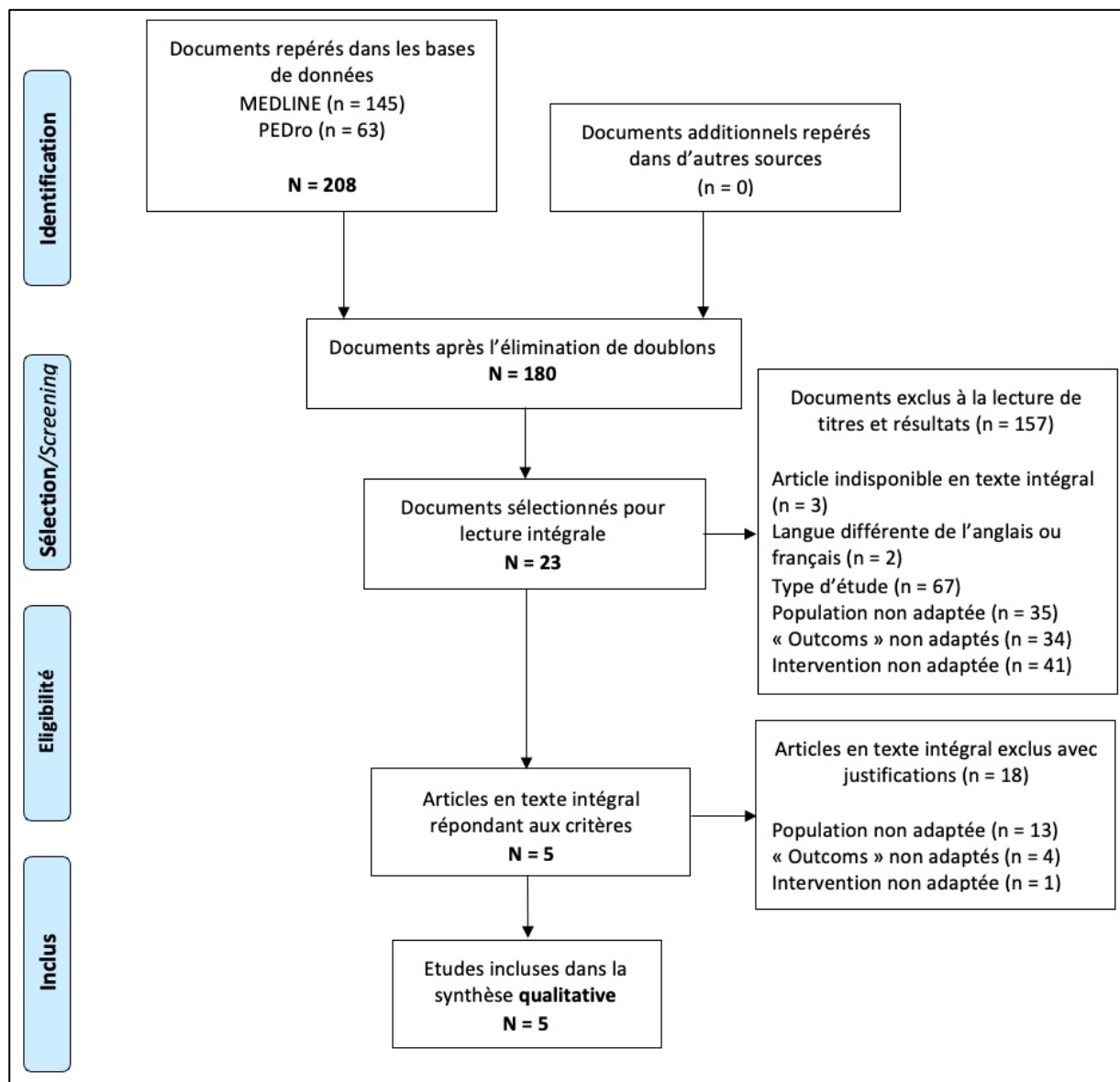
Annexe 6 : Critères du diagnostic de la LMA aux IJ des ECR

Annexe 7 : Grille AMSTAR II

Annexe 1 : Structure du muscle squelettique à différentes échelles (13)



Annexe 2 : Diagramme de flux PRISMA illustrant le processus de sélection des ECR inclus



Annexe 3 : Grille PEDro

Échelle PEDro – Français

- | | | |
|---|---|-----|
| 1. les critères d'éligibilité ont été précisés | non ☐ oui ☐ | où: |
| 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) | non ☐ oui ☐ | où: |
| 3. la répartition a respecté une assignation secrète | non ☐ oui ☐ | où: |
| 4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants | non ☐ oui ☐ | où: |
| 5. tous les sujets étaient "en aveugle" | non ☐ oui ☐ | où: |
| 6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle" | non ☐ oui ☐ | où: |
| 7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels | non ☐ oui ☐ | où: |
| 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 | non ☐ oui ☐ | où: |
| 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" | non ☐ oui ☐ | où: |
| 10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels | non ☐ oui ☐ | où: |
| 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 | non ☐ oui ☐ | où: |

	<i>Sherry & al (2004)</i>	<i>Slider & al (2014)</i>	<i>Askling & al (2013)</i>	<i>Askling & al (2014)</i>	<i>Kim & al (2017)</i>
1. Critères d'éligibilité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
2. Répartition aléatoire	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
3. Assignation secrète	Non	Non	Non	Non	Oui
4. Comparabilité initiale intergroupe	Non	Non	Oui	Non	Non
5. Sujets « en aveugle »	Non	Non	Non	Non	Non
6. Thérapeutes « en aveugle »	Non	Non	Non	Non	Non
7. Examineurs « en aveugle »	Non	Non	Non	Non	Non
8. Suivi adéquat	Oui	Non	Oui	Oui	Non
9. Analyse en intention de traiter	Non	Oui	Non	Non	Oui
10. Comparaisons statistiques intergroupes	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
11. Estimations effet et variabilité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Note finale	4 / 10	4 / 10	5 / 10	4 / 10	5 / 10

Annexe 4 : Tableau détaillant les protocoles des ECR inclus

Études	Groupe « Excentrique »	Groupe « Contrôle »
Asklung & al (2013) (2014)	Protocole L	Protocole C
	• « the extender » : 2x/jour 3x12rep • « the driver » : - 1x/jour 3x6rep • « the glider » : Progression -> augmente la longueur glissée et plus rapide - 1x/3jours 3x4rep	• Étirement en contracté-relâché : le talon du MI blessé est placé sur la table d'examen avec le genou légèrement fléchi (10°), le patient est debout sur sa jambe saine. Il pousse le talon dans la table pendant 10s et après 10s de repos vient fléchir son tronc pendant 20s - 2x/jour 3x4 rep • « Calble-pendulum » : utilisation d'une machine avec câble fixe ou d'un élastique. Le patient est debout sur sa jambe saine et réalise des avant-arrière avec son MI blessé, avec le genou à 20-30° et une sangle au niveau de la jambe distale en guise de résistance - 1x/jour 3x6rep • Levé de bassin : part d'une position de DD avec le poids du corps sur les 2 talons et le bassin soulevé puis redescendu. On part avec le genou à 90 - 1x/3 jours 3x8rep
Sherry & al (2004)	STST	PATS
	Phase 1 :	
	• 10 min vélo faible intensité • Étirement en DD flexion de hanche avec genou en extension 4x20s • Étirement en flexion de hanche (point fixe bas) avec rotations lentes de chaque côté 4x20s • Contracté-relâché des IJ debout avec pied sur le tabouret 4x10s contraction/20s étirement • Séries de contractions sub- maximales des IJ 10x10s à 20° de flexion et 60° couché • Glace 20minutes	• Pas chassés faibles à modérés 3x1min • Pas croisés faibles à modérés 3x1min • Appuis faibles à modérés vers l'avant et l'arrière tout en se déplaçant sur le côté 2x1min • Equilibre unipodal progression yo->yf, 4x20s • Planche 4x20s • Pont fessier 4x20s • Pont latéral 4x20s 2 cotés • Glace 20 min
	Phase 2 :	
	• 15 min vélo intensité modérée, effort léger • 5 min de marche vélocité modérée • Étirement en DD flexion de hanche genou en extension 4x20s • Étirement en flexion de hanche (pt fixe bas) avec rotations lentes de chaque côté 4x20s • DV Leg curl 3x10 rep avec des poids sur les chevilles comme R • Extensions de hanche jambe tendue avec élastique 3x10rep • Foot catches : debout, effort de shoot en flexion de hanche, sans poids • Entrainement sans symptômes mais sans accélération • Glace 20 min si présence de symptômes ou fatigue locale ou inconfort	• Pas chassés modérés à intenses 3x1min • Pas croisés modérés à intense 3x1min • Appuis modérés à intense vers l'avant et l'arrière tout en se déplaçant sur le côté 2x1min • Moulin à vent en unipodal 4x20s • Pompes avec rotations de tronc en haut 2x15 rep de chaque côté • Appuis rapides sur place 4x20s • Pull down tronc (good morning) avec élastique 2x15 • Entrainement sans symptômes et sans accélérations • Glace 20 min si présence de symptômes ou fatigue locale ou inconfort
Silder & al (2013)	PRES	PATS modifié
	Phase 1 :	
	• 10 min vélo faible intensité • Contractions isométriques croissantes submaximales - >maximales 10x10 à 3 angles différents (30°, 60°, 90°) • Faire glisser le talon vers la fesse en DD : 15 rep • Course progressive	• 10 min de vélo intensité faible • Pas chassés faibles à modérés 10m 5x30s • Pas croisés faibles à modérés 10m 5x30s • Appuis rapides sur place 3x30s • Équilibre unipodal progression yeux ouverts->fermés, se pencher légèrement en avant 4x20s • Planche 5x10s • Pont fessier 10x5s • Planche latérale 5x10s 2 cotés
	Phase 2 :	
	• 10 min vélo intensité modérée	• 10 min de vélo intensité modérée

	• Flexion de genou DV avec élastique /poids au cheville 3x12 • Extension de hanche en DV bord de table dans toute l'amplitude avec élastique ou poids 3x12 j • Flexion de hanche en DD, genou en extension 4x20s • Flexion de hanche (point fixe bas) avec rotations lentes de chaque côté 4x20s • Leg curl en DV 3x10 rep avec des poids sur les chevilles comme R • Extensions de hanche jambe tendue avec élastique 3x10rep • Foot catches : debout, effort de shoot en flexion de hanche, sans poids • Entrainement sans symptômes mais sans accélération • Glace 20 min si présence de symptômes ou fatigue locale ou inconfort	• 10m Pas chassés modérés à intenses 6x30s • 10m Pas croisés modérés à intense 6x30s • 10m Appuis modérés à intense vers l'avant et l'arrière tout en se déplaçant sur le côté = « boxer shuffle » 4x30s • Moulin à vent en unipodal 4x8 par bras par côté • Planche sur les mains avec rotations de tronc en haut 2x10 rep de chaque côté, tenu 5s en haut • Pont fessier avec « walk out » = marche vers la position DV 3x10 • Marche en fente avec rotations de tronc, toucher avec la main opposé le pied et T-lift, 2x10 par jambe • Équilibre unipodal avec inclinaison vers l'avant et extension de la jambe opposée 5x10s par jambe
	Phase 3 :	
	• 10 minutes de vélo intensité modérée à intense • Nordic hamstring en progression : réussir 2 répétitions sans douleur pour passer au niveau suivant -> 2x5- 8rep / 3x5-8rep / 3x9-12rep, 3x par semaine Faire ces 3 session juste en descente et progresser vers descente + montée • Foot catches en DV avec un lest sur les chevilles 2x10-20 • Extensions de hanche en DV en bout de table, avec lest sur les chevilles 2x10-20 • Foot catches debout sur 1 jambe 2x20 • Pratique individuelle du sport sans symptômes en évitant les sprints et courses à haute intensité	• 10 min de vélo intensité modérée à intense • 30m Pas chassés modérés à intenses 6x30s • 30m Pas croisés modérés à intense 6x30s • 10m Appuis modérés à intense vers l'avant et l'arrière tout en se déplaçant sur le côté = « boxer shuffle » 4x30s • Accélération avant/arrière sans douleur progression 5-10-20m 6x30s • Planche avec rotation et haltère (1,4 à 3,6kg en fonction de la morphologie) tenu 5s en haut 2x10rep • Pont fessier sur 1 jambe sur une chaise 3x15rep progression lent- rapide • Moulin à vent sur 1 jambe avec haltère (2,3 à 6,8 selon morphologie) 2X10 par coté • Pratique individuelle du sport sans symptômes en évitant les sprints et courses à haute intensité
Kim & al (2018)	• Manœuvre SLR 10x30s • ROM Excentrique : Flexion de hanche résistée avec élastique (résistance de 6,5 kg) en DD 2x10 rep • ROM Concentrique : Flexion de genou résistée avec élastique en DV (2x10 rep) • Extension de hanche en DV (2x10 rep) • Pelvic tilt antérieur et postérieur (Inclinaison pelvienne) 2x10x10s • Étirement statique des ischio-jambiers en position debout (uniquement sur la jambe lésée)	• Antidouleurs conventionnels • Séances de kinésithérapie (sans exercices) pour le tt de la douleur

Annexe 5 : Exercices de renforcement excentrique des différents protocoles (101)(102)(104)



Figure 8 : Exercice « the Extender » (protocole L d'Askling)



Figure 7 : Exercice « the Diver » (protocole L d'Askling)



Figure 9 : Exercice « the Glider » (protocole L d'Askling)



Figure 11 : Exercice « Flexion de hanche résistée » (Kim)

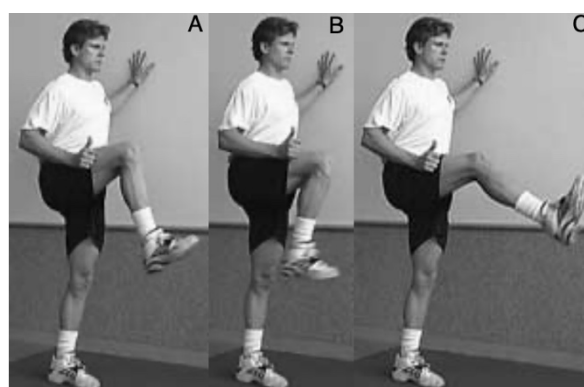


Figure 10 : Exercice « Foot catches » (Sherry, Silder)

Annexe 6 : Critères de diagnostic de LMA aux IJ des différentes études

Diagnostic		<i>Askling & al (2013)</i>	<i>Askling & al (2014)</i>	<i>Sherry & al (2004)</i>	<i>Silder & al (2013)</i>	<i>Kim & al (2017)</i>
Interrogatoire	Survenue brutale d'une douleur à la face postérieure de la cuisse lors de la pratique sportive	X	X		X	
	Mécanisme lésionnel typique	X	X	X		
Examen clinique	Douleur à la palpation	X	X	X	X	
	Douleur au Passive Straight Leg Raise test (SLR)	X	X	X	X	
	Douleur à la contraction isométrique	X	X	X	X	
	Faiblesse à la contraction isométrique				X	
	Douleur/limitation à la course ou à l'activité quotidienne			X	X	
Sources supplémentaires	Auto-questionnaire					X
	IRM	X	X		X	

Annexe 7 : Grille AMSTAR II (traduite en français)

Tableau I. Traduction française de AMSTAR-2.

Items	Cotation
1	Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?
2	Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ?
3	Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?
4	Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?
5	Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?
6	Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?
7	Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?
8	Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?
9	Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?
10	Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?
11	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?
12	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ?
13	Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation / de la discussion des résultats de la revue ?
14	Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ?
15	S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ?
16	Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?

Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	NE	NE	Oui	Oui	NE	Oui

NE : Non Evaluable

