



HAL
open science

Effet du nordic hamstring exercice sur les paramètres anatomo-physiologiques prédictifs de lésions myo-aponeévrotiques des ischio-jambiers chez le footballeur

Matthieu Rio-Lagadec

► To cite this version:

Matthieu Rio-Lagadec. Effet du nordic hamstring exercice sur les paramètres anatomo-physiologiques prédictifs de lésions myo-aponeévrotiques des ischio-jambiers chez le footballeur. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-03980430

HAL Id: dumas-03980430

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03980430>

Submitted on 9 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**EFFET DU NORDIC HAMSTRING EXERCICE
SUR LES PARAMÈTRES ANATOMO-
PHYSIOLOGIQUES PRÉDICTIONNELS DE LÉSIONS
MYO-APONEUROTICIQUES DES ISCHIO-
JAMBIERS CHEZ LE FOOTBALLEUR**

RIO-LAGADEC Matthieu

Directeur de mémoire : M. GONÇALVES

1. Introduction	1
1.1. Anatomie	1
1.1.1. Appareil locomoteur	1
1.1.2. Muscles striés squelettiques :	1
1.1.4. Ischio-jambiers	4
1.1.3.1. Anatomie	4
1.1.3.2. Bio mécanique des IJ	5
1.2. Football	7
1.3. Lésions musculaires aponévrotiques	7
1.3.1. Définition et nomenclature	7
1.3.2. Épidémiologie	8
1.3.3. Physiopathologie	8
1.3.4. Facteurs de risque	9
1.3.4.1. Facteurs de risque non modifiable	9
1.3.4.2. Facteurs de risque modifiables	9
1.3.5. Classification	11
1.4. Prévention des lésions myo-aponévrotiques	13
1.4.1. Généralités	13
1.4.2. Prévention dans le sport	14
1.4.3. Prévention et football	15
1.5. Renforcement musculaire	16
1.5.1. Généralités	16
1.5.3. Renforcement excentrique	17
1.5.4. Le Nordic Hamstring Exercice	18
1.5.5. L'isocinetisme : Utilisation dans l'évaluation musculaire du sportif :	19
2. Méthodologie	22
2.1. Critères d'éligibilité des études pour cette revue	22
2.1.1. Schéma d'études	22
2.1.2. Population	22
2.1.3. Interventions	22
2.1.4. Critères de jugement (outcome)	23
2.2. Méthodologie de recherche des études	23
2.2.1. Les sources documentaires investiguées	23
2.2.2. Équations de recherche utilisée	23
2.3. Méthode d'extraction et d'analyse des données	25
2.3.1. Méthode de sélection des études	25
2.3.3. Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées	26
2.3.4. Extraction des données	26
2.3.5. Méthode de synthèse des résultats	26
3. Résultats	28
3.1. Description des études	28
3.1.1. Résultats des recherches bibliographiques – diagramme de flux	28
3.1.2. Études exclues	30
3.1.4. Tableau descriptif des études incluses	31
3.2. Risques de biais des études incluses	34
3.3.1. Critère de jugement principal : Force excentrique des IJ	36
3.3.2. Critères de jugement secondaires	43

3.3.2.1.	Effet sur le Ratio IJecc/Qcon	43
3.3.2.2.	Effet sur l'Angle du couple de pointe des IJ	44
3.3.2.3.	Effet sur l'Activation musculaire	44
3.3.2.4.	Effet sur l'architecture musculaire	45
4.	Discussion	47
4.1.	Analyse des principaux résultats	47
4.1.1.	La force musculaire des IJ	47
4.1.2.	Ratio IJecc/Qcon:	51
4.1.3.	Angle du couple de pointe :	52
4.1.4.	Activation musculaire	53
4.1.5.	Architecture musculaire	54
4.2.	Applicabilité des résultats en pratique clinique	55
4.2.1.	La population	55
4.2.2.	Traitement et son comparateur	56
4.2.3.	Critères de jugement	57
4.2.4.	La balance cout/bénéfice/risque/contrainte et taille de l'effet	58
4.3.	Qualité de preuve	60
4.4.	Limites et biais potentiels de la revue	62
5.	Conclusion	63

Bibliographie

Annexes

Remerciements :

Je tiens à remercier vivement toutes les personnes qui ont contribué à la rédaction de cette revue de fin d'étude.

Tout d'abord merci à Mr Pedro Gonçalves pour ses conseils, son expertise dans le domaine, qui a su toujours être présent lorsque j'avais des interrogations.

Merci à Max Vallat, Hervé Gozzi, Vincent Adolf, Christophe Bianchi, Nathan Attal, mon père ainsi que tous les formateurs, intervenants, professionnels qui m'ont permis d'enrichir mes connaissances, ma pratique, ma vision de la kinésithérapie grâce à leurs conseils, leur expérience et leur point de vue critique.

Merci à mes camarades de promotion, mes amis de LVDF, mon binôme de TP qui m'ont aidé tout au long de l'année.

Merci à ma mère pour sa positivité et son soutien constant et plus largement toute ma famille, pour leur confiance accordée tout au long de mon cursus universitaire ainsi que pour la conception de mon mémoire.

Résumé

Contexte : La lésion musculaire des IJ est la pathologie la plus fréquente dans la pratique du football avec une incidence en augmentation de 4% ces dernières années. Elle touche aussi bien les joueurs amateurs que professionnels. A l'heure actuelle, les études scientifiques montrent un impact positif d'un programme NHE sur la diminution de l'incidence et de la gravité des blessures. Néanmoins, le rôle à jouer des facteurs de risques reste encore à démontrer.

Objectifs : L'objectif de cette revue systématique est d'analyser l'intérêt d'un programme centré sur le NHE afin de connaître les effets recensés dans la littérature actuelle sur les paramètres anatomo-physiologiques dans un but préventif de LMA des IJ.

Méthode : La recherche bibliographique a été effectuée sur plusieurs bases de données : PubMed, Cochrane Library, PEDro à l'aide d'une équation de recherche établie à partir du modèle PICOS.

Résultats : sur les 239 résultats retrouvés, 6 ECR ont été inclus avec un total de 291 athlètes analysés lors d'une saison de football. La qualité méthodologique moyenne des études est de 5 sur l'échelle PEDro. Toutes les études ont montré une amélioration de la force excentrique des IJ (effets faibles à élevés). Deux études sur trois mettent en évidence une augmentation du ratio (effets modérés à élevés) tandis qu'aucune des deux études traitant l'angle de couple de pointe ne démontrent un changement de celui-ci. L'une des deux études qui abordait l'architecture musculaire présente des inconstances dans l'épaisseur et la longueur du fascicule et l'angle de pennation dans les deux groupes d'intervention. L'autre montre une amélioration de l'épaisseur et de la longueur musculaire dans les deux G.I. (effets faibles à modérés) mais note aucun changement significatif de l'angle de pennation.

Discussion : Cette revue a une qualité de preuve modérée dans l'augmentation de la force excentrique des IJ et du ratio IJecc/Qcon, et une qualité de preuve faible dans l'angle de couple de pointe, l'activation musculaire et l'architecture musculaire. Le NHE est pertinent en pratique clinique même si l'importance de son effet reste à déterminer dans de futures études. Le programme NHE montre son efficacité pour 4 critères de jugement sur 5.

Mots clé : Football, prévention, facteurs de risque, lésions musculaires, Ischio-jambiers, Nordic Hamstring Exercice (NHE), force musculaire excentrique, architecture musculaire, activité musculaire

Abstract

Introduction : The hamstring Strain Injury (HSI) is the most common injury in football. The incident grew up for 4% in the last few years. HSI impact both amateurs and professionals football players. Currently, scientific studies show the effectiveness of including NHE program to decrease incidence and severity of HSI. Nevertheless, the role of risk factors has yet to be demonstrated.

Purpose: The purpose of this systematic review is to analyze the interest of a NHE program in order to ascertain the effects identified in the current literature related to the anatomical-physiological parameters in a preventive objectives of HSI.

Methods: The bibliographic search was performed on several databases: PubMed, Cochrane Library, PEDro with a search equation based on the PICOS model.

Results: Of 239 result found, 6 ECR were included with a total of 291 athletes analyze during football season. The average methodological quality of the studies is 5 on the PEDro scale. All studies showed an improvement in the eccentric strength of hamstrings (low to high effects). Two out of three studies present an increase in the ratio (moderate to high effects) while neither of the two peak torque angle studies demonstrate a change in the angle. One of the two studies that addressed muscle architecture presented inconsistencies in fascicle thickness and length and

pennation angle in both intervention groups. The other one reveals an improvement in muscle thickness and length in both intervention groups (small to moderate effects) but no significant change in pennation angle.

Discussion: This review has a moderate quality of evidence in the increase in eccentric hamstring strength and Hecc/Qcon ratio, and a low quality of evidence in peak torque angle, muscle activation, and muscle architecture. NHE is relevant in clinical practice. Although the magnitude of its effect remains to be determined in future studies. The NHE program presents efficacy in 4 out of 5 outcomes.

Key words: Football, prevention, risk factor, Hamstring strain injury (HSI), Nordic Hamstring exercise (NHE), Eccentric muscle strength, Muscle architecture, muscle activity

Liste des abréviations :

LMA : Lésion myo-aponévrotique

IJ : Ischio-jambiers

ST : m. semi-tendineux

SM : m. semi-membraneux

BF_{lh} : Biceps femoral long head = Longue portion du biceps fémoral

BF_{sh} : Biceps femoral short head = Courte portion du biceps fémoral

Q : Quadriceps fémoral

DOMs : Delayed Onset Muscle Soreness = Lésions retardées (courbatures)

FFF : Fédération Française de Football

FIFA : Fédération International de Football Association

ECR : Essai Clinique Randomisé

PAP : Paramètres anatomo-physiologiques

NHE : Nordic Hamstring Exercise

HC : Hip Curl

G.I. : Groupe d'intervention

G.C. : Groupe contrôle

NHE_{av} : NHE avant pratique

NHE_{ap} : NHE après pratique

IC : Intervalle de Confiance

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Classification clinique des LMA d'après Durey et Rodineau

Tableau 2 : Mode de contraction musculaire et caractéristiques

Tableau 3 : Résumé des critères d'éligibilités des études à inclure sur la base du modèle PICOS

Tableau 4 : Résumé des études exclues après lecture intégrale

Tableau 5 : Tableau descriptif des études incluses dans la revue de littérature

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des critères de jugements inclus dans les études

Tableau 7 : Synthèse des biais des études incluses via l'échelle d'évaluation PEDro

Tableau 8 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ Mjølnes et al.2004

Tableau 9 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ Ishoi et al.2018

Tableau 10 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ Sebelien et al.2014

Tableau 11 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ Iga et al.2012

Tableau 12 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ Medeiros et al.2004

Tableau 13 : résumé des résultats et de l'effet du NHE programme sur la force musculaire des IJ

Tableau 14 : Résumé des résultats et de l'effet du NHE programme sur le ratio IJecc/Qcon

Tableau 15 : Résumé des résultats et de l'effet du NHE programme sur l'architecture musculaire

Tableau 16 : Facteurs influençant la cotation de la qualité des preuves

Tableau 17 : Grille de l'échelle AMSTAR-2

1. Introduction

1.1. Anatomie

1.1.1. Appareil locomoteur

L'appareil locomoteur est l'ensemble de systèmes, d'organes et de structures nécessaires au déplacement et aux mouvements du corps humain [1]. On retrouve le système osseux, le système articulaire, musculaire, vasculaire et lymphatique ainsi que le système nerveux. Sous l'influence du système nerveux, on compte 639 muscles s'insérant sur les 206 os du squelette humain [1]. Le muscle est un tissu formé de fibres douées de contraction permettant de produire un mouvement. Les muscles participent à diverses fonctions essentielles à la vie de l'organisme (digérer, respirer...) et à son adaptation au milieu environnant (locomotion, thermorégulation...)[1]. Les caractéristiques anatomiques et fonctionnelles des différents muscles permettent de les subdiviser en 3 catégories [1]:

- muscles lisses présents dans la paroi de nombreux organes (paroi vasculaire, paroi du tube digestif, voies respiratoires comme par exemple dans les bronches...);
- muscle strié cardiaques ;
- ainsi que le muscle strié squelettique qui par définition, par l'intermédiaire du tendon, se fixe au squelette et permet le mouvement de celui-ci dans une direction bien définie grâce à sa fonction essentielle de contraction. Dans le cadre de ce mémoire, je vais m'intéresser aux muscles striés squelettiques et notamment aux ischio-jambiers (IJ).

1.1.2. Muscles striés squelettiques :

Les muscles striés squelettiques représentent environ 40% du poids du sujet [2]. Un muscle squelettique est constitué de faisceaux musculaires. Ces faisceaux sont eux-mêmes formés d'un ensemble de fibres musculaires. Enfin chaque fibres musculaire contient des centaines de myofibrilles [1]. Chaque muscle est inséré sur l'os par l'intermédiaire de tendons constitués essentiellement de tissu fibreux, élastique et solide (T.N, 2010). Les muscles striés squelettiques ont un rôle de posture et de mouvement, un rôle stabilisateur et moteur. Les propriétés du muscles permettent de remplir ces fonctions comme : [3], [2]

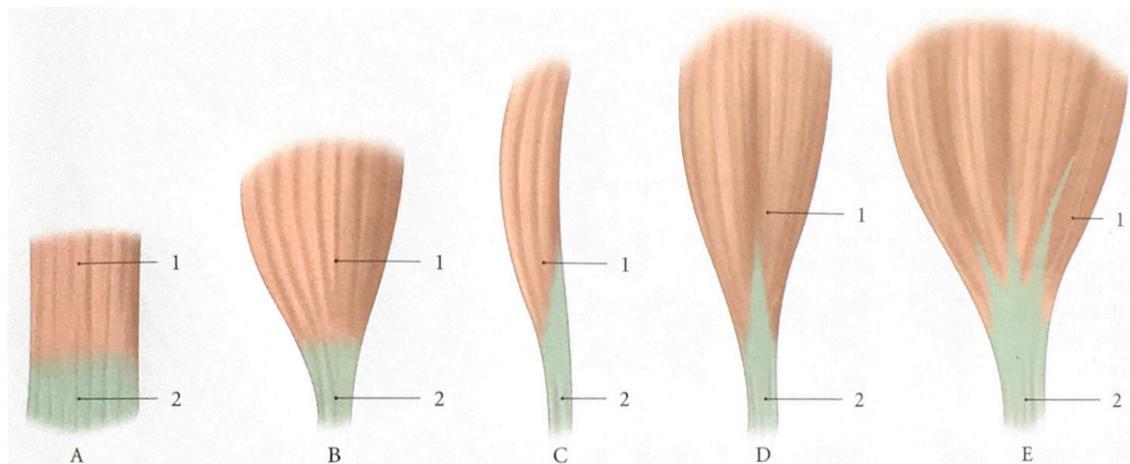
- Excitabilité : c'est la faculté qu'a le muscle de percevoir un stimulus et d'y répondre. La réponse de la fibre musculaire est la production et la propagation d'un courant électrique (potentiel d'action) qui est à l'origine de la contraction.
- Contractilité : c'est la capacité de se contracter avec force en présence de la stimulation appropriée
- Élasticité : propriété physique du muscle. C'est la capacité qu'ont les fibres musculaires de s'étirer et de reprendre leur longueur de repos après l'étirement. Elle joue un rôle d'amortisseur lors de variations brutales de la contraction.
- Extensibilité : c'est la faculté d'étirement. Si lorsque les fibres musculaires se contractent, elles raccourcissent lorsqu'elles sont relâchées, on peut les étirer au-delà de la longueur de repos.
- Plasticité : le muscle à la propriété de modifier sa structure selon le travail qu'il effectue. Selon le type d'entraînement on peut rendre le muscle plus résistant ou endurant.

L'activité musculaire est contrôlée par le système nerveux. Les fibres musculaires sont innervées par des fibres motrices alpha, ou motoneurone alpha [2]. Chaque motoneurone innerve plusieurs fibres musculaires qu'il active de façon synchrone. La structure de base sur laquelle s'articule la physiologie musculaire est l'unité motrice. Une unité motrice est formée par le motoneurone, son prolongement (axone) qui chemine dans le nerf périphérique et l'ensemble des fibres musculaires que le motoneurone innerve [2]. Chaque axone moteur se divise en un certain nombre de ramifications,

chacune d'elles innervant une seule fibre. Lors d'un mouvement, le contrôle de la force de contraction est lié au nombre d'unités motrices recrutées.

Il y'a différents types de fibres musculaires [1]: les fibres de type I à contraction lente ou fibres rouges : de petit diamètre et très vascularisées, elles contiennent de nombreuses mitochondries et peu de glycogène. Les fibres I sont peu fatigables elles sont surtout utilisées lors d'exercices peu puissants et prolongés comme pour le maintien de la posture. Les fibres de types II à contraction rapide, appelé aussi fibres blanches sont de plus grand diamètre, pauvres en mitochondries, peu vascularisées, mais riches en glycogène. Elles sont très puissantes mais très fatigables, elles sont sollicitées lors des exercices brefs mais intenses [1]. Les fibres de types Ila sont des fibres intermédiaires dont le pourcentage varie selon les muscles et selon l'individu.

On retrouve aussi différents types de muscles [1]: les muscles pennés et fusiformes. Les muscles fusiformes ont des fibres organisées de façon longitudinale. Quant aux muscles pennés, ils peuvent être uni-, bi- ou multi- pennés et l'organisation de leurs fibres forme un angle variable avec le tissu conjonctif qui est l'axe principe du muscle. En effet, au sein des muscles pennés, le tissu conjonctif forme un véritable squelette intra et péri musculaire là où les fibres s'insèrent. Cette architecture signifie que les fibres musculaires ne vont pas de tendons à tendons mais d'une aponévrose à une autre, qu'elle soit périphérique ou centrale. Les faisceaux musculaires s'attachent sur le tissu conjonctif par l'intermédiaire de protéines de liaison qui peuvent différer selon les individus ainsi que le sport et l'entraînement spécifique pratiqué [4]. Cette jonction constitue un réel point de faiblesse engendrant des lésions musculo-aponévrotiques [4].

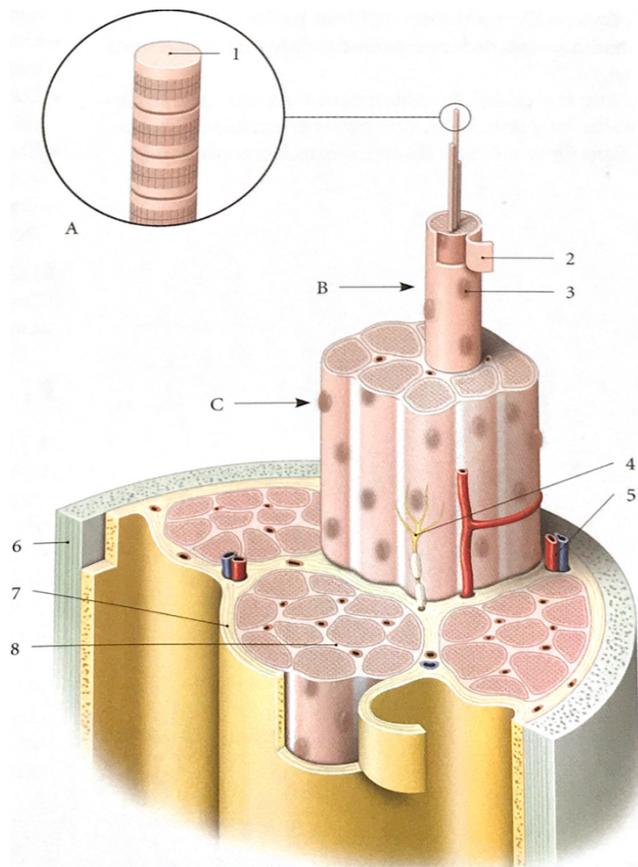


- | | | |
|-----------------|------------------|----------------------|
| A. m. plat | D. m. bi-penné | 1. Ventre musculaire |
| B. m. fusiforme | E. m. multipenné | 2. Tendon |
| C. m. unipenné | | |

Figure 1 : texture du muscle, [5]

Les muscles pennés ont une capacité de raccourcissement dépendant de la longueur des fibres musculaires qui les composent. Cette dernière est moins importante que les muscles dont les fibres sont organisées longitudinalement. En revanche, la force de contraction est plus élevée que celle d'un muscle fusiforme à surface de section égale. De plus, la force de contraction des muscles pennés est inversement proportionnel à l'angle de pénétration contrairement au raccourcissement qui est lui proportionnel à cet angle.

Un muscle squelettique quel qu'il soit est entouré de plusieurs couches de tissu conjonctif non extensible : l'endomysium entourant chaque fibre musculaire, le perimysium rassemblant les différentes fibres musculaires en faisceau de fibre musculaire, l'epimysium recouvrant l'ensemble du muscle [1]. On se retrouve donc avec une unité contractile très extensible puisqu'elle peut par exemple se déformer jusqu'à 110% de sa longueur de repos pour les IJ. L'enveloppe de tissu conjonctif est quant à elle peu voire non extensible [5].



- A. Fascicule (myofibrille)
- B. Myocyte
- C. Faisceau musculaire

- 1. Fascicule
- 2. Sarcolemme
- 3. Noyau
- 4. n. moteur
- 5. Vaisseaux
- 6. Epimysium et fascia
- 7. Périmysium
- 8. Endomysium

Figure 2 : *structure d'un muscle squelettique, [5]*

1.1.4. Ischio-jambiers

2. Je vais présenter l'anatomie des IJ telle qu'elle est décrite dans le Dufour, 2015 [6].

1.1.3.1. Anatomie

Le groupe musculaire des ischio-jambiers se trouve à la face postérieure de la cuisse. Il comprend le semi-tendineux (ST), le semi-membraneux (SM) et les deux chefs du biceps fémoral : longue portion (BFlh) et courte portion (BFsh).

Le SM, ST et BFlh sont des muscles bi-articulaires. Ils agissent dans l'extension de l'articulation coxo-fémorale et dans la flexion de genou. Ils ont une attache proximale sur la tubérosité ischiatique (sauf BFsh), et une distale : le ST et SM s'insèrent sur le tibia alors que les deux chefs du BF s'insèrent sur la fibula. Les ischio-jambiers présentent des variations de longueur interindividuelle importantes [5]. Ils sont innervés par le nerf sciatique émergent de S1, avec également des variations interindividuelles.

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| 1. m. BFlh | 6. Tubérosité ischiatique |
| 2. m. semi-tendineux | 7. m. BFsh |
| 3. m. semi-membraneux | 8. Expansion latérale |
| 4. Expansion médiale | 9. Capsule articulaire |
| 5. Insertion proximale | 10. Tête de la fibula |

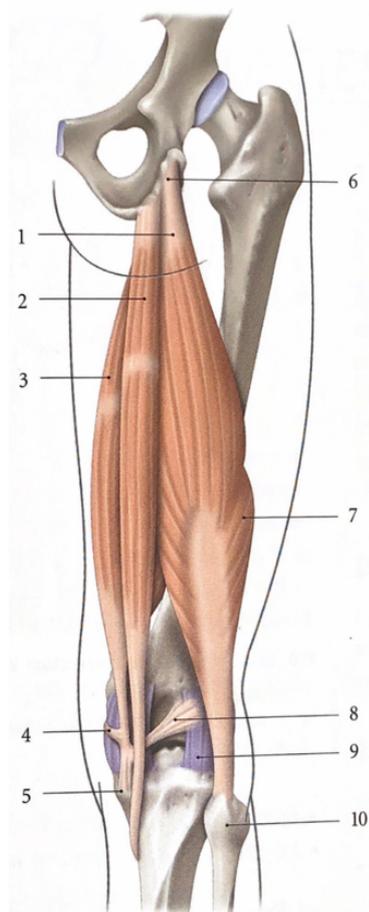


Figure 3: Anatomie des muscles Ischio jambiers, [5].

Les muscles semi-tendineux et semi-membraneux sont des muscles médiaux. L'attache proximale de ces muscles est au niveau de la tubérosité ischiatique. Le ST partage son tendon avec le BFlh mais ensuite ces muscles divergent. Dans les premiers $\pm 7,5$ cm de leur trajet, ils partagent une aponévrose [7]. Le ventre du ST ne s'étend généralement que jusqu'à la mi-cuisse, se prolonge par un long tendon jusqu'à son insertion dans la partie supérieure de la surface médiale du tibia, en arrière de l'attache du muscle sartorius et sous le muscle gracile. Le SM se situe en profondeur par rapport au ST. Son insertion proximale présente un tendon long et plat qui reçoit des expansions fibreuses grand adducteur. Au niveau distal, le SM partage des fibres avec le ST et le BFlh. Vers la mi-cuisse, le SM émet des fibres musculaires qui convergent vers une deuxième aponévrose qui s'attache sur le tendon terminal. Le tendon distal du SM se divise en cinq composants : antérieur, direct, capsulaire, inférieur et le ligament poplité oblique. Le SM a une relation anatomique étroite avec le gastrocnémien médial généralement séparé par une bourse. Au-delà des actions communes à tous les ischio-jambiers, le ST (ainsi que le SM) effectue une rotation médiale du tibia par rapport au fémur lorsque le genou est en légère flexion. Lorsque la hanche est en extension, le ST (et le SM) peuvent agir pour produire une rotation médiale de la cuisse.

Le biceps fémoral est quant à lui latéral. Le tendon proximal du BFlh est commun avec le ST. Le BFlh a un ventre fusiforme et ses fibres se terminent dans une aponévrose qui reçoit également des fibres du BFsh. L'angle de pennation des fibres du BFlh n'est pas uniforme, étant plus important dans les sections proximale-médiane, par rapport aux sections distale et extrême proximale [8]. Le BFsh a son insertion proximale au niveau de la ligne âpre de la face postérieure du fémur. Ces muscles partagent un tendon commun qui s'insère sur la partie postéro-latérale de la fibula et envoie des

expansions au ligament collatéral latéral et au condyle latéral du tibia. Au-delà des actions communes à tous les ischio-jambiers, le BF peut effectuer une rotation latérale du genou lorsque cette articulation est en légère flexion. Avec la hanche en extension, le BF peut agir pour produire une rotation latérale de la cuisse.

L'innervation est partagée entre les muscles ST, SM et BF_{lh}, assurée par la division tibiale du nerf sciatique (L5, S1, S2) alors le BF_{sh} est innervé par des nerfs de la division fibulaire commune. Cette innervation différente des deux chefs du BF peut entraîner une altération de la synchronie et de la coordination, ce qui expose potentiellement le BF à un risque accru de blessure [8].

La richesse de ces muscles en tissu conjonctif dense leur confère une raideur passive [6]. Cette dernière permet une économie d'énergie mais réduit nettement leur potentiel d'extensibilité [6]. De plus, les IJ possèdent de longs tendons facilitant la transmission et la dissipation des forces lors de la contraction ou de l'étirement en augmentant considérablement le risque de blessure [9]. Parmi les trois IJ bi-articulaires, le BF_{lh} subit l'étirement le plus important atteignant presque 110% de sa longueur en position debout pendant la phase aérienne terminale tandis que le ST et le SM atteignent respectivement 108% et 107% [4].

1.1.3.2. Bio mécanique des IJ

Sur le plan fonctionnel, les IJ jouent un rôle important dans le transfert de poids entre le tronc et les membres inférieurs [6].

La coordination des IJ avec d'autres muscles de la région lombo-pelvienne peut être pertinente pour comprendre les lésions aux IJ. En plus d'être rétro verseurs du bassin assurant ainsi la stabilité antéro-postérieure de ce dernier ils aident le grand fessier à contrôler l'inclinaison du tronc vers l'avant [6]. Il est mis en évidence que les IJ se contractent fortement dans les actions impliquant la nécessité d'étendre ou de contrôler le taux de flexion de hanche tandis que le grand fessier se contracte lorsqu'une extension puissante de hanche est requise. Le grand adducteur effectue également cette extension de hanche. Comme les IJ il s'attache sur la tubérosité ischiatique et partage l'innervation du nerf sciatique. Une diminution de la capacité fonctionnelle du grand adducteur et/ou du grand fessier peut entraîner une plus grande sollicitation des IJ [9].

Les IJ interviennent dans ce que l'on appelle le paradoxe de Lombard. [6] En effet, ce paradoxe intervient lors de la co-contraction de muscles bi-articulaires agissant simultanément pour réaliser une extension du membre concerné [6].

Les IJ et quadriceps se situent de part et d'autre des axes de mobilité de la hanche et du genou, ils ont une action antagoniste au niveau de la hanche (IJ est extenseur, Q est fléchisseur) et une action antagoniste au niveau du genou (IJ est fléchisseur et Q est extenseur). Dans un mouvement de relevé de chaise ou de squat les IJ et le quadriceps se contractent en même temps et s'associent de manière parallèle pour réaliser le geste. On retrouve le paradoxe de lombard dans la course : l'extension du genou est effectuée par la contraction et le raccourcissement du quadriceps mais freinée en même temps par les IJ [10]

Cet effet valorise le fonctionnement en secteur de force car les muscles concernés restent dans leur course moyenne. Ils ne deviennent ni trop raccourcis ni trop étirés (ce qui diminuerait leur capacité à produire de la force).

Les IJ sont alors très importants dans un sport tel que le football [11].

Ils ont un rôle important dans les gestes comme les sauts, les tacles, les frappes de balle [11]. Par exemple le mouvement de la jambe de frappe, comprend un mouvement vers l'arrière puis vers l'avant. Pendant le mouvement arrière, les IJ agissent de manière concentrique dans l'extension de la hanche (associé grand fessier), la flexion du genou et la rotation latérale (uniquement le BF). Pendant

le mouvement vers l'avant, les IJ se contractent de façon excentrique pour décélérer la hanche et le genou pendant les mouvements respectifs de flexion de la hanche et d'extension du genou. L'action décélérante des IJ se produit dans une position atteignant la longueur maximale des IJ (flexion de la hanche et extension du genou) [11]. Le même mécanisme est retrouvé lors du tackle. Ces mécanismes peuvent être à l'origine d'un traumatisme des IJ [11].

De même, les IJ sont importants lors de la course et principalement lorsqu'elle est réalisée à haute vitesse. *Kunz et Unold (1988)* ont analysé l'activité musculaire durant 3 types de courses : lente, à allure moyenne et allure maximale. Il en résulte qu'au plus la vitesse et l'intensité sont élevées, au plus l'activation des IJ est importante.

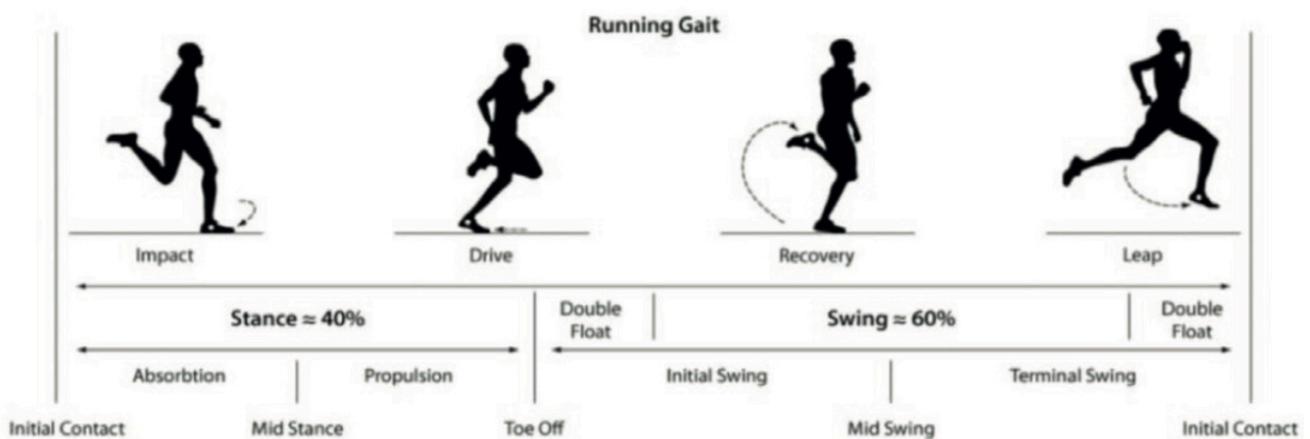


Figure 4 : Décomposition des différentes étapes de la foulée

La foulée est composée de deux phases : la phase d'appui et la phase de suspension. La phase d'appui comprend trois étapes : l'amortissement qui est caractérisé par la pose du pied au sol ; le soutien est défini par la position du bassin au-dessus de l'appui ; la propulsion ou poussée qui commence lorsque le bassin passe en avant de l'appui et se termine lorsque l'appui quitte le sol. La phase de suspension ou aérienne, est la phase où aucun appui ne touche le sol. La jambe effectue un retour vers l'avant après l'impulsion. La vitesse est dépendante de l'accélération produite pendant la phase d'appui [12].

Les IJ sont activés pendant tout le cycle de la course ; de manière importante, du milieu à la fin de la phase aérienne et lors de l'amortissement [13]. L'activation est maximale lors de la fin de la phase aérienne [14], elle est environ deux à trois fois plus importante que lors du début de la phase aérienne [13]. D'après Higashihara et al., le BF présente une activation élevée juste avant et après le contact avec le pied, tandis que les IJ médiaux présentent une activation élevée lors de la fin de phase aérienne et de milieu de la phase d'appui (étape du soutien) [15].

Sur la fin de la phase aérienne, les muscles ischio-jambiers se contractent avec force tout en s'allongeant pour décélérer l'extension de genou et la flexion de hanche. C'est également dans cette phase que les IJ atteignent leur taille maximale. Des études utilisant des simulations musculo-squelettiques ont montré que les muscles ischio-jambiers bi articulaires subissent une contraction excentrique dans cette phase de la course et que le muscle ST présentait la plus grande vitesse d'allongement musculo-tendineuse [15].

Pendant la phase d'appui, les muscles IJ sont activés contre la flexion de la hanche et le moment d'extension du genou par la force de réaction du sol au moment du contact avec le pied, entraînant une force de propulsion vers l'avant.

Lors de cette phase, le droit fémoral, le grand fessier et les IJ se contractent conjointement ; ainsi les antagonistes et les agonistes travaillent ensemble [10], vu précédemment via le paradoxe de lombard. C'est également durant cette phase qu'on retrouve les couples de force maximaux de l'extension de hanche et flexion de genou [4]. Lors de la propulsion, les muscles ischio-jambiers fonctionnent comme des extenseurs de la hanche qui agissent de manière concentrique pour ramener rapidement la cuisse en arrière et comme fléchisseurs du genou qui décélèrent de manière excentrique l'extension du genou [13].

Les IJ sont donc en contraction excentrique en fin de phase aérienne et ce juste avant la pause du pied et lors de l'étape de propulsion avant le décollage du pied. *Yu et al. 2008* [13] ont suggéré que ces deux étapes de la course pouvaient être à l'origine d'un risque de blessure des IJ.

1.2. Football

Le football, tel que nous le connaissons, est né vers la fin du XIXème siècle en Angleterre quand la Football Association, toute première instance dirigeante de ce sport fut créée le 26 octobre 1863 [16] pour jouer avec un ballon dont il était interdit de jouer avec ses mains, pas plus que l'adversaire. Mais ses origines, réelles ou supposées, se perdent dans la nuit des temps. Dans toutes les civilisations humaines, la balle a laissé sa trace indélébile retrouvant même des témoignages des Chinois d'avant Confucius ou des Égyptiens de l'époque [16].

Aujourd'hui le football est pratiqué dans le monde entier par des millions de personnes. Outre l'aspect sportif, le football a aujourd'hui un impact économique et social très important. D'après l'Union Européenne des Associations du Football (UEFA), il n'y a pas moins de 8,6 millions de joueurs amateurs fédérés dans les 25 fédérations nationales qui font partie de l'UEFA. En France on retrouve 15 000 clubs répartis sur l'ensemble du territoire et près de 80 000 équipes engagées dans les compétitions existantes (Site de la FFF).

La pratique du football implique une activité physique intense et prolongée. Cela exige de la vitesse, de la force, de la concentration, de la précision lors d'entraînements ou de matchs. La pratique de ce sport expose les joueurs aux risques de blessures ; les plus communes sont les entorses ligamentaires de cheville ou de genou, les lésions musculaires, les tendinopathies... D'après une étude de cohorte [17], qui comprend au total plus de 2200 joueurs de football d'élite, la lésion musculaire peut représenter jusqu'à 55% des traumatismes de ce sport.

1.3. Lésions musculaires aponévrotiques

1.3.1. Définition et nomenclature

Les lésions musculaires sont décrites comme myo-aponévrotiques dans cette revue. Dans le cadre des lésions musculaires avec atteinte intrinsèque du muscle, il y a trois sièges de lésions : musculaire, myo-conjonctif ou conjonctif.

Wilke et al. 2019 ont fait une revue systématique et méta-analyse en 2019 afin de résumer la littérature scientifique sur la prévalence des lésions musculaires et l'association avec le tissu conjonctif. Ils ont inclus 16 études avec un total de 1503 blessures musculaires [18].

Après exploration ils ont exposé 3 sources lésionnelles : myo-fasciales, myo-tendineuses ou tendineuses et musculaires [18].

- Les lésions myo-fasciales comprennent les lésions tissulaires trouvées dans le tissu conjonctif entourant le muscle (fascia profond et épimysium) ainsi que sa jonction avec le muscle.
- Les lésions myo-tendineuses sont les lésions tissulaires que l'on trouve dans le tendon (proximal ou distal) du muscle ou les fibres musculaires s'insérant près ou dans le tendon.
- Enfin, les lésions purement musculaires. Aucune atteinte des tissus conjonctifs tels que le fascia, le tendon, l'épimysium ou le perimysium.

1.3.2. Épidémiologie

Les LMA des IJ ont une prévalence élevée chez les joueurs professionnels [17], [19], [20] mais également chez les amateurs [21]. L'incidence (nombre de blessures /1000 heures d'exposition) de ces dernières augmente annuellement de 4% depuis plus de dix ans (Ekstrand et al., 2015). L'incidence des LMA est significativement plus élevée lors de l'entraînement chez les amateurs alors que l'incidence de ces blessures est plus élevée lors des matchs de compétition dans le milieu professionnel amateurs [21].

Les LMA représentent un tiers des blessures dans la pratique du football [17]. Elles causent 27% d'absences liées aux blessures dans les clubs. Chaque saison 37% des joueurs suivis lors de l'étude de Ekstrand [17] ont manqué un entraînement ou un match suite à une blessure musculaire. Les lésions des IJ sont le sous type de blessure le plus courant représentant 12% de toutes les blessures.

L'association des médecins des clubs professionnels français a mené une enquête prospective au cours de 18 mois sur les équipes des 2 premières divisions [20]. Il en résulte que les blessures musculaires étaient à l'origine de 40% des blessures, Les LMA aux IJ prédomine chez les défenseurs et les milieux, même si la prévalence chez les attaquants reste élevée [19], [20].

Wilke et al. [18] ont constaté une prévalence plus élevée des lésions myo-tendineuses (ou tendineuse) de l'ordre de 68,4%, suivies des lésions myo-fasciales 32,1% et des lésions musculaires 12,7%.

La majorité des LMA affectent le biceps fémoral [23]. Dans une étude rétrospective portant sur 275 joueurs de football masculins ayant subi des blessures aux ischio-jambiers, le BFlh était le plus souvent touché (56,5 %), suivi du ST (24,4 %), du SM (13,7 %) et du BFsh (5,6 %) [24].

1.3.3. Physiopathologie

Il existe deux types de lésions musculaires : les lésions dites « retardées » ou DOMs (Delayed Onset Muscle Soreness) qui font référence aux courbatures et les lésions pendant l'effort.

Les DOMS sont communément appelés les courbatures. Sur le plan anatomique, le tissu de soutien n'est pas lésé : il n'y a pas de saignement ni d'hématome. On ne retrouve pas de lésion à l'échographie. Sur le plan physiologique, elles se traduisent par une modification des amplitudes articulaires, des capacités d'amortissement, du recrutement (EMG), du ratio agoniste/antagoniste ainsi qu'un déficit de force max. la baisse de la force max provient en grande partie de la diminution de l'activation musculaire. Il y a un risque accru de blessure de 8 à 15 jours post DOMS.

Dans les LMA pendant l'effort, il convient de distinguer les lésions extrinsèques, consécutives à un choc direct, des lésions intrinsèques par traumatisme endogène [25]. Dans cette revue, nous nous limiterons à ces dernières.

Les LMA intrinsèques peuvent être engendrées plusieurs mécanismes, mais toujours selon 2 composantes qui sont la contraction excentrique et l'*overstretching*. Il se produit un dépassement des possibilités d'élasticité ou de résistance du muscle lors de la contraction associé à un étirement forcé en position d'allongement maximal.

En lien avec la contraction excentrique et l'*overstretching*, plusieurs mécanismes lésionnels sont possibles comme les courses à haute vitesse, les accélérations/décélérations, les sauts, et les changements de directions, les coups de pieds [26]. Certains mécanismes ont été décrits dans la partie « 1.1.3.2. Bio-mécanique des IJ ».

Les courses à haute vitesse (sprint) sont considérées comme une cause fréquente de LMA. Sur deux saisons, il a été révélé que 60 % des LMA signalées dans le football anglais professionnel étaient causées par le sprint [19]. Le coup de pied est également un mécanisme qui intervient souvent dans les traumatismes des IJ, mais dans une moindre mesure que les sprints [19].

1.3.4. Facteurs de risque

Classiquement, les facteurs de risque d'une pathologie se décomposent en deux catégories : les facteurs de risques modifiables et non modifiables.

1.3.4.1. Facteurs de risque non modifiable

Les facteurs de risques non modifiables les plus communs dans la littérature sont les blessures antérieures et l'âge [26] [27] [28] [4].

Verrall et al. [28] ont postulé que les athlètes qui ont déjà subi une blessure aux ischio-jambiers ont un risque 4,9 fois plus élevé de se blesser à nouveau que les autres. Une blessure antérieure peut entraîner une réduction de l'amplitude des mouvements ou de la force, ce qui affecte indirectement le risque de blessure.

Par ailleurs, l'athlète peut être vulnérable à une blessure s'il ne s'est pas blessé aux IJ auparavant, mais qu'il a subi une blessure proximale ou distale par rapport aux IJ, par exemple les fessiers ou les triceps suraux. L'athlète développera des schémas de mouvements différents pour compenser la perte d'amplitude de mouvement au niveau du site de la blessure en se déplaçant de manière excessive sur des segments adjacents. Ce concept est appelé flexibilité relative.

Chez les athlètes ayant un antécédent de blessure du ligament croisé antérieur, on retrouve une forte augmentation de risques de LMA aux IJ. [27]

[28] ont démontré que les LMA sont plus fréquentes chez les athlètes âgés, une prévalence plus élevée chez les équipes seniors.

Dans les facteurs de risques non modifiables, on retrouve également des facteurs anatomiques qui prédisposent les IJ aux blessures :

- Les fibres de types II ont un pourcentage élevé dans les IJ, elles se fatiguent plus facilement, et ont une résistance moindre que les fibres de type I, elles sont plus sensibles aux dommages musculaires produits par des mouvements excentriques [4].
- Les IJ étant des muscles bi-articulaires ces derniers sont plus sujets aux lésions du fait de l'importante demande de résistance à l'allongement lorsqu'ils sont en course externe maximale [17].

1.3.4.2. Facteurs de risque modifiables

Parmi les facteurs de risques modifiables liés aux IJ, on retrouve la charge de travail (l'entraînement + match) du joueur, l'échauffement avant toute pratique sportive, la fatigue, la mobilité articulaire, les stratégies de récupération, la stabilité hanche-lombo-pelvis, les schémas moteurs, mais aussi la nutrition et les facteurs psycho-sociaux. [7]

Des variations interindividuelles des niveaux de force, notamment la force excentrique, la longueur des faisceaux musculaires des IJ, et l'architecture musculaire ont été considérées comme des facteurs de risque de blessure des IJ [8], [29]. D'après une méta-analyse établie sur les footballeurs professionnels, l'insuffisance de la force excentrique des IJ est définie comme facteur de risque de blessure des IJ, [30].

Les éléments architecturaux se modifient et répondent à différents stimuli, comme l'entraînement, ou encore l'immobilisation [29].

L'architecture du muscle a des conséquences fonctionnelles importantes. Elle influence non seulement la production de force maximale, et définit un compromis entre la force, la longueur du muscle, la vitesse et la sensibilité aux blessures [29]. Concernant les IJ, il a été démontré que les joueurs de foot avec des fascicules du BFH courts sont 4 fois plus susceptibles de souffrir d'une lésion musculaire que ceux avec des fascicules plus longs [29].

Ainsi, une meilleure connaissance de la variation interindividuelle de l'anatomie et de l'architecture des IJ pourrait permettre de faire des interventions mieux individualisées, ce qui pourrait réduire la probabilité de subir une blessure [7].

Les caractéristiques architecturales du muscle comprennent la surface de la section transversale du muscle (CSA) qui peut être décrite comme la CSA anatomique (ACSA) ou la CSA physiologique (PCSA), l'épaisseur du muscle (qui correspond à la distance entre les aponévroses superficielles et profondes/intermédiaires), l'angle de pennation (angle des fascicules par rapport au tendon), la longueur du fascicule (longueur du fascicule passant entre les aponévroses et tendons), l'angle du fascicule (angle du fascicule sur les aponévroses) et le volume musculaire (qui est le produit de la longueur et de l'ASCA).

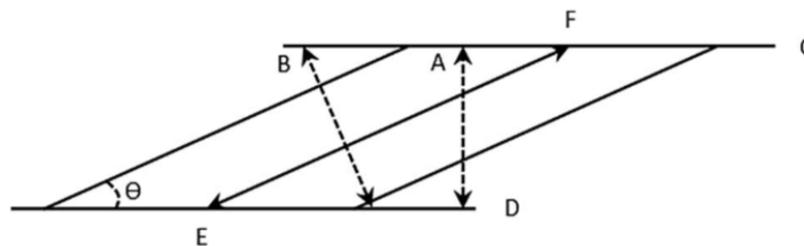


Figure 5 [29] *Les caractéristiques de l'architecture musculaire : surface de section anatomique (ACSA-A), surface de section physiologique (PCSA-B), angle de pennation (Θ), aponévroses superficielles (C) et intermédiaires (D) et longueur du fascicule (distance de E à F entre les aponévroses).*

L'architecture des muscles squelettiques peut être évaluée à l'aide de nombreuses méthodes, notamment l'échographie bi-dimensionnelle, l'IRM et l'observation cadavérique [29].

- **Impact des blessures musculaires sur l'architecture musculaire :**

Timmins et al. [31][32] mettent en évidence les différences architecturales d'un muscle lésé ou non chez les joueurs ayant un antécédent de LMA au niveau du BFlh. Il en conclut que le côté lésé se retrouve avec des fascicules plus courts et des angles de pennation plus grands par rapport au BFlh controlatéral non lésé.

La persistance des facteurs de risque et le développement d'inadaptations après une blessure peuvent expliquer la récurrence de celle-ci. Fyfe et al. 2013 [33] émettent l'idée que l'inhibition neuro musculaire de l'activation volontaire des IJ se produit à la suite d'une blessure. Cette inhibition aurait un effet néfaste sur la récupération des IJ, en les limitant aux stimuli excentriques dans des longueurs maximales lors d'exercices de rééducation. Ces expositions limitées pourraient produire plusieurs inadaptations comme une faiblesse de force en excentrique, atrophie musculaire, changement de l'architecture musculaire. Silder et al. 2008 [34] ont évalué la morphologie des muscles et tendons des IJ précédemment blessés chez des athlètes. Les athlètes précédemment blessés au BFlh ont une réduction significative des volumes musculaires de ce dernier. Cette atrophie est accompagnée d'une hypertrophie du BFsh homolatérale. Les auteurs concluent sur le fait que l'hypertrophie du BFsh est probablement une compensation induite par les exercices pour conserver la force de flexion de genou [34].

D'après la littérature disponible, la relation entre le couple de force et l'angle de ce couple au dynamomètre iso cinétique a été utilisée pour postuler les effets d'une lésion antérieure des IJ sur la longueur des fascicules. [33], [35]. En effet ces études suggèrent que le déplacement de l'angle de pic du couple de force des IJ vers un angle de flexion plus important chez les personnes ayant subi une LMA aux IJ est le résultat d'une réduction du nombre de sarcomère en série ainsi qu'une diminution de la longueur des fascicules pour produire de la force [4], [33], [35].

1.3.5. Classification

La classification des blessures fait référence à la description ou la catégorisation d'une blessure (par exemple selon son emplacement ou son mécanisme), tandis qu'un grade donne une indication sur la gravité de la blessure.

La classification des LMA peut être déterminée de différentes manières. L'évaluation de la gravité des blessures peut être classée à partir de l'intensité des symptômes ou des signes, du degré d'anomalie à l'imagerie ou la durée requise pour le « return to play (RTP) » qui signifie reprendre une pleine activité sportive. La corrélation entre l'imagerie et la clinique est faisable. Toutefois, les lier de manière probante, et assurer une décision à 0% de risque n'est pas possible. Il n'y a, à ce jour aucun mode d'emploi existant.

Le RTP semble être la mesure la plus pertinente pour évaluer la gravité des blessures. Selon le consensus de l'UEFA, la gravité des blessures a été classée depuis 2000 comme étant :

- Mineures (<7 jours) qui peut se diviser en 2 sous catégories, légère (1 à 3 jours et mineurs (4 à 7 jours) ;
- Modérées (8 à 28 jours)
- Graves (>28 jours)

La classification la plus communément utilisée aujourd'hui est celle de *Durey et Rodineau*. On retrouve 5 grades, et correspond à une classification histologique des LMA.

Grade	Apparence histologique	Apparence échographique
Grade 0	Atteinte réversible de la fibre musculaire sans atteinte du tissu conjonctif de soutien (récupération totale en quelques heures)	Aspect hyperéchogène global de la loge musculaire
Grade 1	Atteinte irréversible de quelques fibres musculaires aboutissant à leur nécrose sans atteinte du tissu conjonctif de soutien (récupération totale en quelques jours)	Zones floues hyperéchogènes sans désorganisation des fascicules musculaires
Grade 2	Atteinte irréversible d'un nombre réduit de fibres musculaires et atteinte minimale du tissu conjonctif de soutien (récupération en une dizaine de jours)	Zones floues hyperéchogène avec désorganisation des fascicule musculaire
Grade 3	Atteinte irréversible de nombreuses fibres musculaires, atteinte marquée du tissu conjonctif de soutien et formation d'un hématome intramusculaire localisé (récupération en 4 à 12 semaines)	Collections liquidiennes au niveau des jonctions myo-tendineuses et myo-aponévrotiques
Grade 4	Rupture partielle ou désinsertion musculaire complète (récupération longue mais variable selon le muscle touché)	Lésion myo-tendineuse ou myo-aponévrotique complète avec rétraction

Tableau 1 : Classification clinique des LMA d'après Durey et Rodineau

Plus récemment, certains auteurs se sont intéressés plus particulièrement au type de tissu atteint au-delà du grade de la lésion [25], [36]. Différentes catégories de lésions en fonction de leur site anatomique ont été identifiées. Cependant elles diffèrent d'un auteur à l'autre.

- **The INSEP ultrasound classification of muscle injury** [25]

Brasseur et al. identifient 2 types de lésions : « M » et « C » [25].

Ils comparent IJ a une feuille : un squelette conjonctif situé dans la partie centrale du muscle. Les fascicules musculaires s'attachant à cette armature conjonctive et recouvert d'une aponévrose. L'ensemble constituant le muscle.

Ainsi, les lésions « M » impliquent les fascicules musculaires seulement alors que les lésions « C » concernent le tissu conjonctif (+/- les fascicules qui y sont lié).

Cette classification échographique identifie 4 grades de lésions auquel sont ajoutés l'affixe « M » ou « C ».

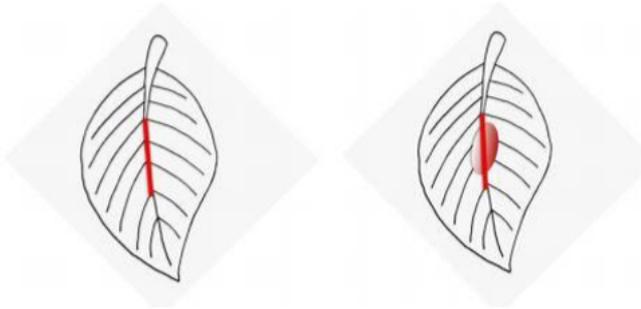


Figure 6 : les lésions « C » impliquant ou non les fascicules musculaires [25]

- **The British athletics muscle injuries classification (BAMIC)** [36]

Cette classification fut élaborée par Pollock et al. 2014 suite à leur travail avec les athlètes d'élite d'athlétisme anglais spécifiquement pour les muscles IJ (Pollock et al., 2014). Dans cette classification, un suffixe est ajouté au grade pour définir le niveau lésionnel. Les suffixes « a », « b », « c » font référence aux lésions « myo-fasciale », « musculo-tendineuse », et « intra-tendineuse » respectivement. Cette classification se compose de 5 grades plus le site lésionnel (a,b, ou c) qui est précisé pour les grades 1 à 4.

Les auteurs ont défini les lésions myo-fasciales (a) comme étant des lésions au sein du muscle lui-même. Ainsi la partie centrale représentée par la cloison conjonctive est indemne. Ces lésions touchent la périphérie des IJ avec l'implication ou non du fascia, mais celle-ci reste relativement peu commune. Les lésions musculo-tendineuses (b) faisant référence à la jonction myo-tendineuse sont quant à elles plus fréquentes. Elles se situent à la jonction entre la cloison centrale conjonctive et les fibres musculaires. Ces lésions se situent dans la partie intermédiaire du muscle. Enfin, les lésions intra-tendineuses (c) sont des lésions situées au niveau de la cloison centrale. Elles sont considérées comme étant les plus graves.

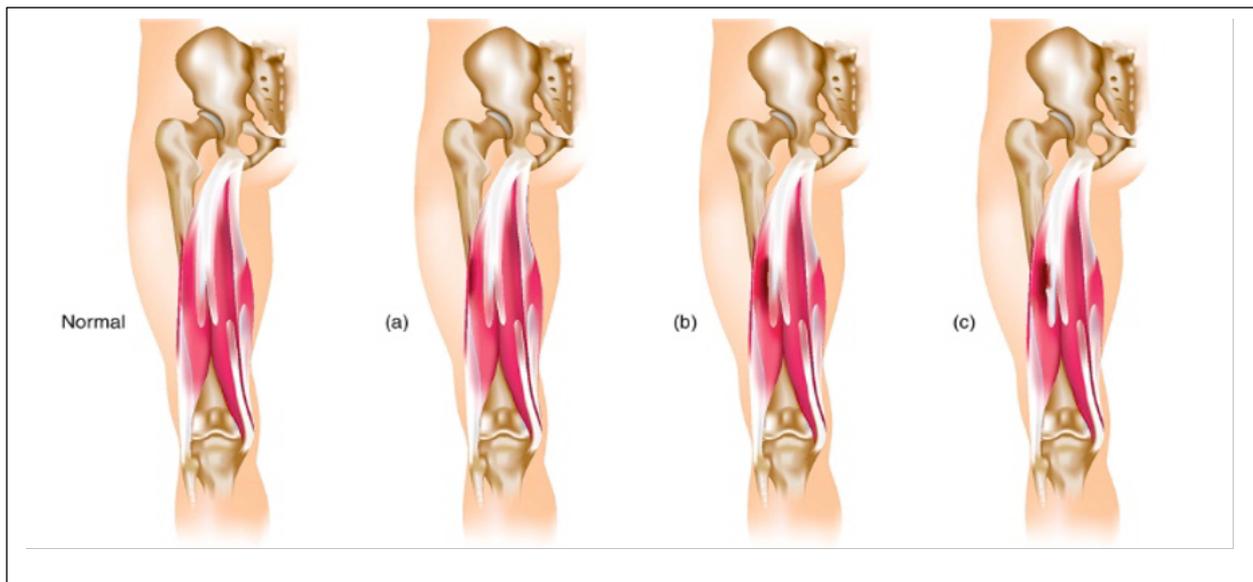


Figure 7 classification par lettre en fonction du site anatomique de la LMA.
 (a) myo-fascial, (b) musculo-tendineuse, (c) intratendineuse. [36]

- **Classification Barcelona MLG-R (Annexe 1) [37]**

L'équipe médicale du FC Barcelone (en collaboration avec ASPETAR centre médical accrédité par la FIFA) a proposé un système de classification des lésions musculaires capable de décrire la lésion avec une application clinique utile et source de valeur pronostique [37]. Sur la base de preuves scientifiques existantes et de l'expérience clinique du groupe, les auteurs se sont basés sur un système de 4 items MLG et R [37].

Mécanisme : correspond à la différenciation entre lésions directes et indirectes.

Localisation : fait référence à l'emplacement anatomique (P, M et D pour proximal, medial,) ainsi que la catégorie de la blessure (MJT pour jonction myo-tendineuse, P pour périphérique et T pour tendon).

Grade : Il est défini par une IRM (0-3) et est déterminé par les caractéristiques de l'œdème et l'atteinte du CSA (cross sectional area).

Récidive : définie comme une blessure de même type et de même localisation que la blessure index, survenant dans les 2 premiers mois après le retour à la compétition.

Bien que cette classification ait été conçue dans le but d'être appliquée à n'importe quel groupe musculaire, elle a d'abord été décrite pour les lésions des muscles ischio-jambiers [37].

1.4. Prévention des lésions myo-aponévrotiques

1.4.1. Généralités

D'après la Haute Autorité de Santé (HAS) la prévention « consiste à éviter l'apparition, le développement, ou l'aggravation de maladies ou d'incapacités ».

Il s'agit d'en distinguer trois types :

- La prévention primaire qui est l'ensemble des actes visant à diminuer l'apparition d'une maladie,
- les préventions secondaire et tertiaire visent à stopper ou retarder l'évolution d'une maladie et ses effets par le dépistage précoce et un traitement approprié ou à réduire le risque de rechute et de chronicité.

La prévention devient plus centrale dans le métier de masso-kinésithérapeute. Le patient est au coeur de la santé, le MK lui apporte une éducation essentielle dans la prise en charge de sa pathologie. Pour se faire le MK a en sa possession un arsenal qui lui permet de faire aussi bien de la prévention primaire que secondaire ou tertiaire.

1.4.2. Prévention dans le sport

Il est possible de prévenir des blessures sportives. Les opinions actuelles en matière de médecine sportive et de prévention des blessures suggèrent que les blessures sportives sont des phénomènes « complexes ». Dans la prévention des blessures et donc des lésions musculaires, le modèle de Van Mechelen [38] peut être utilisé [38].

« Sequence of prevention » est un programme de prévention pour les blessures dans le sport [38]. Il est divisé en 4 étapes. La première décrit le problème rencontré dans le sport, la seconde l'étiologie de la blessure, la troisième est l'introduction des mesures préventives mises en place et enfin la dernière correspond à l'évaluation des mesures introduites dans l'étape 3.

Depuis 1992 la publication initiale de Van Mechelen a été revisitée par différents auteurs car ce dernier ne prenait pas en compte le contexte d'intervention [39].

La première étape est importante pour la description du problème et pour les résultats et les processus des étapes suivantes. Cette première étape est réalisée dans les travaux de Van Mechelen en se concentrant uniquement sur la blessure et sans tenir compte du contexte.

Bolling et al. [39] proposent une vision socio-écologique des blessures sportives qui inclut le contexte à plusieurs niveaux, c'est-à-dire individuel, socio-culturel et environnemental.

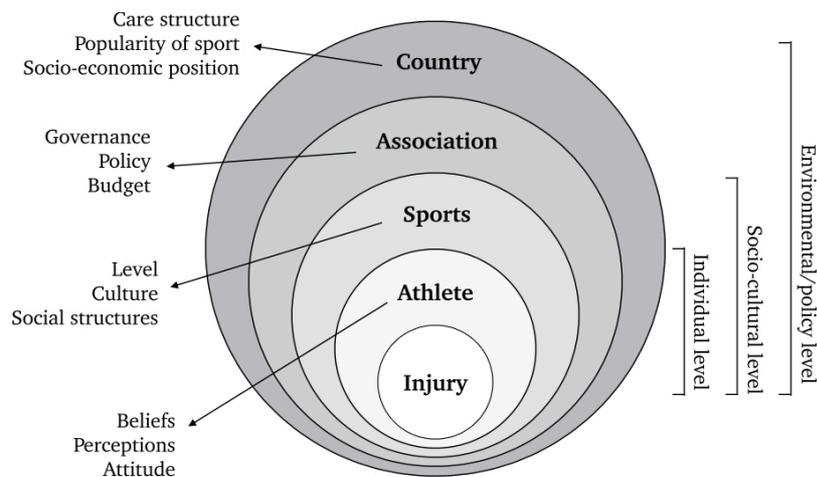


Figure 8 [39] *Vision socio-écologique des blessures sportives qui inclut le contexte individuel, socio-culturel et environnemental*

Tee et al. [40] ont tiré un constat sur le décalage entre la recherche et les approches basées sur la pratique dans la prévention des blessures. Il propose donc des approches de recherche alternatives. Celles-ci reconnaissent la nature de la prévention des blessures dans la pratique axée sur les processus. Pour eux, l'objectif principal de cette recherche de prévention des blessures dans le sport est de fournir aux praticiens des informations utiles et pertinentes pour les aider à prendre des décisions concernant leur pratique. Il s'engage à comprendre ce qui fonctionne, dans quel contexte et pourquoi ?

Son raisonnement est donc fondé sur la présence ou non de certains paramètres pour élaborer un protocole de prévention. En plus de tenir compte du contexte, il tient compte des preuves scientifiques, de l'expertise du praticien et de la balance bénéfique/risque.

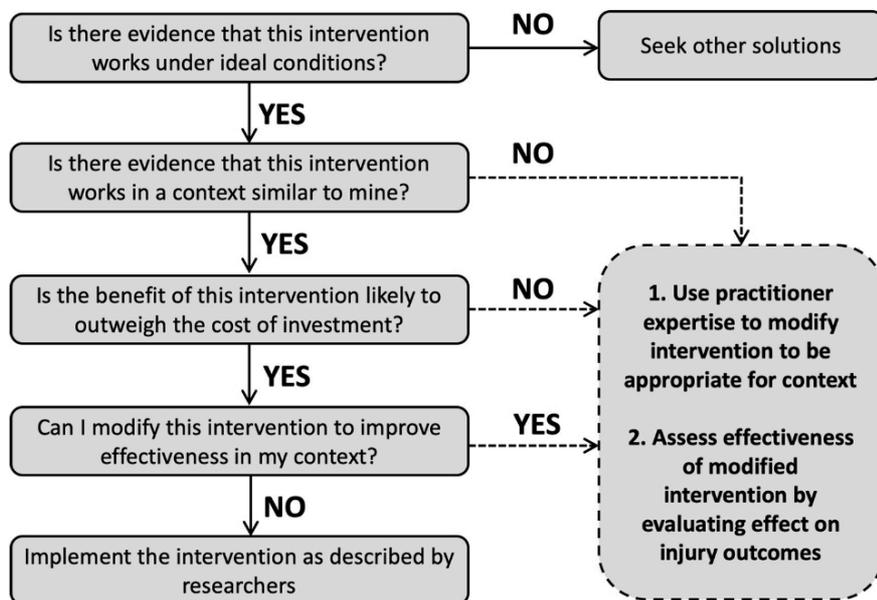


Figure 9 [40] *diagramme de décision représentatif pour les praticiens qui envisagent de mettre en œuvre une intervention dans la prévention des blessures*

1.4.3. Prévention et football

En matière de prévention des lésions myo-aponévrotiques, sous la présidence de Joseph S. Blatter, la Fédération Internationale de Football Association (FIFA) a mis en place un programme d'échauffement complet « FIFA 11+ » afin de prévenir ces blessures. [41]. Le médecin en chef de l'époque, Jiri Dvorak, président du centre de recherche et d'évaluation médicale (F-MARC) a mis au point ce protocole en collaboration avec un groupe d'experts internationaux.

Le programme FIFA 11+ est divisé en 3 parties et compte au total 15 exercices qui doivent être réalisés avant chaque entraînement d'après les recommandations de F-MARC. **(Annexe 2)**

La première partie comprend des exercices de course lente combinés avec des étirements actifs et des contacts contrôlés avec un adversaire ; on retrouve dans la deuxième partie six exercices faisant travailler les muscles du tronc, des jambes, l'équilibre, la pliométrie et l'agilité, et comportant chacun 3 niveaux de difficultés. Enfin la troisième partie intègre des exercices de course plus rythmée combinés à des démarrages et reprises d'appuis.

Une attention particulière doit être portée à la position de départ et à la maîtrise des gestes[41] .

Al Attar et al. [42], et Thorborg et al. [43] sont deux méta analyses qui ont évalué l'efficacité des programmes de prévention des blessures FIFA 11+ dans le football. Ces deux revues ont trouvé globalement les mêmes résultats en termes de réduction de blessures.

Al Attar et al. 2016 [42] conclut son travail sur le fait que le programme FIFA 11+ réduit les blessures de 20 à 50 % à long terme dans les équipes qui ont mis en place ce programme. Le point négatif de cette revue est que cette méta-analyse inclut à la fois des ECR et des études observationnelles. Ces dernières ne sont pas les schémas d'études avec le plus de preuve d'après les recommandations GRADE.

Quant à la revue de [43] qui a un niveau de preuves plus élevé, le programme FIFA 11+ permet de réduire de 39% les blessures liées au football. Parmi elles, les blessures aux IJ sont diminuées de 60%. De plus moins de 15% des équipes d'intervention des essais cliniques randomisés ont atteint les recommandations de la FIFA qui étaient de deux séances minimums par semaine pendant la saison.

Cela suggère qu'il existe une marge d'amélioration en ce qui concerne l'adoption et la mise en œuvre du programme de prévention FIFA 11+.

1.5. Renforcement musculaire

1.5.1. Généralités

Le renforcement musculaire désigne l'ensemble des techniques et processus dans le but d'un gain de force ou de ses composantes [2]. Le terme lui-même fait référence à la force mais en pratique le renforcement musculaire a d'autres objectifs : l'endurance musculaire, la prise de masse, la puissance, la vitesse ou encore l'explosivité [2].

Le renforcement musculaire se situe au croisement de plusieurs objectifs tels que la préparation sportive, la performance, ou la rééducation après une blessure.

Cette discipline regroupe de nombreux exercices et méthodes, dans le but de renforcer l'ensemble des muscles du corps, ou de groupes musculaires spécifiques.

La connaissance des différents modes de contraction est primordiale avant l'élaboration d'un programme d'entraînement basé sur le renforcement musculaire.

Ces modes de contractions musculaires n'impliquent pas le muscle de la même façon, ils ont des principes différents, le résultat du travail sur la fibre musculaire peut être différent [2].

Mode de contraction	Définition et caractéristique
Mode isométrique	C'est une contraction musculaire où la longueur du muscle ne change pas. La résistance opposée au mouvement est égale à la force développée par le muscle. Il n'y a aucun risque de blessure pour ce type de contraction, l'avantage principale est qu'elle a un impact moindre sur les articulations.
Mode isotonique	Aussi appelé contraction dynamique à charge constante. Le segment de membre se déplace à vitesse variable mais à charge constante.
Mode Isocinétique	Elle permet de développer la capacité du muscle à se contracter au maximum tout au long du mouvement, à vitesse constante. Le déplacement s'effectue à vitesse constante sur toute l'amplitude du mouvement avec une résistance auto adaptée variable.
Mode concentrique	Les points d'insertion musculaire se rapprochent et le muscle se raccourcit, la résistance opposée au mouvement est inférieure à la force développée par le muscle. Il s'agit d'une activité musculaire mobilisatrice
Mode excentrique	Les points d'insertion s'éloignent et le muscle s'allonge. La résistance opposée au mouvement est inférieure à la force développée par le muscle. Il s'agit d'une activité musculaire frénatrice.

Tableau 2 : Mode de contraction musculaire et caractéristiques

Il existe d'autres régimes de contractions comme la contraction pliométrique qui est un travail excentrique enchaîné immédiatement par un travail concentrique, ou encore la contraction auxotonique qui s'effectue par alternance de phases de raccourcissement et d'allongement du muscle.

1.5.3. Renforcement excentrique

Les forces les plus importantes dans les muscles se produisent lorsqu'une force externe dépasse celle produite par le muscle et que le muscle s'allonge, produisant une contraction excentrique et un travail négatif [44]. Lorsque le déplacement est dans la direction opposée de la force générée, le travail est dit « négatif ».

Dans le travail excentrique, les muscles agissent comme des ressorts en absorbant les chocs. L'exercice excentrique peut être conceptualisé en deux catégories distinctes d'activité avec des utilisations différentes de l'énergie cinétique qui se définit comme étant l'énergie que possède un corps en raison de son mouvement [44].

Basé sur le *modèle de Lindstedt*, on retrouve [45]:

Premièrement la récupération de l'énergie cinétique via des activités qui potentialisent la production de force en impliquant une accélération maximale avec un temps de contact avec la surface très court. Ces activités répétitives facilitent la récupération de l'énergie de recul élastique et facilitent les phases de couplage du « cycle d'étirement-contraction du muscle ». C'est le cas lors de la course, les muscles extenseurs de jambe et de hanche se comportent comme un ressort qui peuvent stocker et récupérer l'énergie d'un pas à l'autre.

Puis l'énergie cinétique peut être absorbée. C'est le cas lors d'activités qui entraînent généralement la décélération de la vitesse angulaire de l'articulation lors d'un mouvement. Ces activités entraînent la production de force excentrique et l'absorption d'énergie cinétique qui est dissipée sous forme de chaleur. C'est le cas du quadriceps lors de la randonnée en descente.

Comparativement aux modes d'action concentrique et isométrique, des forces musculaires plus élevées peuvent être produites pendant les contractions excentriques. En effet l'entraînement excentrique est plus efficace pour augmenter la force totale et la force excentrique que l'entraînement concentrique [46]. Cependant les gains de force après un entraînement excentrique semblent être spécifiques à la vitesse du mouvement et au mode de contraction [46].

L'entraînement excentrique peut être particulièrement bénéfique pour améliorer les performances de puissance et de vitesse également [47].

Via des changements dans l'architecture ou la morphologie sous-jacente du muscle qui reflètent une évolution vers un phénotype plus explosif.

L'entraînement excentrique semble être plus efficace pour augmenter la masse musculaire que l'entraînement concentrique [46]. Il a été démontré que les contractions excentriques maximales induisent un signal anabolique plus fort, comme en témoigne une plus grande activation des cellules satellites (c'est-à-dire une réponse hypertrophique accrue), et une meilleure régulation des voies de signalisation moléculaire associées à l'anabolisme des muscles et des tissus conjonctifs [48].

De plus, les contractions excentriques produisent moins de fatigue musculaire [49], sont plus efficaces au niveau métabolique [50], et engendrent une baisse des réponses du système cardio-pulmonaire [51] par rapport aux contractions concentriques. On pourrait donc théoriquement s'entraîner à une charge de travail donnée avec une dépense métabolique réduite et pendant une durée plus longue.

Lors de l'incorporation d'actions d'excentrique dans l'entraînement, une tension musculaire est générée pendant l'étirement actif du tissu musculaire, en particulier pendant un allongement rapide, provoquant des dommages musculaires induits par l'exercice (DIE).

En effet, la combinaison de charges plus lourdes et d'un plus petit nombre d'unités motrices recrutées lors d'exercice excentrique implique des niveaux élevés de tension mécanique par unité motrice et donc une plus grande propension aux DIE [47]. Il n'est pas tout à fait clair si le DIE est un mécanisme nécessaire ou mauvais pour promouvoir l'adaptation musculaire ; cependant, il est supposé jouer un rôle dans les adaptations suite à un entraînement excentrique [47].

Le dommage musculaire doit être pris en considération étant donné son association avec les DOMs et ses effets délétères sur les performances musculaires (la diminution de la force par exemple).

L'ampleur des DIE et des DOMS suite à un exercice excentrique peut être atténuée par une exposition préalable à des contractions excentriques.

Il est donc possible et recommandé de planifier un programme tout en dosant l'incorporation d'exercices excentrique.

Le renforcement excentrique améliore les paramètres architecturaux par l'augmentation de la longueur des fascicules, une diminution de l'angle de pennation ainsi qu'une augmentation du PCSA par une augmentation à la fois de la longueur et de l'épaisseur du fascicule.

Il induit également une augmentation du nombre de sarcomères en série. Cette augmentation a des implications positives sur la vitesse de raccourcissement du muscle. Ainsi l'unité muscle-tendon est plus rigide et donc plus efficace pour transmettre rapidement la force. Ajouté à cela, l'augmentation de la composition du type II et de la surface relative du muscle composée de fibres à contraction rapide [47]. Ainsi ces paramètres permettent une augmentation de la force réactive donc du « cycle étirement-raccourcissement » et ainsi de diminuer l'incidence de LMA. L'intérêt du travail excentrique a été mis en avant par de nombreux programmes pour réduire le risque de blessure au IJ [52], [53].

1.5.4. Le Nordic Hamstring Exercise

Le Nordic Hamstring Exercise est une méthode d'entraînement des IJ. Le sujet tente de résister à un mouvement de chute vers l'avant en utilisant ses ischio-jambiers afin de maximiser la charge dans la phase excentrique.

C'est un exercice en chaîne fermée où les pieds (la partie distale) sont immobiles. Le mouvement est exécuté au niveau des genoux qui est la partie plus proximale.

Le sujet commence en position à genoux. Une tierce personne ou une barre exerçant une pression sur les talons/bas des jambes du sujet pour s'assurer que les pieds soient stabilisés tout au long du mouvement.

Le sujet doit :

- Garder ses hanches dans une position légèrement fléchie sans se modifier tout au long du mouvement,
- Garder le tronc rigide, sans mouvement de bassin,
- freiner la chute vers l'avant aussi longtemps que possible en utilisant les ischio-jambiers, et d'essayer de maintenir la tension dans ses ischio-jambiers même après avoir "lâché". Le sujet réalise une extension des genoux.

Les membres supérieurs du sujet sont en demi-chandelier ou le long du corps. Il utilise ses bras et ses mains pour amortir la chute, laisse sa poitrine toucher le sol et revient immédiatement à la position de départ en poussant avec ses mains tel une pompe pour minimiser la charge de travail dans la phase concentrique.



Figure 10 : *Le Nordic Hamstring Exercise*
Reproduction de *Bahr et maehlum*
(2002)

1.5.5. L'isocinetisme : Utilisation dans l'évaluation musculaire du sportif :

L'isocinetisme nécessite un équipement bien particulier, le dynamomètre isocinetique. L'isocinetisme est un mode de contraction dynamique et volontaire dont la particularité est de se faire à une vitesse constante. Dans ce travail musculaire, la résistance exercée par le dynamomètre s'adapte naturellement à la force développée par le sujet.

Cette méthode permet d'obtenir une contraction musculaire maximale, sur l'amplitude totale du mouvement articulaire.

Outre l'application dans le domaine de la rééducation (rééquilibrage articulaire) ou dans le renforcement musculaire le dynamomètre iso cinétique est utilisé dans l'évaluation musculaire de façon dynamique, en se rapprochant le plus possible du travail physiologique. [54]

Les tests iso cinétiques ont pour objectif d'évaluer la force musculaire à travers différents paramètres [54] :

- Peak torque ou couple de force max (Newton/mètre) :

Le couple de force maximal est le moment de force le plus élevé au cours du mouvement iso cinétique, il correspond au sommet de la courbe. Sa valeur, son délai d'apparition et l'angle auquel il est développé sont fonction de la vitesse, du mouvement, de l'âge, du sexe du sujet, et du type d'activité pratiquée par le sujet ainsi que de son niveau [55]. La pratique du football augmente la force des fléchisseurs selon un mode concentrique et excentrique [55]

Un déficit du couple de force excentrique des IJ est un facteur de risque de lésions des IJ (Timmins et al., 2015 ; Baroni et al., 2020)

- Le ratio du couple entre groupes antagoniste : $R = IJ/Q$.

Ce rapport est important d'un point de vue articulaire car les IJ et le quadriceps jouent un rôle capital dans la stabilité du genou. Un déséquilibre musculaire, traduisant une faiblesse d'un groupe musculaire par rapport à l'autre, compromet la stabilité du genou. En isocinetisme le déséquilibre de force musculaire peut être décrit soit par un déséquilibre bi-lateral (par exemple une différence inférieure de 5% entre la force des IJ ; soit par un déséquilibre musculaire unilatéral (ratio).

Le ratio dit conventionnel est calculé en divisant la force maximale concentrique (con) de IJ par la force maximale concentrique du Q, mesurées à la même vitesse angulaire (IJ_{con}/Q_{con}). La relation entre IJ et quadriceps peut être également décrite par deux ratios fonctionnels. Le ratio fonctionnel représentant la flexion de genou (RFFG) est calculé en divisant la force maximale des IJ en concentrique par la force maximale développée par le Q en excentrique (IJ_{con}/Q_{ecc}). Le ratio fonctionnel représentant l'extension de genou (RFEG) est calculé en divisant la force maximale des IJ en excentrique par la force maximale développée par le Q en concentrique (IJ_{ecc}/Q_{con}).

Le ratio qui va nous être analysé par la suite dans cette étude est le RFEG : IJ_{ecc}/Q_{con} . Les IJ étant soumis à une forte variation de longueur se retrouvent vulnérables. Dans la pratique du football, les IJ travaillent principalement en excentrique lorsque le quadriceps, son antagoniste, travaille en concentrique lors de l'extension de genou. Lorsque le quadriceps se raccourcit pour réaliser une extension du genou, les IJ s'allongent et freinent le mouvement afin de protéger l'articulation du genou. Ces lésions des IJ surviennent souvent lors d'une extension rapide du genou par contraction brutale d'un quadriceps (mécanismes physiopathologiques présentés ci-dessus). Ce mouvement oblige les IJ à se contracter rapidement en excentrique afin de freiner l'extension de genou. Ainsi une LMA peut apparaître par dépassement des possibilités du muscle qui se contracte brusquement tout en étant étiré [4]. C'est ce mécanisme que l'on retrouve dans l'étape terminale de la phase aérienne (Yu et al., 2008 ; Jonhagenl et al., 1996).

Le travail excentrique des IJ est souvent excessif à cause d'un ratio IJ_{ecc}/Q_{con} en faveur des extenseurs du genou [30]. Une étude rétrospective faite sur 614 footballeurs de haut niveau sur une période de 4 ans [56] montre qu'un déficit du ratio IJ_{ecc}/Q_{con} en défaveur de la force excentrique des IJ est un facteur de risque de blessures musculaires de ces derniers. Croisier et al. 2008 ont également

mené une étude sur des joueurs de football professionnels [55]. Ces derniers présentant un déséquilibre musculaire en pré saison ont un risque 4 à 5 fois plus élevé d'avoir une lésion des IJ dans la saison [55].

- Angle du peak torque :

Il s'agit de l'angle où le muscle est le plus fort, c'est-à-dire l'angle qui correspond au pic de couple de force. (En théorie le quadriceps est le plus fort à 60-65° de flexion de genou alors que les IJ à 30-35° selon la population).

En contraction excentrique, l'amplitude de force d'un muscle dépend de sa vitesse, de sa stimulation et de la longueur des fibres musculaires. Sur un dynamomètre isocinétique, la vitesse et la stimulation sont maintenues constantes. Seule la longueur des fibres musculaires peut représenter le niveau de force. L'angle du couple de force est donc l'angle articulaire produisant la plus grande quantité de force qui dépend directement de la longueur des fascicules musculaires. L'architecture du muscle a donc un rôle à jouer, tout comme le nombre de sarcomères, la longueur du fascicule et l'angle de pennation des fibres et leur répartition au sein du muscle. Ils déterminent la production de la force musculaire. L'hypothèse de l'intérêt de cet angle dans la prévention des LMA se justifie par le fait que les lésions des IJ se produisent principalement lors des derniers degrés d'extension de genou (0-30°)[35].

D'autres paramètres peuvent être calculés à l'aide d'un dynamomètre isocinétique comme le travail exprimé en joules (T). Il traduit la surface située sous la courbe. Ainsi toute diminution de force dans un secteur angulaire se traduira par une diminution de travail. Également la puissance exprimée en watts est un reflet intéressant de la réalité d'un mouvement puisqu'elle tient compte à la fois de la force développée et de la vitesse du mouvement ($P = \text{Force} \times \text{Vitesse}$).

Objectif de ma revue :

Les LMA des IJ chez le footballeur sont un sujet d'actualité depuis quelques années. En rentrant dans la barre de recherche PubMed « Hamstring AND soccer » près de 300 articles ont été publiés sur ces 4 dernières années.

Ce nombre important de recherches est en lien avec la récurrence de ces blessures dans le football.

En effet leur incidence augmente ces dernières années même si les outils préventifs à leur disposition sont de plus en plus nombreux. De multiples facteurs, modifiables ou non, prédisposent les IJ à un risque de LMA. De plus les caractéristiques anatomiques des IJ, les rendent plus susceptibles à la blessure qu'un autre groupe musculaire.

Parmi les facteurs de risques on retrouve des modifications de paramètres anatomo-physiologiques : un déficit de force excentrique des IJ, une diminution du ratio IJ/Q, une activation musculaire inadéquate et une architecture musculaire incorrecte.

En tant que kinésithérapeute, outre le fait d'être confronté à la rééducation d'un patient suite à cette blessure, nous pouvons faire de la prévention dans le milieu sportif à travers des entraînements spécifiques, un suivi régulier grâce à des tests, des conseils ou intervention dans la pratique sportive. Ces interventions peuvent être mises en place aussi bien dans la phase d'échauffement, que dans la pratique ou la récupération.

Le *Nordic hamstring exercise*, l'exercice de renforcement qui fait l'objet de notre revue, a été étudié pour la première fois par *Bahr et Maelum* en 2002. Depuis cette étude, de nombreux travaux sur le NHE ont vu le jour.

L'efficacité du NHE est analysée par plusieurs critères de jugement :

- l'incidence et la gravité des blessures musculaires ;
- les capacités musculaires fonctionnelles traduites par le saut, le sprint ;
- les facteurs de risque représentés par les paramètres anatomo-physiologiques.

D'après des revues systématiques, un entraînement spécifique de contraction excentrique induit une augmentation de la force musculaire excentrique des IJ et une modification de l'architecture musculaire. Ces modifications ont permis une diminution de l'incidence et de la gravité des blessures musculaires ainsi qu'une augmentation des capacités musculaires fonctionnelles.

De plus, d'autres revues systématiques ont prouvé que l'introduction du NHE dans un protocole d'entraînement spécifique (FIFA11+) pouvait également réduire l'incidence sur les blessures.

Ainsi l'objectif de ma revue est d'analyser l'intérêt d'un programme centré uniquement sur le NHE afin de connaître les effets recensés dans la recherche actuelle sur les paramètres anatomo-physiologiques dans un but préventif de lésion musculaire des ischio-jambiers chez les footballeurs.

D'où ma réflexion sur la problématique suivante : « quels sont les effets du NHE sur les paramètres anatomo-physiologiques prédictifs de LMA des IJ chez le footballeur ? »

Nos hypothèses sont que le NHE pratiqué sous forme de programme sur plusieurs semaines, permettrait une augmentation de la force excentrique des IJ. Cette augmentation de force serait concomitante avec une augmentation du ratio IJecc/Qcon et un déplacement de l'angle de couple de force vers une position articulaire du genou en extension.

Le NHE aurait également un rôle important dans l'architecture musculaire par une augmentation de la longueur et de l'épaisseur du fascicule ainsi qu'une diminution de l'angle de pennation.

2. Méthodologie

2.1. Critères d'éligibilité des études pour cette revue

2.1.1. Schéma d'études

Le travail réalisé est une revue de littérature thérapeutique.

Plusieurs types d'études répondent à une revue thérapeutique avec plus ou moins de pertinence :

- Essai clinique randomisé : le tirage au sort contrôle le biais de sélection, c'est la seule méthode efficace.
- Essai clinique non/quasi randomisé : l'opérateur choisit lui-même un ou plusieurs critères pour classer les sujets dans les groupes. Par exemple je classe les personnes en fonction de leur jour de naissance (chiffre pair groupe A/ chiffre impair groupe B). C'est du quasi randomisé ce qui équivaut à du non randomisé.
- Série de cas : Observation du groupe de patients lorsqu'il est traité par une seule condition. On l'utilise davantage dans les études préliminaires. Elles sont effectuées sur un petit groupe.

En me basant sur les grades de recommandations et le niveau de preuves scientifiques de bonne pratique de la HAS (Annexe 3) j'ai choisi d'inclure uniquement des essais cliniques contrôlés randomisés, qui correspondent au niveau de preuve le plus élevé.

Les articles sélectionnés sont généralement rédigés en Anglais, mais aucun critère de langue de rédaction ne sera pris en compte.

Aucun critère de date de publication ne sera également pris en compte.

2.1.2. Population

Pour cette revue, les sujets ont été intégrés selon certains critères de sélection.

Tout d'abord, les sujets pratiquent le football à 11 sur grand terrain, pelouse naturelle ou artificielle. Les joueurs de futsal ne sont pas inclus ainsi que tout autre pratique de football, tel que le football américain, football australien, football gaélique ...

Les études reposent sur des sujets masculins de 18 à 35 ans. Ils ne doivent présenter ni lésion musculaire aux IJ ni autres lésions musculaires aponévrotiques durant l'étude ainsi que dans les 6 mois précédents (ni autre blessure en cours de traitement).

Tous les niveaux de pratique du football (professionnel, semi-professionnel, amateur) sont inclus dans notre étude.

2.1.3. Interventions

Les études devront traiter les paramètres anatomo-physiologiques des IJ, suite à un programme d'entraînement basé sur le *Nordic Hamstring exercise* de façon isolé, c'est à dire sans autres exercices de renforcement des IJ.

Ainsi concernant le groupe comparateur, il sera accepté :

- Aucun exercice en plus de l'entraînement classique
- Autres exercices de renforcement des IJ
- Autres exercices de renforcement
- Un nombre de pratique du NHE inférieur par rapport au groupe traitement

2.1.4. Critères de jugement (outcome)

Les critères de jugements sont un ensemble de paramètres anatomo-physiologique. Le critère de jugement principal retenu pour cette revue est la **force musculaire excentrique des IJ** évaluée principalement lors d'un test de force via le dynamomètre iso cinétique. Outre le fait que l'iso cinétisme est une méthode de référence en matière de renforcement musculaire, elle est aujourd'hui le gold standard de l'évaluation de la force musculaire [2]. Le principe d'iso cinétisme par l'utilisation de dynamomètres iso cinétiques permet une mesure fiable, reproductible, sensible, objective et dynamique de la force musculaire.

Elle pourra être mesurée avant, pendant et après la réalisation du programme NHE.

Les critères de jugements secondaires sont le **ratio IJecc/Qcon**, ainsi que **l'angle de couple de pointe des IJ** qui sont également chiffrés par le dynamomètre iso cinétique.

L'**activation musculaire des IJ** est déterminée par l'électromyogramme.

L'**architecture musculaire** est également un critère de jugement secondaire ; l'épaisseur des IJ, l'angulation de pénétration des fibres musculaires, la longueur des fascicules sont appréciés par l'échographie.

2.2. Méthodologie de recherche des études

2.2.1. Les sources documentaires investiguées

J'ai dû réaliser des recherches documentaires préliminaires sur les différents points clés de mon sujet qui m'ont permis de rassembler un ensemble de source bibliographique. Avec des sites comme la HAS, la bibliothèque universitaire en ligne AMU, ou encore via des moteurs de recherches tel que Pubmed, PEDro, google scholar, Cochrane library, Medline

Avant de réaliser mes recherches documentaires sur moteurs de recherches scientifiques pour trouver les études, j'ai dû vérifier qu'il n'y avait pas de mémoire avec le même sujet. Pour ce faire, j'ai dû dans un premier temps regarder sur les listes de mémoires données par l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie (IFMK) de Marseille et me rendre sur la base documentaire Kinedoc qui recense les mémoires des différents IFMK de France.

Pour compléter ma recherche d'articles, je suis allé regarder les références bibliographiques des études présélectionnées sur le titre, en m'inscrivant sur Mendeley j'ai pu recevoir des mails avec des articles correspondant à mes habitudes de recherche documentaire.

J'ai également consulté la littérature grise à l'aide de google scholar et via des livres.

2.2.2. Équations de recherche utilisée

Dans un premier temps, il m'a fallu identifier les mots clés (en anglais) correspondant à mon sujet « Quel est l'intérêt du NHE sur les paramètres anatomo-physiologiques dans la prévention des lésions myo-aponevrotiques des ischio-jambiers chez le joueur de football ? »

Cette identification s'est faite à l'aide du modèle PICO

- **Population:** prevention / hamstring strain injury / football Player
- **Intervention/traitement :** nordic hamstring
- **Outcome /critère de jugement :** eccentric muscle strength / angle peak tork / H :Q ratio / muscle architecture

Puis j'ai dû chercher les *Medical subjects heading* (MESH) termes et les synonymes en rapport avec les mots clés de mon sujet. Pour ce faire...

Mots clés	MESH termes + synonyme
Football	Football players, soccer players
prevention	Risk factors, prevention and control, evaluation, hamstring prevention, injury prevention, prevent
Hamstring strain injury (HSI)	Hamstring strains, hamstring injuries
Nordic Hamstring exercice (NHE)	Nordic hamstring, nordic curl, nordic, eccentric strengthening, eccentric program, eccentric work,
Eccentric muscle strength	Eccentric strength, hamstring strength, muscle strength, hamstring peak tork, hamstring tork, angle peak tork, conventional ratio, fonctional ratio, H:Q ratio
Muscle architecture	Hamstring architecture, hamstring thikness, fascicule length, angle of pennation, fascicule length

Enfin, j'ai combiné les mots clés du tableau récapitulatif et les opérateurs booléens : « AND » et « OR » pour obtenir mon équation de recherche :

- « AND » est disposé entre les différents mots clés du modèle PICO
- « OR » est disposé entre les MESH termes et les synonymes d'un même mot clé

J'obtiens ainsi l'équation de recherche suivante :

(Football **OR** Football players **OR** soccer players **AND** prevention **OR** Risk factor **OR** prevention and control **OR** evaluation **OR** hamstring prevention **OR** injury prevention **OR** prevent) **AND** (Hamstring strain injury **OR** Hamstring strains **OR** hamstring injuries) **AND** (Nordic Hamstring exercice **OR** Nordic hamstring **OR** nordic curl **OR** nordic **OR** eccentric strengthening **OR** eccentric program **OR** eccentric work) **AND** (Eccentric strength **OR** hamstring strength **OR** muscle strength **OR** hamstring peak tork **OR** hamstring tork **OR** angle peak tork **OR** conventional ratio **OR** fonctional ratio **OR** H:Q ratio **OR** Hamstring architecture **OR** hamstring thickness **OR** fascicle length **OR** angle of pennation **OR** fascicle length)

PubMed :

Le modèle PICO, et les MESH termes sont adaptés pour cette base de données. En rentrant l'équation de recherche ci-dessus, je trouve 159 références. Je pourrai tenter de mettre le filtre « uniquement ECR » auquel cas je me retrouve avec 33 résultats, seulement sur PubMed les articles ne sont pas automatiquement publiés par type d'études, ce qui engendre une disparition d'article, qui potentiellement aurait pu être inclus dans la revue.

Cochrane library :

Tout comme PubMed, il faut utiliser les mots clés, et les MESH termes dans la base de données pour obtenir l'équation de recherche la plus optimisée possible :

J'obtiens ainsi 32 études.

PEDro :

Dans un premier temps, j'ai utilisé la partie « advanced search » de la base de donnée PEDro. Il me fallait spécifier « Abstract & Title », la « thérapie », « problem », « body part », « sous-discipline » ... J'ai fait plusieurs essais afin d'obtenir le plus d'articles possible. En vain, j'obtenais entre 2 et 13 articles sur chacune de mes recherches.

J'ai donc poursuivi par une « simple search », en inscrivant dans la barre de donnée « *Nordic Hamstring* » j'ai ainsi obtenu 27 essais cliniques.

2.3. Méthode d'extraction et d'analyse des données

2.3.1. Méthode de sélection des études

La sélection des études a suivi une méthodologie précise, et a été effectuée en plusieurs étapes.

La première méthode de sélection est la lecture du titre des articles, ils devaient être en rapport avec l'exercice recherché et la population donnée.

La difficulté reposait sur le fait que tous les articles ne mentionnaient pas le *Nordic hamstring* dans leur titre, je devais donc garder dans ma sélection les articles ayant comme élément « *eccentric programs* » ou « *eccentric training* » dans leur titre.

Les critères de jugement ne devaient pas obligatoirement faire partie du titre, car ils ne sont pas forcément mis en avant dans le titre des articles. Tout comme

Ensuite j'ai sélectionné les articles sur le schéma d'étude. En regard de ma question thérapeutique, j'ai fait le choix de ne retenir que des essais cliniques randomisés (ECR) car ils avaient le plus haut niveau de preuve scientifique. Ainsi les essais cliniques non randomisés, les séries de cas, ou tout autre schéma d'études ne répondant pas à une question thérapeutique comme les études de cohorte, cas témoins, étude transversale ou longitudinale ne sont pas incluses.

La sélection s'en est suivie par la lecture de l'abstract. Il a fallu vérifier que le groupe contrôle et traitement était correctement réalisé. C'est à dire que le groupe traitement est suivi un programme d'entraînement du NHE seulement, et non inclus dans un programme d'entraînement associé à d'autres exercices des IJ.

Concernant la population, l'étude devait être effectuée que sur des footballeurs et non en associant plusieurs sports.

La dernière étape de sélection fut la suppression des doublons. Compte tenu de la recherche, qui a été réalisée sur plusieurs bases de données scientifiques il y avait un risque de doublons.

L'étape finale de la sélection d'articles fut la lecture complète des essais cliniques. Il m'a fallu vérifier les critères d'éligibilité ainsi que la qualité et les biais méthodologiques des études à inclure. C'est dans cette étape que j'ai regardé les références bibliographiques des études sélectionnées, pour vérifier de ne pas être passé à côté d'une étude que j'aurais pu inclure.

Les études qui utilisaient tout autres critères de jugement que ceux inclus dans ma revue comme l'incidence et la gravité des blessures, les capacités musculaires lors de sprint, de saut ont été exclues. Car même s'ils sont pertinents, ils ne font pas partie de ma question clinique.

J'ai réalisé un diagramme de flux qui résume les différentes étapes de la sélection des études incluses dans la revue, présenté dans la partie « Résultats ».

2.3.3. Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

L'évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées a été réalisé via l'échelle PEDro (annexe 4).

Cette échelle permet d'évaluer la validité interne et externe d'essais cliniques contrôlés et/ou randomisés. Mais elle ne permet pas d'évaluer la pertinence clinique.

Chaque essai reçoit un score total compris entre 0 et 10. Cette échelle comprend 11 items et 1 point est attribué si l'item est clairement satisfait (seul l'item 1 ne donne pas de point).

L'item numéro 1 permet de savoir si les critères d'éligibilités ont été précisés : validité externe.

Les autres items permettent de mettre en évidence certains biais : Le biais de sélection (items 2 à 4), le biais d'évaluation (items 5 à 7), le biais de suivi (item 8), le biais d'attrition (item 9), le biais de résultat (items 10 et 11) : validité interne.

En plus de la qualité méthodologique, le niveau de qualité des études s'effectuera sur des critères permettant d'évaluer la pertinence clinique comme la bonne réalisation du traitement, le nombre de sujets, l'outil de mesure, les perdus de vue...

2.3.4. Extraction des données

L'extraction des données nécessite la lecture complète à plusieurs reprises de chaque article.

Ces lectures permettent à la fois d'inspecter les critères d'éligibilité de chaque étude mais aussi d'extraire les données intéressantes pour répondre à ma question clinique.

Ainsi, les informations importantes à retenir sont :

- Le nom des auteurs et l'année de publication
- Le type d'études
- La population (âge, niveau de pratiques, antécédents de LMA aux ischio-jambiers)
- Intervention : quelle période dans la saison, quand et combien de fois par semaine l'intervention a lieu, sur combien de semaine,
- La description des groupes interventions et groupes comparateurs
- Les critères de jugement primaires et secondaires utilisés
- Les outils de mesures utilisés
- Les résultats obtenus pour les critères de jugements primaires et secondaires

2.3.5. Méthode de synthèse des résultats

Les résultats obtenus seront présentés de différentes formes.

Premièrement, un diagramme de flux présentera le processus de sélection des études en partant du nombre de résultats obtenus par mes équations de recherche dans les différentes bases de données, jusqu'aux études incluses dans ma revue tout en détaillant à chaque étape le nombre d'études exclues et le motif d'exclusion

Ensuite suivra une série de tableaux pour faciliter la compréhension et rendre plus lisible les données extraites de chaque article.

Pour chaque étude sélectionnée, la méthodologie sera évaluée par l'échelle PEDro. Un tableau sera réalisé pour expliquer l'exclusion de certaines études t. L'analyse des données sera de manière qualitative.

Tableau 3 : Résumé des critères d'éligibilités des études à inclure sur la base du modèle PICOS

<p>Population</p> <p>P</p>	<p>Joueurs de Football a 11, Amateur ou professionnelle De 18 à 35 ans</p>
<p>Intervention/traitement</p> <p>I</p>	<p>Ajout d'un programme : <i>Nordic Hamstring Exercise</i> en plus de l'entraînement et des compétitions des joueurs</p>
<p>Comparateur</p> <p>C</p>	<p>Aucun exercice en plus de l'entraînement classique Autres exercices de renforcement des IJ Autres exercices de renforcement Un nombre de pratique du NHE inferieur par rapport au groupe traitement</p>
<p>Outcome/ Critère de jugement</p> <p>O</p>	<p>Principal : force musculaire excentrique des IJ</p> <p>Secondaire : IJecc/Qcon ratio Angle du couple de pointe des IJ Activation musculaire Architecture musculaire</p>
<p>Schema d'études/Study design</p> <p>S</p>	<p>ECR</p>

3. Résultats

3.1. Description des études

3.1.1. Résultats des recherches bibliographiques – diagramme de flux

En recherchant dans les 3 bases de données qui sont Pubmed, PEDro, et Cochrane library, j'ai obtenu 234 articles au total : Pubmed (n=174), PEDro (n=27), cochrane library (n=33).

S'y ajoute 5 autres articles via d'autres sources d'informations : littérature grise et bibliographique.

La première étape de sélection fut la lecture du titre, 56 furent exclus car ils n'avaient pas de lien avec le NHE, 24 traitaient le sujet sur un autre type de sport ou de population, et 23 utilisaient d'autres exercices ou thérapies. Suite à cette première étape de sélection on arrive à 136 articles.

Ensuite, la deuxième étape de sélection fut la mise en place du schéma d'étude ainsi que la lecture de l'abstract ; sur les 136 articles retenus 59 n'étaient pas un ECR, 14 n'avaient pas de lien avec le NHE mais étudiait nos critères de jugement, 13 abordaient le sujet sur une autres populations ou sport (football australien, rugby, ski, course/sprint, cricket...) et 19 articles traitaient le NHE mais associé à d'autres exercices excentrique ou concentrique. De ce fait, on re retrouve avec 31 articles.

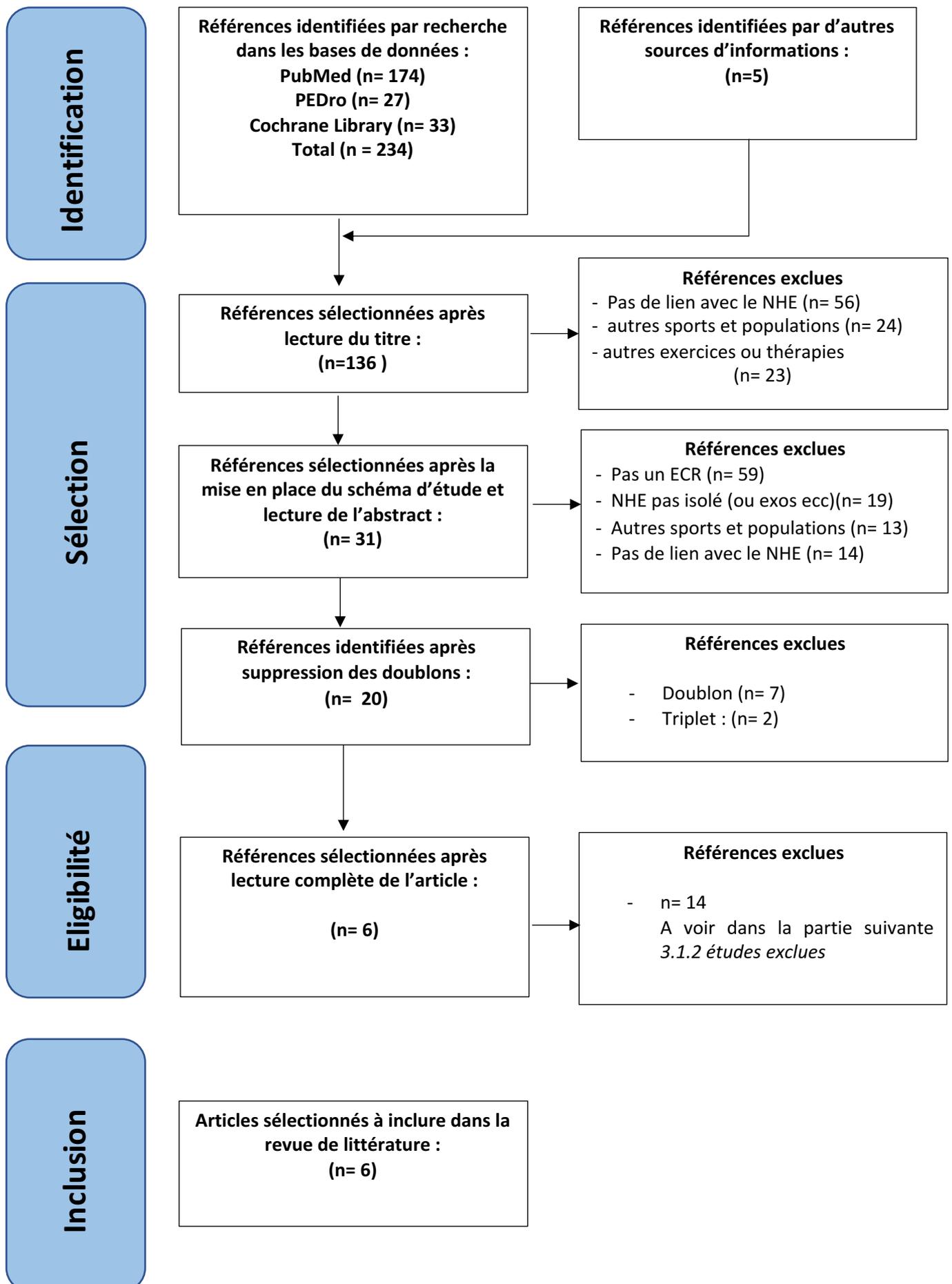
La troisième et dernière étape de sélection fut la suppression des doublons, 11 ont été supprimés (7 doublons et 2 triplets). Ainsi on se retrouve avec 20 articles sélectionnés.

L'étape suivante est l'éligibilité, j'ai sélectionné les études sur les critères d'éligibilité énoncé précédemment dans le *tableau X : Résumé des critères d'éligibilités des études à inclure sur la base du modèle PICOS*.

Le détail des études exclues ainsi que la raison de l'exclusion sont détaillés dans la partie suivante :

3.1.2. Études exclues.

6 études sont donc incluses dans ma revue de littérature.



3.1.2. Études exclues

Etudes exclues	Raisons d'exclusions
Van der horst et al. 2015	ECR, Les critères de jugement de cette étude sont l'incidence des blessures (nombre de blessures sur 1000 h de pratiques), ainsi que la gravité de la blessure (temps entre moment de la blessure et le retour sur le terrain. Ces critères ne font pas partis de notre présente étude.
Bourne et al. 2017	Il s'agit d'une étude prospective de cohorte qui a eu lieu entre la pré-saison et le milieu de la saison 2014 qui évalue l'architecture musculaire. Il ne s'agit donc pas d'un ECR. (Ce n'était pas précisé dans l'abstract)
Mendez-villanueva et al. 2016	Cette étude est un ECR, qui compare l'activité musculaire du NHE, avec 3 autres exercices excentriques des IJ. (dead lift, flyweel leg curl, hip extension). Mais les sujets réalisent l'exercice qu'une seule fois, ils ne suivent pas un programme sur plusieurs semaines. L'évaluation est faite lors de la seule réalisation de l'exercice.
Elerian et al. 2019	Idem à <i>Van der horst et al. 2015</i>
Marušič et al. 2020	ECR, Le groupe intervention réalise le NHE + un autre exercice de renforcement des IJ (glider) afin d'évaluer le couple de force des IJ, l'architecture musculaire.
Vianna et al. 2021	Les joueuses ne sont pas randomisées, le coach voulait que toutes les joueuses fassent l'intervention.
De olivera et al. 2020	Essais quasi randomisé
Freeman et al. 2019	La population de cette étude comprend des adolescents footballeurs mais aussi des joueurs de baseball, de foot australien, de crickey et de hockey.
Alonso Fernandez et al. 2017	Les 23 participants de l'intervention ne sont pas randomisés en plusieurs groupes. Ils font tous le programme NHE pendant 13 semaines.
Ribeiro Alvares et al. 2018	Les 20 personnes randomisées ne sont pas que des footballeurs. Ils font le programme sur 4 semaines.
Ama Espinosa et al. 2015	Les 48 joueuses sont randomisées, en deux groupes, le groupe intervention fait le NHE ainsi que des exercices excentriques avec bandes.
Petersen et al. 2011	Idem à <i>Van der horst et al. 2015</i> et <i>Elerian et al. 2019</i>
Small et al. 2009	En plus du NHE programme, les athlètes effectue un protocole d'exercice de fatigue de 90 minutes, reflétant un match de football avant chaque test pour évaluer la fatigabilité musculaire.
Siddle et al. 2019	Parmi les deux équipes randomisées dans l'étude, on retrouve une équipe de football et une équipe de rugby.

Tableau 4 : Résumé des études exclues après lecture intégrale

3.1.4. Tableau descriptif des études incluses

Un tableau a été réalisé pour synthétiser les informations suivantes de chaque article (Tableau 5):

Auteur et année de l'étude

Type d'étude (Uniquement des ECR)

Population :

- Nombre de joueurs randomisés,
- Nombre de joueurs analysés,
- Niveau,
- Age, poids, taille.

Intervention :

- Nombre de semaines, de sessions ainsi que leur répartition
- Moment de la saison ou à lieu l'intervention
- Programme NHE
- Volume total de répétitions
- Volume moyen de répétitions par semaine

Comparateur

Outcomes/Critères de jugement :

- Critères de jugement principal et secondaires
- Outil de mesure

Le détail des études est à retrouver en annexes : Annexe 5 pour les résultats et conclusions des auteurs

Auteur / année	Type de l'étude	Population	Intervention	Comparateur	Critères de jugement
Mjølnes et al. 2004 [57]	ECR	Sujets randomisés : 23 10 Professionnels + 13 semi-professionnels Sujets analysés : 21 (91%) G.I. = 11 G.C. = 10	NHE : 10 semaines (27 sessions) → Volume total (reps) : 718 → Moyenne reps /semaine : 72 1 ^{ère} semaine : 1 session (S), 2 x 5 reps ; 2 ^{ème} : 2 S, 2 x 6 reps ; 3 ^{ème} : 3 S, 3 x 6-8 reps ; 4 ^{ème} : 3 S, 3 x 8-10 reps ; 5 ^{ème} - 10 ^{ème} : 3 S, 3 sets, 12-10-8 reps	Hamstring curl: 10 semaines (27 sessions) 1 ^{ère} semaine : 10 RM ; 2 ^{ème} : 2 S, 2 x 6 reps ; 3 ^{ème} : 3 S, 3 x 6-8 reps ; 4 ^{ème} : 3 S, 3 x 8-10 reps ; 5 ^{ème} - 10 ^{ème} : 3 S, 3 x 8-12	Couple de force concentrique max quadriceps Couple de Force excentrique max des IJ (<i>de 90 a 0° de flexion de genou a une vélocité de 60°/s</i>) Force isométrique IJ a 30°, 60°, 90° IJ/Q ratio fonctionnel = <i>dynamomètre isocinetique (Biodex)</i> → Mesuré que sur jambe droite
Ishoï et al. 2018 [58]	ECR	Sujets randomisés : 35 Amateurs de 17 a 35 ans (19,3 ±2 ans) Sujets analysés : 25 (71%) G.I. = 11 G.C. = 14	NHE : 10 semaines (27 sessions) → Sur la deuxième partie de saison (Mars a Juin) → Après entraînement → Volume total (reps) : 718 → Moyenne reps /semaine : 72 → Même protocole que <i>Mjølnes et al.</i>	Séance : Entraînement habituel	ECC-Phs : couple de force excentrique max IJ (<i>90 a 0° de flexion de genou</i>) ECC-CAPhs : capacité de résistance des IJ (<i>addition de 15 tests</i>) SFRhs : endurance a la fatigue des IJ = <i>inclinomètre digital (Dualer)</i> → Moyenne des résultats des deux jambes
Sebelien et al. 2014 [59]	ECR	Sujets randomisés : 119 semi-professionnels G.I.= 60 (20-36 ans) G.C.= 59 (18-29 ans) 27 joueurs analysés : (23%) G.I.= 16 G.C. = 11	NHE : 5 semaines (12 sessions) → A la pré-saison → Entre warm up et l'entraînement → Volume total (reps) : 277 → Moyenne reps /semaine : 56 1 ^{ère} semaine: 1 session (S), 2 x 5 reps; 2 ^{ème} : 2 S, 2 x 6 reps; 3 ^{ème} : 3 S, 3 x 6-8 reps; 4 ^{ème} : 3 S, 3 x 8-12 reps ; 5 ^{ème} : 3 S, 3 x 8-12 reps	Séance : Warm up - stretching -entraînement habituel	Couple de force concentrique max quadriceps Couple de force IJ (<i>a une vélocité de 60°/s</i>): - Concentrique - Excentrique (<i>60 a 20° de flexion de genou</i>) - Isométrique 20°, 40°, 60° IJ/Q ratio fonctionnel = <i>dynamomètre isocinetique (biodex 6000)</i> → Mesuré que sur jambe droite
Iga et al. 2012 [60]	ECR	Sujets randomisés : Non connu. Professionnels (age : 22,9 ± 3.6 ans) 18 joueurs analysés : (NC)	NHE : 4 semaines (9 sessions) → A la pré-saison → Entre warm up et entraînement	Séance : Warm up - entraînement habituel	Activation musculaire = <i>electro myogramme</i> → Mesuré sur les deux jambes

		<p>G.I.= 10 G.C.= 8</p>	<p>→ Volume total (reps) : 160 → Moyenne reps /semaine : 40 1^{ère} semaine: 1session 2 x 5 reps ; 2^{ème} : 2 S 2 x 6 reps ; 3^{ème} : 3 S 3 x 6 reps ; 4^{ème} : 3 S 3 x 8 reps</p>		<p>Couple de Force excentrique max IJ (90° à 10° de flexion de genou) Angle du couple de pointe IJ = dynamomètre isocinetique (biodes) → Deux jambes à 60, 120 and 240 °/s</p>
Lovell et al. 2016 [61]	ECR	<p>Sujets randomisés : 42 joueurs amateurs (Age : 23,6 ± 4,7 ans ; taille: 178,1 ± 5,9 cm; poids: 77,4 ± 11,4 kg) NHE avant entraînement : 14 NHE après entraînement : 16 Groupe control : 12</p> <p>Sujets analysés : (71%) NHE avant entraînement :9-10 NHE après entraînement : 12-14 Groupe control : 10-11</p>	<p>NHE 12 semaines (23 sessions) → en pré saison : →NHEav : avant <i>warm up</i> →NHEap : après entraînement → Volume total (reps) : 776 → Moyenne reps /semaine : 65</p> <p>1^{ère} semaine : 1 session, 2 x 5 reps; 2^{ème} : 2 S, 3 x 5 reps; 3^{ème} : 2 S, 3 x 6 reps; 4^{ème} : 2 S, 4 x 6 reps; 5-6^{ème} : 2 S, 4 x 7 reps; 7-8^{ème} : 2 S, 4 x 8 reps; 9-10^{ème} : 2 S, 4 x 7 reps; 11^{ème} : 2 S, 4 x 10 reps; 12^{ème} : 2 S, 4 x 12 reps</p>	<p>G.C. : Warm up - core stability exercice – entraînement habituel</p> <p>1^{ère} semaine : 1 session, 3 x 20 secondes (s) ; 2-4^{ème} : 2 S, 3 x 25 s ; 3^{ème} : 2 S, 3 x 6 reps ; 5-7^{ème} : 2 S, 3 x 30 s ; 8-9^{ème} : 2 S, 4 x 8 reps; 10-12^{ème} : 2 S, 3 x 40 s</p>	<p>Architecture musculaire = <i>ultrasons B mode en 2 dimensions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Angle de pennation - Épaisseur musculaire - Longueur du fascicule <p>Couple de Force excentrique max IJ (30°/s ; 90° à 0° flexion du genou) Couple de force moyen IJ (Déterminé pour chaque 15° de flexion de genou). Angle du couple de pointe = dynamomètre isocinetique (chatanooga) → Mesurés sur la jambe dominante</p> <p>Activation musculaire = <i>electromyogramme (EMG)</i> → Mesurés sur la jambe dominante</p>
Medeiros et al. 2020	ECR	<p>Sujets randomisés : 54 joueurs semi professionnel (18-23 ans) G. I1=G.I2=27</p> <p>Sujets analysés : (59%) Test isocinetique : G.I1 : 15 G.I2 :17 Test echographique : G.I1 : 15 G.I2 :15</p>	<p>NHE programme sur 8 semaines → pré-saison + début de championnat →G.I1 : NHE training 1x par semaine (8 séances) →G.I2 : NHE training 2x par semaine (16 séances) → Warm up → NHE programme → entraînement → Volume total (reps) : G.I1= 244 ; G.I2=488 → Moyenne reps /semaine : G.I1= 30 ; G.I2=61</p> <p>1^{ère} semaine : 2 x 6 reps ; 2^{ème} : 3 x 6 reps ; 3^{ème} : 3 x 8 reps ; 4^{ème} : 3 x 10 reps ; 5^{ème}-6^{ème} : 4 x 8-10 reps ; 7^{ème}-8^{ème} : 4 x 10 reps</p>		<p>Couple de force excentrique max IJ (vélocité : 60°/s ; 90° à 30° de flexion du genou) Couple de force concentrique max IJ (60°/s ; 0° à 90° de flexion du genou) Couple de force max Q concentrique IJ/Q ratio fonctionnel = dynamomètre isocinetique (biodes) → Mesuré sur la jambe gauche</p> <p>Architecture musculaire = <i>ultrasons B mode en 2 dimensions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Angle de pennation - Épaisseur musculaire - Longueur du fascicule <p>→ Mesuré sur la jambe gauche</p>

Tableau 5 : Tableau descriptif des études incluses dans la revue de littérature

NHE et critère de jugement		Mj	Isho	Se	Iga et	Lov	M
Performance musculaire	Force musculaire	X	X	X	X	X	X
	Ratio IJ/Q	X		X			X
Adaptations architecturales	Angle du couple de pointe des IJ				X	X	
	Activation musculaire				X	X	
	Architecture musculaire : - Épaisseur musculaire - Angulation de pennation - Longueur des fascicules					X	X

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des critères de jugements inclus dans les études

3.2. Risques de biais des études incluses

Comme décrit précédemment, l'évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées, a été réalisé grâce à l'échelle d'évaluation PEDro. Plus le score est élevé, plus l'étude a une bonne qualité méthodologique et possède le moins de biais possible.

Dans cette échelle, l'item 1 n'est pas pris en compte dans le score final car il correspond à la validité externe de l'étude. Concernant la validité interne, nous retrouvons les 10 autres items :

Item 1 : Toutes les études sauf Mjølnes ont décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.

Biais de sélection :

Item 2 : Les sujets ont tous été répartis aléatoirement dans les différents groupes interventions et comparateur.

Item 3 : Seulement dans les études de Medeiros et al. 2020 et de Ishoi et al. 2018 la répartition des joueurs a respecté une assignation secrète. C'est-à-dire la personne qui a déterminé si le sujet répondait aux critères d'inclusion, ne devait pas savoir dans quel groupe le sujet serait admis.

Pour les autres études, aucune information à ce sujet. La randomisation a eu lieu mais pas de précision pour savoir si elle est secrète ou si la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou par tirage au sort. Cette assignation secrète non respectée engendre un risque potentiel que la décision de l'inclusion du sujet dans l'essai soit influencée par la connaissance du fait qu'il recevra le traitement ou non.

Item 4 : Dans les études de Mjølnes et al. 2004 et Lovell et al. 2016, les groupes n'étaient pas similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiqués les plus importants.

Biais d'évaluation :

Item 5 et 6 : Dans toutes ces études, les sujets et les thérapeutes ne sont pas en « aveugle ». En effet, il est difficile voire impossible pour le patient de n'avoir conscience de réaliser l'exercice. Il en est de même pour le thérapeute qui par ses connaissances sait dans quel but le traitement est appliqué ou du moins qu'elles sont les plus-values de chaque exercice. Pour ce type d'étude, 8/10 à l'échelle PEDro est un très bon score.

Item 7 : Tous les examinateurs étaient « en aveugles » pour au moins le test de force, sauf l'étude de Lovell, qui ne nous donne aucune information à ce sujet.

Le fait que l'examineur soit « en aveugle » implique l'assurance que les personnes réalisant les évaluations étaient incapables de discriminer si le sujet avait reçu ou non le traitement. Ceci limite les biais de l'évaluateur qui pourrait affecter la mesure des résultats.

Biais de suivi

Item 8 : Seulement Mjølnes et al. 2004 a obtenu les mesures, pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes. Dans l'étude d'Iga et al. 2012 ce paramètre n'est pas indiqué, il ne donne pas le nombre de joueurs randomisés, mais seulement le nombre de joueur analysés.

Le pourcentage de chaque étude est donné dans le tableau « » présenté ci-dessus.

Biais d'attrition

Item 9 : L'attrition désigne les athlètes inclus dans l'essai et qui ne contribuent pas à l'analyse car ils auront été « sortis de l'étude ». Mettre les perdus de vue « en intention de traiter », permet que les athlètes randomisés soient suivis jusqu'aux post tests. Aucune étude n'a fait son analyse « en intention de traiter ». Il y a donc un fort risque de biais liés aux écarts au protocole ou aux arrêts de traitements

Biais de résultats

Item 10 et 11 : Toutes les études ont réalisé des comparaisons statistiques entre les différents groupes. L'estimation des effets sur la force excentrique des IJ et l'estimation de leur variabilité ont été calculés.

Ci-dessous, le tableau récapitulatif des biais méthodologiques des articles inclus :

X : *item validé* O : *item non validé*

Auteurs	Items											Score total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Mjølnes et al. 2004	O	X	O	O	O	O	X	X	O	X	X	5
Ishoi et al. 2018	X	X	X	X	O	O	X	O	O	X	X	6
Sebelien et al.	X	X	O	X	O	O	X	O	O	X	X	5
Iga et al. 2012	X	X	O	X	O	O	X	O	O	X	X	5
Lovell et al. 2016	X	X	O	O	O	O	O	O	O	X	X	3
Mendeiros et al. 2020	X	X	X	X	O	O	X	O	O	X	X	6

3.3. Effet de l'intervention

Avant d'interpréter l'effet de l'intervention sur les différents critères de jugement, il est important de connaître la procédure des tests.

Dans 5 études, on retrouve un échauffement préliminaire en vue des tests de force. Les joueurs de l'étude de Ishoi et al. 2012 effectuent un échauffement général progressif de 15 minutes en faisant les « games » et des sprints. En plus de l'échauffement général les joueurs font un échauffement

spécifique des IJ (mouvement balistique, étirement de type contracté/relâché) dans l'étude de Sebelien et al. 2014. L'échauffement des joueurs de l'étude de Mjølnes et al. 2004 est constitué de Cinq minutes de cyclo ergo mètre suivi par des étirements des IJ, des tests sur la machine d'isocinétisme puis de nouveau cinq minutes de cyclo ergo mètre, des mouvements balistiques et 10 sprints constituent. Dans l'étude de Medeiros et al. 2020 les joueurs s'échauffent sur un cyclo ergo mètre pendant cinq minutes, alors que le protocole d'échauffement de Lovell et al. 2016 n'est pas détaillé.

Les mesures des différents critères de jugements ont été effectués sur les deux jambes dans les études de Iga et al. 2012 et Ishoi et al. 2018. La jambe gauche est étudiée chez Medeiros et al. 2020 alors que les études de Mjølnes et al 2004 et Sebelien et al 2014 ont évalués les critères de jugements sur la jambe droite. Enfin, Lovell et al 2016 a fait son étude sur la jambe dominante.

La participation des joueurs au NHE programme tout au long du programme est traduit par le taux de conformité. Ce taux est de 100% si tous les joueurs adhèrent complètement à l'intervention. Sebelien en al. 2014, Iga et al. 2012 ne communiquent pas leur taux de conformité au programme NHE. Dans l'étude de Lovell et al 2016, la compliance au traitement est légèrement plus élevée dans le groupe d'intervention NHEap (46,8%) par rapport au groupe NHEav (34,7%) soit une moyenne de 41%. Les groupes d'intervention dans les études de Mjølnes et al. 2004 et Ishoi et al. 2018 ont un taux de conformité de 96% et 60,2% respectivement. Dans l'étude de Medeiros et al. 2020, tous les joueurs ont un taux de présence de 100% : 8 séances NHE pour G.I1 et 16 pour G.I2. La non-conformité au programme est un critères d'exclusion dans cette étude (minimum 7 séances pour G.I1 et 14 pour G.I2).

3.3.1. Critère de jugement principal : Force excentrique des IJ

Les tests de force sont précédés de test de sprint dans les études de de Ishoi et al. 2018 et Sebelien et al. 2014. Quinze minutes de pause séparent les deux tests chez Ishoi, aucune information a ce sujet n'est indiqué pour Sebelien.

La force excentrique des IJ, le ratio IJecc/Qcon, l'angle du couple de force ont été calculé à l'aide d'un dynamomètre isocinétique dans toutes les études sauf Ishoi et al et al qui a analysé ces critères avec un inclinomètre digital.

Les joueurs effectuent le test isocinétique en position assise dans les études de Medeiros et al. 2020 et Sebelien et al. 2014. En position allongé sur le ventre chez Iga et al 2012 et lovell et al. 2016. Enfin sur le dos pour Mjølnes et al. 2004. Tandis que Ishoi et al. 2018 prend les mesures pendant le NHE grâce a un inclinomètre (dispositif utilisant des cellules de charges sans fil avec un taux d'échantillonnage de 100 HzA/D).

- **Mjølnes et al. 2004**

Le couple de force excentrique maximal dans le NHE groupe a augmenté de 11%, de $240 \pm 12\text{Nm}$ au pré-test à $267 \pm 13\text{Nm}$ au post-test (t-test, $P=0.001$).

Tandis que aucun changement n'a été observé pour le groupe HC d'après l'auteur ; mais les valeurs moyennes du pré-test et post-test du groupe HC ne sont pas données.

Il m'a fallu donc calculer la taille de l'effet sur le couple de force excentrique des IJ.

A 10 semaines	NHE groupe n=11 (Écart type)	HC groupe n=10 (Écart-type)	Différence moyenne (IC à 95%)
Changement du Couple de force excentrique max des IJ (Nm) Pré/post T	27 (13)	2 (5)	25 IC (15,75 à 34,25)

Tableau 8 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ, Mjølnes et al.2004

On observe une différence significative (effets élevés) concernant le couple de force excentrique des IJ entre les deux groupes à 10 semaines avec une différence moyenne de 25Nm IC à 95% (15,75 ; 34,25) sur le total de force excentrique des IJ ($p=0,001$).

- **Ishoi et al. 2018**

Dans cette étude, suite aux 10 semaines de programme NHE, la force excentrique des IJ a été définie par trois mesures :

- ECC-Phs est le couple de force excentrique maximal des IJ.
- L'ECC-CAPhs a été définie comme la somme totale de la force maximale enregistrée dans chacune des répétitions effectuées.
- La SFRhs a été définie comme le taux moyen de diminution de la force maximale par répétition de la première à la quinzième répétition

	Groupe NHE n= 9/10 (Écart type)			Groupe controle n= 10 (Écart type)			Différence inter groupe (IC à 95%) Facteur de Cohen (d)
	Pré-T	Post-T	Différence intra groupe (IC à 95%)	Pré-T	Post-T	Différence intra groupe (IC à 95%)	
ECC-Phs (N)	321,5 (50,7)	383,2 (68,6)	66,7 (8,82 à 124,58)	382,0 (70,9)	372,7 (62,1)	-9,3 (-71,92 à 53,32)	10,5 (-50,98 à 71,98) d= 0,92
ECC-CAPhs (N)	4433 (653)	5203 (966)	770 (7,73 à 1532,27)	5485 (1022)	5197 (918)	-288 (-1200,68 à 624,68)	6 (-906,10 à 918,10) d= 0,95
SFRhs (N/rep)	-3,3 (2,97)	-4,48 (3,87)	-1,18 (-4,63 à 2,27)	-2,0 (4,21)	-3,5 (3,73)	-1,5 (-5,24 à 2,24)	0,98 (-2,70 à 4,66)

Tableau 9 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ, Ishoi et al.2018

Malgré une équivalence en termes d'âge, de taille et de poids entre les groupes, on remarque une différence significative de force excentrique des IJ en pré-test.

De plus la moyenne du couple de force excentrique ECC-Phs post test du groupe NHE 383,2 Nm (68,6) est équivalente à celle du groupe contrôle 382,0 Nm (70,9) en pré-test.

Il en est de même pour la valeur ECC-CAPhs qui, est inférieure pour le groupe NHE en post-test 5203 Nm (966) par rapport à la valeur du pré-test dans le groupe contrôle 5485 Nm (1022).

- Différence intra groupe :

On note une différence significative pré/post test (effet modéré) pour le G.I. en ce qui concerne l'ECC-Phs et l' ECC-CAPhs :

- ECC-Phs : 66,7 Nm IC à 95% (8,82 à 124,58)
- ECC-CAPhs : 770 Nm IC a 95% (7,73 à 1532) vs

Tandis que l'on observe aucune amélioration de ces critères de force dans le G.C. :

- ECC-Phs : -9,8 Nm IC à 95% (-71,92 à 53,32)
- ECC-CAPhs : -288 IC à 95% (-1200,68 à 624,68).

On se retrouve donc avec une augmentation significative de la force excentrique des IJ dans le groupe d'intervention dans les mesures d'ECC-Phs et ECC-CAPhs, de 19,2 % et 17,4% respectivement ($p<0,01$).

Le groupe intervention ne montre pas de changement pré/post test significatif en ce qui concerne SFRhs (-1,18 N/rep IC (-4,63 à 2,27)). Il en va de même pour le groupe contrôle.

▪ Différence entre les groupes :

La différence inter-groupe en calculant la différence moyenne à l'aide d'un intervalle de confiance à 95% post-test n'est pas la valeur statistique la mieux adaptée à cette situation bien qu'elle soit légèrement significative pour les 2 premières valeurs.

L'indicateur de Cohen est plus propice et révèle une augmentation significative du ECC-Phs $d=0,92$ ($p=0,006$) et du ECC-CAPhs $d=0,95$ ($p=0,005$) en faveur du groupe NHE. Aucun changement significatif entre les groupes n'a été observé en ce qui concerne le SFRhs ($p=0,363$).

• **Sebelien et al. 2014**

Dans cette étude, la force excentrique des IJ est appréciée par le *peak torque* (PT) qui correspond au couple de force maximal déterminé par le meilleur des 3 essais (en Nm), et le Total work (TW) qui est la somme des 3 essais (en Joule).

En raison de la participation limitée, le 2^{ème} test de d'avril (avant le début des matchs de compétition) n'a pas été inclus dans l'analyse. Seul le pré-test T1 avant les 5 semaines de programme en décembre et le test final T3 en août (avant le début de la seconde moitié de la saison) sont inclus dans l'analyse.

		Groupe contrôle n=11 (Écart type)			Groupe NHE n=16 (Écart type)		
		T1	T3	Différence intra groupe (IC à 95%)	T1	T3	Différence intra groupe (IC à 95%)
Excentrique IJ PT (Nm)		156,3 (46,0)	145,5 (61,4)	-10,8 (-65,41 à 43,81)	150,4 (20,5)	147,6 (24,6)	-2,8 (-19,15 à 13,55)
Excentrique IJ TW (J)		485,9 (189,7)	439,5 (187,0)	-46,4 (-171,80 à 79,00)	510,6 (87,2)	460,6 (101,2)	-50 (-102,72 à 2,72)

Tableau 10 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ Sebelien et al.2014

On note une valeur de l'écart type plus élevé dans le groupe contrôle ce qui indique que les données sont plus dispersées.

Lors de T1, le groupe contrôle a un couple de force maximal supérieur au groupe NHE, alors que le TW est supérieur chez le groupe NHE.

Les valeurs n'étant pas les mêmes au départ, j'ai donc calculé les différences intra-groupes.

▪ Différences intra groupe :

Concernant le PT : On note une diminution de -2,8 IC (-19,15 à 13,55) pour le groupe NHE et de -10,8 IC (-65,81 à 43,81) pour le groupe contrôle. On se retrouve donc avec une diminution moins importante du PT chez le groupe NHE.

Alors que pour le TW : On note avec une différence intra groupe équivalente avec -50 IC (-102,72 à 2,72) pour le groupe NHE et de -46,4 IC (-171,80 à 79,00) pour le groupe contrôle.

Dans cette étude, on constate une diminution de la force excentrique des IJ au sein du groupe contrôle avec $d=0,025$ (effet faible) ($p=0,16$) et du groupe NHE $d=0,529$ (effet modéré) ($p=0,020$).

▪ Différence entre les groupes :

Lors du 3^{ème} test, on constate une différence du TW de 21,1 J IC 95% (-93,36 à 135,36) en faveur du groupe NHE par rapport au groupe contrôle.

Seulement cette différence était présente également lors de T1 avec une différence de 24,7 J, IC 95% (-86,37 à 135,77).

On constate aucune différence entre les groupes pour la valeur du PT et du TW.

- **Iga et al. 2012**

Pour cette étude, le couple de force maximal des IJ est calculé aussi bien pour la jambe dominante (DOM) que non dominante (NDOM) et ce à plusieurs vitesses (60°/s, 120°/s et 240°/s). Ces données ont été requise avant et après le programme NHE effectué sur 4 semaines.

DOM	Groupe NHE n=10 (Écart type)		Groupe contrôle n=8 (Écart type)		Différence inter-groupe (IC a 95%)
	Pré-test	Post test	Pré-test	Post test	
60°/s	115 (42)	132 (43)	120 (38)	121 (33)	11 IC (-28,16 à 50,16)
120°/s	121 (45)	134 (42)	122 (40)	121 (35)	13 IC (-25,54 à 51,54)
240°/s	121 (43)	130 (42)	114 (46)	110 (41)	20 IC (-21,80 à 61,80)
NDOM	Groupe NHE n=10 (Écart type)		Groupe contrôle n=8 (Écart type)		Différence inter-groupe (IC a 95%)
	Pré-test	Post test	Pré-test	Post test	
60°/s	99 (30)	119 (37)	107 (37)	109 (29)	10 IC (-23,92 à 43,92)
120°/s	105 (32)	119 (33)	105 (37)	110 (28)	9 IC (-22,49 à 40,49)
240°/s	102 (34)	122 (32)	103 (34)	107 (27)	15 IC (-16,69 à 46,69)

Tableau 11 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ Iga et al.2012

- Différence intra groupe :

Suite au programme NHE le couple de force excentrique des IJ semble avoir augmenté (effets faibles à modérés) dans le groupe d'intervention pour les deux jambes et à toutes les vitesses d'évaluations. Entre les deux tests il y a une augmentation significative moyenne de 21% du couple de force des IJ dans le groupe NHE ($P < 0,05$) et de 4% dans le groupe contrôle ($P > 0,05$).

- Différence entre les groupes :

On observe une différence moyenne inter-groupe significative (effets faibles à modérés) en faveur du groupe d'intervention à 4 semaines (post test) pour le couple de force maximal excentrique des IJ des deux membres DOM et NDOM et pour toutes vitesses d'évaluation ($p < 0,05$).

- **Lovell et al 2016**

Ils ont analysé la force des IJ à travers le couple de force max excentrique et le couple de force moyen excentrique.

- Aucun tableau retranscrivant les valeurs pré/post test du couple de force excentrique max n'est présenté.

Les seuls donnés présentés sont le changement intra-groupe de force excentrique des IJ suite aux 12 semaines de programme NHE :

- G.I1 : NHEav : + 11,9% (3,6% à 20,9%)
- G.I2 : NHEap : + 11,6% (2,6% à 21,5%)

L'auteur indique qu'il n'y a pas de différence entre les deux groupes intervention.

Les groupes d'interventions qui pratiquent le NHE avant l'entraînement et après l'entraînement ont une augmentation du couple de force excentrique max des IJ, de l'ordre de 11,9% (3,6% à 20,9%) et 11,6% (2,6% à 21,5%) respectivement (effets faibles à modérés).

Cependant nous n'avons aucune information concernant le couple de force excentrique dans le groupe contrôle.

▪ Le couple de force moyen est représenté par un diagramme. On retrouve en abscisse les différents angles de flexion de genou (par tranche de 15°), en ordonnée le delta du couple de force moyen des IJ. Les barres du diagramme représentent un intervalle de confiance à 90%.

Concernant le couple moyen, les variations dans les groupes sont importantes. (Effets probables ou très probables).

- G.I1 : NHEav : 13,3% (8,2% à 18,6%)
- G.I2 : NHEap : 20,9% (14,7% à 27,5%)
- G.C. : -0,7% (-6,4% à 5,3%)

L'auteur affirme qu'il n'y a pas de différence significative entre les groupes d'intervention.

Dans les 30 premiers degrés de flexion les deux groupes NHE ont une augmentation (probablement faible à modéré) du couple de force moyen des IJ par rapport au groupe contrôle. Le groupe NHEap a une augmentation plus importante du couple de force moyen (effets modéré probable) dans la zone médiane de contraction (30 à 60°) par rapport au groupe contrôle. Mais aussi une augmentation (effets probablement modérés dans la zone de 60 à 90° par rapport au groupe contrôle et au groupe d'intervention ayant fait le NHE avant l'entraînement.

• **Medeiros et al. 2020**

Sur une période de 8 semaines, les deux groupes d'intervention ont été suivis. Le 1^{er} groupe d'intervention (G.I1) devait suivre une séance d'entraînement par semaine, le deuxième groupe d'intervention (G.I2) faisait 2 séances par semaine.

	G.I1 : NHE 1x / semaine n= 15 (Écart type)			G.I2 : NHE 2x / semaine n= 17 (Écart type)			Différence inter groupe (IC à 95%)
	Pré-T	Post-T	Différence intra groupe (IC à 95%)	Pré-T	Post-T	Différence intra groupe (IC à 95%)	
Excentrique PT (Nm)	216,29 (31,5)	217,86 (38,24)	1,57 (-24,63 ; 27,77)	197,48 (40,81)	216,39 (34,17)	18,91 (-7,39 ; 45,21)	-1,47 (-27,61 ; 24,67)

Tableau 12 : Résultats du NHE programme sur la force musculaire des IJ Medeiros et al.2020

▪ Différence intra groupe :

Il n'y a pas de différence notable pré/post test du couple de force excentrique du premier groupe d'intervention (G.I1 : 1,57Nm IC à 95% (-24,63 à 27,77)) alors que la pratique du programme NHE 2 fois par semaine semble apporter une plu value significative (effets faibles à modérés) en terme de force excentrique des IJ (G.I2 : 18,91Nm IC à 95% (-7,39 à 45,21)).

En termes de pourcentage, le deuxième groupe d'intervention a eu une augmentation du couple de force max de 11,41 % (13,19) (P=0,015).

▪ Différence inter groupe :

Tout comme l'étude de Ishoi et al.2018, l'âge, la taille et le poids entre les groupes sont équivalent. Mais les valeurs de la force excentrique diffèrent en pré test entre les deux groupes. La différence de moyenne intergroupe n'est pas utile pour l'interprétation des résultats compte tenu de la différence de la valeur en pré test, et de la moyenne post test du G.I2 (=216,39 (34,17)) qui équivaut à celle du G.I1 (=216,29 (31,5)) en pré-test,. Cependant l'auteur a utilisé une covariable ajustée : 0,37 (effets faibles)

	Outcomes	Effet sur la force musculaire des IJ		
		Différence inter-groupe Post T	Pré/post T G.I.	Pré/post T G.C.
Mjolnes et al. 2004	Couple de force excentrique max IJ	En faveur du G.I. : (EE) IC a 95% : 25 (15,75 à 34,25)	Amélioration de 11% (P<0,05) (EE)	Aucun changement significatif (Pas de valeurs)
Ishoi et al. 2018	ECC-Phs : couple de force excentrique max IJ L'ECC-CAPhs : Somme total de la force maximale enregistrée dans chacune des répétitions SFRhs : taux moyen de diminution de la force max de la 1 ^{ère} a la 15 ^{ème} rep	ECC-Phs :		Aucun changement significatif
		d = 0,92 (EE) P= 0,006	Amélioration de 19,2% (P<0,05) IC a 95% : 66,7 (8,82 à 124,58)(EM)	
		ECC-CAPhs		
		d= 0,95 (EE) P=0,005 (S)	Amélioration de 17,4% (P<0,05) IC 95% : 770 (7,73 à 1532,27)(EM)	
		SFRhs		
		Aucun changement P= 0,363 (NS)	Aucune différence significative (P= 0,363)(NS) IC a 95% : -1,18 (-4,63 à 2,27)	
Sebelien et al. 2014	PT (peak torque) = couple de force maximal TW (Total work)	Aucun changement significatif (NS)	Diminution de la force d= 0,529 (EM) p= 0,020	Diminution de la force d= 0,025 (EF) p= 0,016
Iga et al. 2012	Couple de force excentrique max IJ	Différence significative des 2 membres a toutes vitesses d'évaluation (P<0,05), IC a 95% (EF)	Augmentation de 21% P<0,05 (EM)	Augmentation de 4% P>0,05
Lovell et al 2016	Couple de force excentrique max IJ Couple de force excentrique moyen des IJ	Couple de force excentrique max IJ		
		Aucun changement significatif (NS) (Pas de valeurs)	G.I1 : Augmentation de 11,9% G.I2 : Augmentation de 11,6% (EF a EM)	Aucun changement significatif (Pas de valeurs)
		Couple de force excentrique moyen des IJ		
		Aucun changement significatif (NS) (Pas de valeurs)	G.I1 : Augmentation de 13,3% G.I2 : Augmentation de 20,9 % (EF a EM)	Diminution de -0,7%

Medeiros et al. 2020	Couple de force excentrique max IJ	Covariable entre les groupes post training : 0,37 (EF)	G.I1 : IC à 95% 1,57Nm (-24,63 à 27,77) Augmentation de 0,68% (10,16) G.I2 : IC à 95% 18,91Nm (-7,39 à 45,21) (EF a EE) Augmentation de 11,41% (13,19)
----------------------	------------------------------------	---	---

EE : Effet élevé ; EM : Effet Modéré ; EF : Effet Faible ; NS : Non Significatif

Tableau 13 : Résumé des résultats et de l'effet du NHE programme sur la force musculaire des IJ

3.3.2. Critères de jugement secondaires

3.3.2.1. Effet sur le Ratio IJecc/Qcon

Dans les articles de cette revue, 2 types de ratio sont étudiés : ratio conventionnel (Rc) qui est le couple de force concentrique des IJ / couple de force concentrique du quadriceps et un des ratio fonctionnels (Rf) celui qui nous intéresse étant le couple de force excentrique des IJ / couple de force concentrique du quadriceps.

L'interprétation des résultats ci-dessous, est celle du ratio fonctionnel (IJecc/Qcon). Ce dernier est étudié par Mjølnes et al. 2004 , Sebelien et al. 2014 et Medeiros et al. 2020 dans les mêmes conditions de tests que la force excentrique des IJ.

- **Mjølnes et al. 2004**

- Le couple de force concentrique du quadriceps n'a pas changé significativement dans les deux groupes entre les deux tests. De plus les valeurs entre les deux groupes sont équivalentes.
- Le ratio IJecc/Qcon du groupe NHE est passé de 0,89 (0,04) au pré test à 0,98 (0,05) au post test ($p=0,005$). Soit une augmentation de 10,11% IC à 95% (7,09% à 13,13%) ($p<0,05$).
- Alors qu'il n'y a pas eu de changement dans le groupe HC (pré-test : 0,88 (0,03) ; post-test : 0,87 (0,04)) ($p=0,07$).
- L'estimation de la différence du ratio entre les deux groupes est de 0,11 IC à 95% (0,07 à 0,15).

- **Sebelien et al. 2014**

- Le couple de force concentrique du quadriceps (PT et TW) n'a pas changé significativement dans les deux groupes entre T1 et T3.
- le ration IJecc/Qcon n'a pas évolué significativement entre les deux tests aussi bien pour le groupe contrôle que pour le groupe intervention. Le ratio du groupe intervention a même légèrement diminué.

- PT :

- G.I. : pré-test 0,74 (0,13) ; post-test : 0,72 (0,11). (-0,02 IC à 95% (-0,11 à 0,07))
- G.C. : pré-test 0,80 (0,08) ; post-test : 0,80 (0,11). (0 IC à 95% (-0,07 à 0,07))
- Différence moyenne entre les groupes en post-T: (-0,08 IC à 95% (-0,17 à 0,01))

- TW :

- G.I. : pré-test 0,87 (0,19) ; post-test : 0,81 (0,16). (-0,06 IC à 95% (-0,22 à 0,10))
- G.C. : pré-test 0,88 (0,16) ; post-test : 0,88 (0,16). (0 IC à 95% (-0,14 à 0,14))
- Différence moyenne entre les groupes en post-T: (-0,07 IC à 95% (-0,20 à 0,06))

- **Medeiros et al. 2020**

- Le couple de force concentrique du Q n'a pas changé significativement entre les 2 tests dans chaque groupe mais le G.I1 a une valeur plus élevée (287,47 Nm (43,53)) que le G.I2 (274,96Nm (43,72)) en post-test.
- Pour G.I1 le ratio IJ/Q n'a pas changé entre les deux tests : pré-test : 0,76 (0,10) ; post-test : 0,76 (0,12)
- Le G.I2 a une augmentation de la force excentrique des IJ par rapport à G.I1 donc une augmentation plus importante du ratio ($P<0,028$). Le ratio est passé de 0,73 (0,13) en pré test à 0,79 (0,08) en post test. Soit une augmentation de 10,64 % IC à 95% (-3,40 à 17,88).
- L'estimation de la différence du ratio entre les deux groupes est de 0,03 IC à 95% (-0,06 à 0,12).

	Effet sur le ratio IJecc/Qcon		
	Différence inter-groupe Post T	Pré/post T G.I.	Pré/post T G.C.
Mjolnes et al. 2004	0,11 IC à 95% (0,07 à 0,15). (EE)	Augmentation de 10,11% IC a 95% (7,09% à 13,13%) p<0,05 (EE)	Aucun changement significatif P=0,07
Sebelien et al. 2014	Aucun changement significatif (NS)	Aucun changement significatif (NS) Voir même une diminution	Aucun changement significatif Même valeurs en pré et post T
Medeiros et al. 2020	0,03 IC à 95% (-0,06 à 0,12) (EF à EM)	G.I1 : aucune variation : Valeur pré test = Post test G.I2 : augmentation de 10,64 % IC à 95% (-3,40 à 17,88).	

Tableau 14 : Résumé des résultats et de l'effet du NHE programme sur le ratio IJecc/Qcon

3.3.2.2. Effet sur l'Angle du couple de pointe des IJ

L'angle du couple de pointe est l'angle sous lequel la force de contraction est maximale, l'angle sous lequel le muscle est le plus fort. Cet angle est étudié par Iga et al. 2012 ainsi que Lovell et al. 2016 dans les mêmes conditions de test que pour la force excentrique des IJ et du ratio.

- **Iga et al. 2012**

Les résultats sont présentés dans un tableau. Les effets d'interaction intra groupe sur l'angle du couple de pointe des IJ dans toutes les conditions de test semblent être non significatifs (a 60°/s, 120°/s, 240°/s et pour les deux jambes)

De plus les effets d'interaction entre les groupes semblent également être non significatifs.

- **Lovell et al. 2016**

Dans la continuité des résultats de Iga et al. 2012 il n'y a pas de différences significatives au sein des 3 groupes entre les deux tests, ainsi qu'entre les groupes ou est retrouvé l'angle du couple de pointe (10,2 (10,8) ° de flexion de genou).

3.3.2.3. Effet sur l'Activation musculaire

Dans les deux études, l'activation musculaire est analysée à l'aide d'un électromyogramme de surface (EMG). Des électrodes bi-polaires sont placées au niveau des IJ médiaux (semi-membraneux, semi-tendineux) et des IJ latéraux (2 chefs du biceps fémoral). Ces électrodes envoient des signaux à l'EMG. Les données de l'EMG sont ensuite amplifiées, filtrées puis converties en valeurs efficace (RMS).

Iga et al. 2012, étudie l'activation musculaire lorsque le sujet fait le NHE. Les participants font 5 répétitions du NHE à une vitesse de 30° par seconde à l'aide d'un métronome réglé sur 1 battement par seconde. Un électrogoniomètre est attaché le genou droit du participant. L'électrogoniomètre permet de calculer l'activité musculaire des IJ dans 3 amplitudes distincte de l'articulation du genou (90-61° ; 60-31° ; 30-0°). L'activité EMG est représentée par la valeur RMS, moyenne de 5 répétitions. Tandis que Lovell et al 2016, conduit l'analyse à l'aide d'un dynamomètre iso-cinétique réglé à 30° par seconde. Les données recueillies sont la valeur la plus élevée suite à 3 contractions maximales, ceci enregistrée pour chaque 15° de flexion de genou. Dans cette étude, l'activité musculaire est comparée avant et après l'intervention NHE.

- **Iga et al. 2012**

Ils mesurent l'activité musculaire des deux jambes, en comparant la jambe dominante et non dominante sur chaque section de flexion de genou. Il compare également les activités des IJ médiaux et latéraux de chaque jambe dans les différentes sections articulaires.

Aucune différence significative n'est observée dans la valeur de l'EMG entre les membres, et ce, à toute l'amplitude articulaire ($p=0,41$). Ainsi, d'après ces résultats, les IJ des deux membres semblent être engagés de la même manière lors du NHE.

L'interaction entre la région musculaire (IJ médiaux et latéraux) et la position articulaire du genou sur l'activité musculaire des IJ et également non significative ($p=0,18$). On note aucun effet significatif de la région musculaire sur l'activité musculaire, que ce soit le membre dominant ou non ($p=0,21$). Ainsi d'après cette présente étude, on ne retrouve pas de différence d'activité musculaire entre les IJ médiaux et latéraux lors du NHE et ce dans toute amplitude articulaire.

Cependant un effet significatif de la position du genou (amplitude articulaire) sur l'activité musculaire est observé ($p<0,001$). En effet que ce soit la jambe dominante ou non, les IJ médiaux ou latéraux, l'activité musculaire est plus importante dans le secteur articulaire moyen ($60-31^\circ$) lors du NHE. Même si cette activation musculaire diminué lors de la phase terminale du NHE ($30-0^\circ$), elle reste quand même significativement plus élevée que lors de la phase initiale de l'exercice ($90-61^\circ$).

- **Lovell et al. 2016**

Dans cette étude, l'auteur compare l'activité musculaire des IJ médiaux et latéraux des deux groupes d'interventions (NHEavant, NHEapres) et du groupe contrôle dans tous les secteurs articulaire (par tranche de 15°) de 90 à 0° de flexion de genou.

Les changements d'activité musculaire du BF sont significativement plus importants dans les deux groupes d'interventions par rapport au groupe contrôle (effets modérés), avec un changement plus important dans le groupe NHEavant par rapport au NHEaprès (effets faibles). Les augmentations plus importantes du NHEavant sont observés entre 0 et 30° de flexion de genou.

Les changements enregistrés pour les IJ médiaux sont significativement plus importants dans les deux groupes d'interventions par rapport au groupe contrôle (effets modérés) à des longueurs de muscles plus courtes (45 à 90° de flexion de genou) (effets petits à modérés) ; sans aucune différence entre les groupes NHE.

3.3.2.4. Effet sur l'architecture musculaire

Un protocole standardisé a été utilisé pour l'évaluation écho graphique dans les travaux de Lovell et al. 2016 et Medeiros et al. 2020. Un système d'échographie en B-mode, relié à une sonde à réseau linéaire est utilisée pour évaluer les paramètres de l'architecture musculaire du BFlh.

Les sujets sont analysés en position couché, hanche en position neutre, genou en extension complète et les muscles détendus. La sonde écho graphique est positionnée perpendiculairement à la peau dans l'axe longitudinal du muscle, avec un léger ajustement de l'orientation de la sonde si nécessaire pour optimiser l'identification des aponévroses et des fascicules. La longueur du BFlh est déterminée comme étant la distance entre la tubérosité ischiatique et le bord supérieur de la tête fibulaire, l'échographie a été réalisé à 50% de la longueur total du muscle.

L'épaisseur du muscle, l'angle de pennation, la longueur du fascicule de chaque image sont évalués. La valeur moyenne des 3 images est utilisée pour les analyses statistiques. Le fascicule le plus visible sur chaque image est utilisé pour mesurer l'angle de pennation et estimer la longueur du fascicule à l'aide d'une équation validée.

Les résultats de l'étude de Lovell et al. 2016 sont présentés sous forme de tableau, indiquant le delta du changement des différentes mesures entre les deux tests, alors que l'on retrouve les données moyenne de chaque mesure sur chaque test dans l'étude de Medeiros et al. 2020.

- **Lovell et al. 2016**

L'épaisseur du muscle et l'angle de pennation ont augmenté dans le groupe NHEap par rapport au groupe NHEav et groupe contrôle.

L'épaisseur du BFlh a augmenté de 0,17 cm IC à 90% (0,05 à 0,29) dans le groupe NHEap. Elle a diminué de 0,07 cm (-0,17 à 0,03) dans le groupe NHEav et de 0,19 cm (-0,34 à -0,03) pour le groupe contrôle.

Quant à l'angle de pennation, il a augmenté de 1,03° (-0,08 à 2,14) dans le groupe NHEap, et a diminué dans les groupes NHEav (-1,47° (-2,37 à -0,58)) et contrôle (-1,01° (-2,43 à 0,42)).

Tandis que la variation estimée de la longueur du fascicule du BFlh est plus élevée dans le groupe NHEav (1,58 cm (0,48 à 2,68)) par rapport aux groupes contrôle (-0,67cm (-2,45 à 1,11)) et NHEap (-0,29cm (-1,70 à 1,11)).

- **Medeiros et al. 2020**

L'entraînement NHE une fois ou deux fois par semaine a augmenté l'épaisseur du BFlh (G.I1 : 0,11cm IC à 95% (-0,04 à 0,26) ; G.I2 : 0,11cm (-0,07 à 0,29))(effets faibles à modérés) et la longueur du fascicule (G.I1 : 0,91cm (-0,93 à 2,74) ; G.I2 : 0,95cm (-0,88 à 2,78)) (effets faibles) dans les deux groupes, tandis que l'angle de Pennation du BFLH n'a pas changé dans les deux groupes (ES insignifiants).

Aucune différence entre les groupes n'a été trouvée pour l'épaisseur du BFlh (P=0,864), l'angle de pennation (P=0,289), la longueur du fascicule (P=0,406), avec un ES trivial.

Effet sur l'architecture musculaire			
	Différence inter-groupe Post T	Pré/post T G.I.	Pré/post T G.C.
Lovell et al. 2016	Épaisseur musculaire (en cm)		
	G.I2 a un plus grand effet (effet faible) par rapport à G.I1 et G.C.	G.I1 : - 0,7 cm G.I2 : + 0,17 cm	-0,19 cm
	Angle de pennation (en °)		
	G.I1 a un plus grand effet (effet faible) par rapport à G.I2 et G.C.	G.I1 : - 1,47 G.I2 : + 1,03°	-1,01°
	Longueur du fascicule musculaire (en cm)		
	G.I1 a un plus grand effet (effet faible) par rapport a G.I2 et G.C.	G.I1 : + 1,58 cm G.I2 : -0,29 cm	-0,67
Medeiros et al. 2020	Épaisseur musculaire (en cm)		
	Aucun changement significatif P=0,864	G.I1 : + 0,11 cm G.I2 : + 0,11 cm	
	Angle de pennation (en °)		
	Aucun changement significatif P=0,289	G.I1 : - 0,18° G.I2 : - 0,46°	
	Longueur du fascicule musculaire (en cm)		
	Aucun changement significatif P=0,406	G.I1 : + 0,91cm G.I2 : + 0,95 cm	

Tableau 15: Résumé des résultats et de l'effet du NHE programme sur l'architecture musculaire

4. Discussion

4.1. Analyse des principaux résultats

4.1.1. La force musculaire des IJ

Mjølnes et al. 2004 ont voulu démontrer l'effet du NHE sur les différentes forces musculaires comparativement à un exercice concentrique, le *Hamstring curl*. Ils furent les premiers à établir un programme d'entraînement NHE qui a été repris ensuite par d'autres.

D'après cette étude, il semblerait que le NHE soit plus efficace qu'un exercice concentrique dans le gain de force excentrique des IJ. Effectivement, avec un intervalle de confiance à 95% de 25Nm (15,75 à 34,25), on observe une différence moyenne statistiquement significative du couple de force des IJ en faveur du groupe NHE, de taille importante et connue avec précision. Le couple de force excentrique maximal dans le NHE groupe a augmenté de 11%, alors qu'on note aucun changement dans le groupe contrôle.

Les athlètes ayant participé à cette étude ont un taux de conformité de 96%, qui signifie une adhérence importante au traitement.

Cette étude ayant une qualité méthodologique avec un score PEDro à 5/10 présente donc plusieurs limites.

Tout d'abord, les critères d'éligibilité ne sont pas justifiés. Même s'il s'agit de joueurs professionnels, on ne connaît pas leurs antécédents de blessures dans les derniers mois pré randomisation. Sur une population de 22 joueurs, il suffit de deux ou trois joueurs avec des capacités diminuées pour que les résultats soient faussés.

De plus, les groupes n'étaient pas similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostics les plus importants ce qui peut engendrer des différences importantes entre les groupes suite à la répartition aléatoire. Ajouté au biais de sélection des sujets, l'assignation secrète n'a pas été respectée ce qui engendre un risque potentiel que la décision de l'inclusion du sujet par le thérapeute dans l'essai soit influencée par la connaissance du fait qu'il recevra le traitement ou non. D'ailleurs, l'auteur donne seulement le delta du changement entre les groupes et les valeurs pré post test du groupe NHE et non celle du groupe contrôle. Ajouté au biais de sélection des sujets, cela peut laisser entendre que le groupe contrôle pouvait avoir une différence moyenne du couple de force différente de celle du groupe NHE. Il y a donc possibilité que les effets soient surestimés.

On retrouve un biais d'évaluation présent dans toutes les études de cette revue. Les sujets et les thérapeutes ne sont pas « en aveugles ». Dans ce cas, les athlètes des deux groupes pratiquent un exercice de renforcement, sans avoir à connaître l'intérêt d'un exercice par rapport à un autre. Enfin on note l'existence d'un biais d'attrition, également présent dans toute les études, puisque les perdus de vue n'ont pas été analysés « en intention de traiter » concernant la force musculaire et les autres critères de jugement.

Ishoi et al. 2018 ont repris le protocole d'entraînement de Mjølnes et al. 2004 à l'identique mais sur des athlètes amateurs. Le but de leur travail est de montrer qu'un potentiel gain de force excentrique des IJ induit des effets positifs sur les performances au sprint chez les joueurs de football et de ce fait diminue le risque d'incidence des LMA. Le critère de jugement principal de cette étude est la capacité au sprint (la force musculaire étant secondaire). D'après leurs résultats, le G.I. a une augmentation significative à la fois du couple de force musculaire max des IJ $d=0,92$ (effet élevé) et de la capacité de résistance musculaire $d=0,95$ (effet élevé) par rapport au G.C. L'endurance à la fatigue n'est pas significative ($p=0,363$). Suite à 10 semaines d'entraînements NHE, les athlètes au sein du G.I. ont vu augmenter leur capacité excentrique via le couple de force maximal (+19,2%) et la capacité de résistance musculaire (+17,4%).

On retrouve donc des résultats similaires à l'étude de Mjølnes et al. 2004 suite au même programme d'entraînement NHE.

Si l'on se réfère à l'estimation des moyennes des résultats et aux intervalles de confiance à 95% de l'ECC-Phs 66,7 (8,82 à 124,58) et ECC-CAPhs 770 (7,73 à 1532) le gain de force dans le G.I. est bien significatif (pas < 0 qui signifierait un résultat non significatif).

Cependant ces intervalles sont larges et donc peu précis. En pratique il est probable que l'effet réel soit peu important (bornes inférieures proches de 0 : 8,82 et 7,63).

On note des différences entre les groupes en ce qui concerne les valeurs. Les valeurs moyennes lors du post-T dans le G.I. sont équivalentes à celle du G.C. en pre-T, ce qui peut fausser les résultats, et l'interprétation de ces derniers.

La qualité méthodologique de cette étude est de 6/10 soit la valeur la plus élevée présente dans notre revue. Au-delà du biais d'évaluation, les mesures n'ayant pas été réalisées en aveugle, et du biais d'attrition, on retrouve un biais de suivi. Seulement 70% des athlètes randomisés sont analysés. Cette fluctuation de population entre les deux tests à laquelle s'ajoute la compliance au traitement de 60% (avec peu de joueurs au-dessus de 70%) obligent à prendre du recul sur l'interprétation des résultats.

Sebelien et al. 2014 ont adapté le protocole de Mjølnes et al. 2004 sur 5 semaines d'entraînement. Le but de leur étude est de comparer un programme NHE combiné à un entraînement traditionnel à un entraînement traditionnel seul sur la force des IJ et quadriceps, la vitesse de sprint, et le nombre de blessure aux IJ chez les joueurs semi-professionnels. Entre les T1 et T3, on remarque dans les deux groupes une diminution du couple de force max excentrique et du travail total. La différence moyenne entre les groupes au T3 était déjà présente lors de T1. Les données sont plus dispersées dans le groupe contrôle. D'où l'imprécision des résultats qui constitue un biais de résultat.

Concernant la différence au sein des groupes, les intervalles de confiance n'étant pas interprétables, je me suis basé sur le facteur d pour l'estimation. Au sein du G.I. le programme a un effet modéré ($d=0,529$; $p=0,16$), tandis que dans le groupe contrôle l'effet faible ($d=0,025$; $p=0,020$).

L'auteur émet l'hypothèse suivante : la diminution de la force entre les deux tests est due au fait que les joueurs n'ont pas fourni un effort maximal pendant les tests de force. Certains d'entre eux ayant ressenti des DOMS à la fin du premier test, et afin d'éviter que cette douleur se reproduise, ils n'ont pas fourni un effort maximal lors des sessions suivantes.

Les groupes n'étaient pas similaires en début d'étude. Le G.I. présentait davantage de facteurs de risque de LMA, notamment l'âge plus avancé et le plus grand nombre de blessures antérieures. Cette variabilité des caractéristiques intergroupe représente un biais important et pourrait remettre en cause les résultats.

L'absence d'assignation secrète peut également contribuer au fait que les résultats soient non significatifs. Certains participants ont pu souhaiter faire partie d'un groupe différent de celui auquel ils ont été assignés au hasard, ce qui pouvait être l'objet d'une baisse de motivation lors des séances d'entraînements ou lors des protocoles de test.

Le suivi des joueurs représente un biais important dans cette étude. Seulement 22,7% des athlètes présents lors de T1 ont été analysés lors de T3. De plus, parmi ces 22,7%, l'auteur ne communique pas la conformité au traitement. Un taux de conformité faible se traduirait par une mauvaise adoption du NHE. En plus, l'auteur indique avoir exclu le reste des joueurs pour manque de présence aux entraînements, sans donner une valeur ou un nombre d'entraînements moyen par semaine, par mois ou total sur la période entre les deux tests.

Iga et al. 2012 ont pour objectif d'examiner les effets de l'entraînement du NHE sur la force des IJ, lors d'actions excentriques à plusieurs vitesses. Les athlètes inclus dans l'étude ont suivi 4 semaines d'entraînement.

Au sein du G.I., le couple de force max excentrique a augmenté significativement de 21% en moyenne pour les deux jambes et à toutes vitesses évaluées ($p<0,05$) alors qu'on note une augmentation moyenne de 4% pour le groupe contrôle ($p>0,05$).

Les différences intergroupes moyennes sont situées entre 9 et 15 pour la NDOM, 11 et 20 pour la DOM sur la population étudiée.

	Différence moyenne	IC a 95%
DOM 60°/s	11	(-28,16% à 50,16%)
DOM 120°/s	13	(-25,54% à 51,54%)
DOM 240°/s	20	(-21,80% à 61,80%)
NDOM 60°/s	10	(-23,92% à 43,92%)
NDOM 120°/s	9	(-22,49% à 40,49%)
NDOM 240°/s	15	(-16,69% à 46,69%)

Le traitement permet d'obtenir des gains similaires dans le couple de force maximal des deux membres et ces changements sont indépendants de la vitesse d'évaluation. Cependant si l'on se réfère à l'estimation de l'effet via les intervalles de confiance on ne peut conclure sur le fait que l'entraînement NHE a un effet significatif important sur le couple de force maximal excentrique. Même si l'intervalle est en plus grande partie favorable (valeur absolue des bornes supérieures IC > valeur absolue des bornes inférieures) au traitement ce qui signifie la possibilité de l'existence de l'effet, on se retrouve avec des valeurs négatives qui équivalent à une possible absence d'effet réel.

Cette étude a une qualité méthodologique de 5/10. Elle possède un biais de suivis important, l'auteur ne donne aucune information sur le nombre d'athlètes randomisés. On ne connaît donc pas le nombre de joueurs sortis avant la fin de l'étude (ont été perdus de vue).

Tout comme l'étude de Sebelien et al., nous ne connaissons pas le taux de compliance au traitement. On distingue également le biais de sélection sans l'assignation secrète des joueurs ainsi que le biais d'évaluation par la non mise en aveugle des athlètes et des thérapeutes.

Lovell et al. 2016 ont pour objectif de comparer l'impact d'un programme NHE de prévention des blessures aux IJ administrés avant ou après les séances d'entraînement de football. Les résultats ne sont pas présentés dans des tableaux comme dans les autres études. L'auteur donne seulement le changement du couple de force max et un intervalle de confiance pour les deux groupes d'intervention. Il n'y a pas de différence notable entre les deux groupes d'intervention. On obtient une augmentation du couple de force max de 11,9% IC (3,6% à 20,9%) pour le groupe NHEav et une augmentation de 11,6% IC (2,6% à 21,5%) pour NHEap. Il y a donc un effet statistiquement positif du traitement dans les groupes d'interventions.

Cependant nous ne pouvons conclure sur ces résultats car il n'y a aucun renseignement sur les résultats du groupe contrôle. De plus, même si les intervalles de confiance sont peu larges, il se pourrait que l'effet réel soit peu significatif au vu des bornes inférieures qui sont proches de 0 (3,6% et 2,6%).

L'estimation ponctuelle du couple de force moyen est plus importante que pour le couple de force max. On note une augmentation de 13,3% IC (8,2% à 18,6%) pour NHEav et 20,9% (14,7% à 27,5%) pour NHEap alors que l'on retrouve une diminution de 0,7 (-6,4% à 5,3%) dans le groupe contrôle. Le niveau de confiance de ces intervalles est seulement de 90%, ce qui engendre une réduction de largeur de l'intervalle de confiance. Néanmoins, la probabilité que la valeur représentant l'effet réel soit dans l'intervalle est diminué. Un risque plus important est donc encouru.

Cette étude a le niveau de preuve le plus bas avec une qualité méthodologique de 3/10.

Le biais d'évaluation est important dans cette étude, de part la non mise en aveugle des athlètes et du thérapeute, mais aussi celle des examinateurs. Ceci implique que les examinateurs pourraient être capables de distinguer si chaque sujet fait ou ne fait pas le programme. Ils pourraient donc biaiser les résultats.

Il existe également un biais de sélection à ne pas négliger. La répartition des joueurs au sein des groupes n'a pas respecté une assignation secrète, et ces groupes n'étaient pas similaires en début d'étude.

Seulement 71% des joueurs randomisés ont été analysé, et le taux de conformité est en moyenne de 41% pour les deux groupes d'intervention soit le plus faible taux des études incluses dans notre étude.

Le but de **Medeiros et al. 2020** est d'examiner les différences entre la réalisation du NHE une ou deux fois par semaine sur la force excentrique des IJ et d'autres facteurs de risque de LMA chez les joueurs de football de haut niveau.

Dans cette étude la différence entre les groupes est calculée à partir de deux groupes d'intervention, et non pas par un G.I. et un G.C. Ceci induit un biais car on ne peut pas comparer le groupe traité à un groupe qui ne diffère de ce dernier que par le traitement reçu. Néanmoins, les deux G.I. ont pratiqué le NHE de manière différente, un groupe une fois par semaine et un autre deux fois par semaine.

Même si les deux groupes sont similaires en début d'étude, la force excentrique diffère entre les groupes. Pour le G.I2, la force post-T équivaut à celle du G.I1 en pré-T. L'intervalle de confiance n'est pas applicable pour l'estimation. L'auteur a donc utilisé une covariable ajustée ($=0,37$), qui signifie qu'il existe un effet faible de l'intervention entre les deux groupes.

Il ne semble pas y avoir de différence significative pré/post test du couple de force excentrique du premier groupe d'intervention (G.I1 : 1,57Nm IC à 95% (-24,63 à 27,77)) alors que la pratique du programme NHE 2 fois par semaine semble apporter une plus-value significative en terme de force excentrique des IJ (G.I2 : 18,91Nm IC à 95% (-7,39 à 45,21)).

En termes de pourcentage, le deuxième groupe d'intervention a eu une augmentation du couple de force max de 11,41 % (13,19) ($P=0,015$).

La force a augmenté de 19Nm dans cet échantillon. L'effet réel peut être largement significatif jusqu'à 45 Nm. L'intervalle est en plus grande partie favorable au traitement (valeur absolue des bornes supérieures IC > valeur absolue des bornes inférieures) ce qui signifie la possibilité de l'existence de l'effet. Cependant on se retrouve avec des valeurs négatives qui équivalent à une possible absence d'effet réel (-7,39 Nm). L'intervalle de confiance est large ce qui engendre des résultats peu précis et donc un effet potentiellement absent.

On peut conclure qu'un programme suivi 2 fois par semaine engendre un gain significatif (effet faible) de la force excentrique des IJ.

Néanmoins, cette étude comporte quelques biais :

- les biais d'évaluation par la non mise en aveugle des athlètes et thérapeutes ;
- tous les joueurs analysés ont une compliance au traitement de 100% ;
- le biais de suivis car 59% des personnes randomisées sont analysées. Les perdus de vue (41 autres %) n'ont pas été mis « en intention de traiter ».

Parmi les 6 études traitant du couple de force max des IJ, 5 d'entre elles ont des résultats similaires. Le gain de force excentrique dans le groupe d'intervention varie entre 11% et 21% suite au programme NHE. Ces résultats sont similaires à des essais quasi randomisés chez les footballeurs (de qualité de preuve inférieure) [62],[63] et des ECR de qualité méthodique moyenne chez des volontaires physiquement actifs [64],[65].

Seuls les athlètes de l'étude de Sebelien et al.2014 et du G.I1 de Medeiros et al. 2020 n'ont pas vu leur couple de force augmenté. Dans l'étude de Sebelien et al. 2014 la force a même diminué. Ceci peut être expliqué par les 10 mois séparant les deux tests. Presland et al. 2018 [66] ont évalué la force excentrique musculaire chez 20 athlètes à la fin d'un programme NHE établi sur 6 semaines, puis après 4 semaines de repos. D'après leurs résultats, il semblerait que la force excentrique ait diminué suite à 4 semaines de repos [66]. La période de 10 mois entre les 2 tests pourrait donc justifier la diminution de la force excentrique dans l'étude de Sebelien et al. 2014.

Dans l'étude de Medeiros et al. 2020, ce changement de force non significatif du G.I1 peut montrer qu'il faudrait exercer ce programme au minimum 2 fois par semaine pour avoir une augmentation significative de la force excentrique.

Suite à cette analyse on peut se questionner sur le volume de travail idéal pour promouvoir une augmentation la force excentrique des IJ.

La durée du programme dans les études de notre présente revue varie de 4 à 12 semaines.

Les études de Mjølnes et al. 2004, Ishoi et al. 2018 et Lovell et al. 2016 ont un volume total de plus de 700 répétitions, soit une moyenne supérieure à 65 reps/semaine. Mis à part l'étude de Medeiros qui montre un large effet significatif du programme NHE, il en ressort un effet modéré dans les deux autres études. Ces deux études ne diffèrent pas significativement avec les résultats d'Iga et al., pour qui, les athlètes ont un volume total de 160 reps soit une moyenne de 40

reps/semaine. L'explication peut venir soit de la faible compliance au traitement chez Ishoi et al. et Lovell et al. qui diminuerait la puissance des résultats, soit d'un volume de répétition moins important qui aurait le même effet qu'un programme a haut volume. Deux ECR de qualité méthodique moyenne faites sur une population d'athlètes actifs vont dans ce sens [66], [67].

4 semaines de programme intensif semblent avoir un effet sur la force excentrique d'athlètes de haut niveau chez Iga et al. 2012 alors qu'un programme exercé qu'une fois par semaine sur 8 semaines ne provoque aucun changement significatif. Le nombre important de biais ne nous permet donc pas d'émettre de conclusion sur un volume de travail optimal pour augmenter la force musculaire. On peut toutefois émettre une hypothèse préconisant une démarche progressive qui privilégierait l'intensité plutôt qu'un haut volume de travail.

4.1.2. Ratio IJecc/Qcon:

Pour tous les groupes, la force du quadriceps est dépendante de l'entraînement collectif, des séances collectives de musculation et des matchs puisqu'aucun entraînement supplémentaire autre que le programme NHE n'a été introduit dans le planning. Les athlètes dans l'étude de Medeiros et al. 2020 effectuent 2 à 3 séances de musculation en plus par semaine. Des entraînements de force, d'endurance sont ajoutés aux entraînements dans l'étude de Mjølnes et al. 2004, tandis qu'aucun entraînement supplémentaire n'est indiqué chez Sebelien et al. 2014.

D'après les résultats, la force concentrique du quadriceps reste stable, ne varie pas significativement dans et entre les groupes. Ainsi le ratio IJecc/Qcon est défini majoritairement par la variation de la force excentrique des IJ.

Dans l'étude de **Mjølnes et al.**, le ratio a augmenté significativement de 0,11 (IC à 95% (0,07 à 0,15)) en faveur du groupe d'intervention. Il existe une différence moyenne statistiquement significative entre les deux groupes, de taille importante et connue avec précision.

Au sein du groupe intervention, le programme est bénéfique. Il en résulte une augmentation du ratio de l'ordre de 10,11% (Ic à 95% (7,09% à 13,13%)). Si on applique cet échantillon à la population, le ratio augmente significativement dans le G.I. alors qu'aucun changement n'est apparu dans le G.C. (P=0,07). Ces résultats sont en adéquation avec les gains de force excentrique retrouvés dans cette étude. Un programme NHE sur 10 semaines augmente significativement (effet large) le ratio IJecc/Qcon. Bien évidemment les biais cités dans la partie précédente sont applicables à ces résultats et modèrent notre analyse.

L'étude de **Sebelien et al.**, ne montre aucun changement significatif du ratio, entre les deux groupes ainsi que dans chacun des deux groupes. Les valeurs moyennes sont inférieures dans le G.I. par rapport au G.C. en pré et post test.

Au sein du groupe d'intervention le ratio a diminué de 0,02 pour le PT et de 0,06 pour le TW. Au mieux, il pourrait y avoir une augmentation de 0,07 qui pourrait avoir un intérêt pratique.

La différence inter-groupe est en faveur du groupe contrôle. Les intervalles de confiance sont en plus grande partie défavorable au traitement (valeur absolue des bornes inférieures IC > valeur absolue des bornes supérieures) ce qui signifierait la possibilité d'absence de l'effet. On se retrouve donc avec des valeurs négatives qui équivalent à une absence d'effet réel du programme.

La force excentrique des IJ n'ayant pas augmenté durant les 10 mois entre les 2 tests, il ne peut pas y avoir de modification significative du ratio. Dans cette étude il est difficile de recommander l'utilisation de ce programme.

Dans l'étude de **Medeiros et al.**, le ratio a augmenté de 0,03 IC à 95% (-0,06 à 0,12) en faveur du deuxième groupe d'intervention. Tout comme l'étude de Sebelien, le groupe d'intervention (G.I2) a une moyenne du ratio inférieure par rapport au groupe contrôle (Ici G.I1 est considéré comme contrôle). Il faut donc être très précis car les différences sont au centième prêt.

On peut se poser la question suivante : est-ce que l'augmentation du ratio est due au programme, ou à d'autres éléments permettant de rattraper la différence de ratio initialement inférieur dans le G.I2.. La différence moyenne du G.I1 ne s'est pas modifiée, alors qu'une augmentation de 10,64% IC (-3,4% à 17,88%) est retrouvée dans le G.I2. L'estimation ponctuelle de 10,64% démontre un intérêt du programme d'entraînement dans l'augmentation du ratio. Même si la valeur réelle du gain peut être non significative d'après l'interprétation des intervalles de confiance (de -3,4% à 0%), l'intervalle est en plus grande partie favorable au traitement (pratiqué 2 fois par semaine) avec une augmentation proche de 18% dans le meilleur des cas.

Les 3 études utilisent le dynamomètre isocinetique de la marque BIODEX. On peut donc se fier aux valeurs sans se soucier de savoir si l'on peut extrapoler les valeurs d'une machine à une autre. Les mesures sont réalisées à une vitesse de 60°/s pour les 3 études. Mjølnes et al. 2004 et Sebelien et al. 2014 prennent cette mesure sur la jambe droite alors que Medeiros et al. 2020 sur la jambe gauche.

Il s'agit donc de ratios unilatéraux qu'il faut différencier des ratios bilatéraux. Un ratio unilatéral faible serait source de lésion de l'IJ alors qu'un ratio bilatéral avec une asymétrie bilatérale des IJ serait un facteur de risque de lésion du muscle le plus faible [4], [55].

Le ratio a augmenté de 10% dans l'étude de Mjølnes et al. 2004 et Medeiros et al. 2020 alors qu'il n'a pas changé significativement chez les athlètes de Sebelien et al. 2014.

D'après la littérature, il ne se dégage pas de seuils définissant « les normes » chez le footballeur de haut niveau dans la détection d'un déséquilibre musculaire [20]. Toutefois, Croisier et al. 2008 ont examiné l'association entre le ratio IJ/Q et les LMA des IJ. Ceci a révélé que les déséquilibres de force non corrigés en présaison chez les footballeurs, qui comprenaient une valeur inférieure à 0,98-1,05, étaient associés à une fréquence plus élevée de lésions aux IJ par rapport aux athlètes sans déséquilibre [55]

Dans notre revue seuls les joueurs du groupe NHE de l'étude de Mjølnes et al. 2004 ont un ratio de 0,98, tandis que les joueurs de l'étude de Sebelien et al. 2014 et Medeiros et al. 2020 ont respectivement un ratio entre 0,72-0,80 et 0,73-0,79 en post test.

Même si les athlètes de Mjølnes et al. 2004 en pré test ont un ratio supérieur aux autres études en post test, le programme semble avoir un effet important sur le groupe NHE dans cette étude. Les valeurs du ratio en post test dans l'étude de Medeiros sont bien inférieures à 0,98.

Le G.I2 a une augmentation du ratio de 10% et une différence moyenne intergroupe significative (effet modéré). Si l'on se réfère aux analyses de Croisier et al. 2008, l'augmentation n'atteint pas un ratio suffisamment important pour dire que le programme est efficace dans la diminution des lésions aux IJ. On peut donc supposer que le NHE pratiqué deux fois par semaine est efficace pour augmenter le ratio IJecc/Qcon (effet modéré) mais est-il suffisamment efficace pour diminuer l'incidence de ces lésions ? D'autres études sur le ratio IJecc/Qcon, méthodologiquement bien menées, sont nécessaires pour confirmer l'efficacité du programme NHE dans la prévention des lésions des IJ.

4.1.3. Angle du couple de pointe :

Les résultats ne montrent aucun changement significatif de l'angle de couple de pointe suite à l'intervention. Il n'a été enregistré aucun changement statistiquement significatif au sein des

groupes, ainsi qu'aucune différence entre les groupes. Les nombreux biais précédemment cités peuvent fausser les résultats. Le fait que dans l'étude de Lovell et al. la compliance au traitement n'est que de 41% peut atténuer l'effet de l'intervention sur ce paramètre. La compliance n'étant pas donnée dans l'étude d'Iga et al., on peut supposer qu'elle soit basse également.

Bien que le couple de force excentrique max ait été amélioré par le programme NHE dans ces deux études, nous n'avons observé aucun changement significatif dans l'angle de couple de pointe. Nos résultats sont en contraste avec d'autres données issues de la littérature [35], [68] qui ont analysé ce critère suite à un entraînement excentrique. Cependant ces résultats ont été évalués lors de contractions concentriques. Bien que nos résultats soient tributaires des nombreux biais précédemment évoqués, la possibilité de l'adaptation de l'angle de couple de force max suite au programme NHE mérite des études plus approfondies. Par conséquent, des études supplémentaires avec moins de biais, un échantillon plus grand est nécessaire pour examiner les effets du programme NHE sur la relation longueur/tension des IJ lorsqu'ils sont évalués pendant des contractions excentriques.

Même si l'angle du couple de force n'a pas diminué, plusieurs de nos études reportent que sur la fin du programme les joueurs étaient capables d'arrêter le mouvement descendant. Ils pouvaient tenir la position du NHE avec les genoux de plus en plus tendus. Cet effet est retrouvé dans l'étude de Lovell et al. 2016 notamment où les deux groupes NHE ont une augmentation (probablement faible à modéré) du couple de force moyen des IJ par rapport au groupe contrôle dans les 30 premiers degrés de flexion. On retrouve cet effet chez Mjølnes et al. 2004 qui ont calculé la force isométrique des IJ à 30° de flexion et cette dernière a augmenté significativement de 7% soit 15N IC à 95% (6,99N à 23,01N) dans le groupe NHE. Lorsque le joueur atteint un niveau supérieur, les caractéristiques de l'exercice semble reproduire la situation typique de blessure : une action musculaire excentrique avec des forces élevées proche de l'extension complète du genou.

4.1.4. Activation musculaire

D'après les travaux d'Iga et al., les IJ des deux membres semblent être engagés de la même manière lors du NHE, car aucune différence significative et observée entre les membres et ce, à toute vitesses d'évaluation. De plus l'interaction entre la région musculaire (IJ médiaux et latéraux) et la position articulaire du genou sur l'activité musculaire des IJ et également non significative ($p=0,18$). Alors que l'on retrouve un effet significatif de l'activité musculaire selon la position articulaire du genou. En effet l'activité musculaire semble être plus élevée dans le secteur 60-31° (que ce soit la NDOM ou DOM, IJ médiaux ou latéraux). L'activation musculaire diminue lors de la phase terminale du NHE (30-0°), elle reste quand même significativement plus élevée que lors de la phase initiale de l'exercice (90-61°). Les données ne sont récoltées qu'une seule fois, l'auteur ne précise pas si cela a été fait en début ou fin du programme. Ces dernières auraient pu varier ou non entre le début et la fin du programme.

Dans l'étude de Lovell et al. 2016 l'activation du BF a augmenté significativement dans les deux G.I. par rapport au G.C. Les augmentations les plus importantes sont observées entre 30 et 0° de flexion. L'activation musculaire des IJ médiaux est significativement plus importante dans les G.I., les plus grosses augmentations se situent à des longueurs de muscles plus courtes (90 à 45° de flexion de genou). Le BF a une augmentation de l'activation musculaire avec un pourcentage plus élevé par rapport au IJ médiaux ; cependant, nous n'avons pas les valeurs moyennes pre et post test, qui pourrait nous indiquer s'il y avait des différences entre les 2.

Il est difficile de comparer les deux études, même si l'objectif de prévenir les lésions aux IJ à l'aide du NHE est partagé, Iga et al. 2012 l'étudient durant l'application de l'exercice donc immédiatement et Lovell et al. 2016 l'examine après l'application d'un programme NHE donc sur une plus longue durée. De nombreux articles dans la littérature étudient l'activation musculaire des IJ, les résultats sont

hétérogènes et inconstants. Sachant que l'activité musculaire peut être modifiée par de nombreux paramètres anatomiques, du sport pratiqué par l'athlète, très peu d'étude ont pour population des footballeurs et les résultats présents dans la littérature actuelle ne nous permettent pas d'avoir une approche efficace et d'établir des conclusions.

Cependant, une revue de littérature de bonne qualité incluant 550 athlètes [69] suggèrent que les exercices isocinétiques ainsi que le NHE semblent être la meilleure option pour activer le BFLh lors d'action excentrique.

Bourne et al. 2017 ont étudié 10 exercices chez 24 athlètes et ont comparé le niveau d'activation des IJ médiaux ainsi que du BF selon l'exercice. Il en résulte que le niveau d'activation du BF est plus élevé pendant le NHE que pendant la phase excentrique de tout autres exercices [70]. Cependant, il est peu sélectif, il recruterait plus le semi tendineux que le BF, alors que le *hip extension* recruterait majoritairement le BFLh [70]. Bourne et al. ont conclu sur le fait que les exercices orientés sur un mouvement de hanche recruseraient plus le BFLh alors que les exercices orientés sur le genou cibleraient plus les IJ médiaux [70].

Il est important de connaître l'activation des différents muscles synergiques lors d'un exercice, pour cibler un muscle déficitaire, ou un muscle ayant subi une blessure. Le NHE semble activer le BFLH de manière importante même s'il n'est pas forcément sélectif, ce qui lui confère un rôle important à jouer lors de la prévention d'une blessure. L'activation musculaire est un facteur d'autant plus important à prendre en compte dans la prévention secondaire, c'est à dire suite à une blessure, lors de la rééducation, pour retrouver une activation du BFLh ou des IJ médiaux.

4.1.5. Architecture musculaire

Les résultats de l'étude de **Lovell et al. 2016** sont difficilement interprétables. En effet le groupe NHEav a eu une augmentation de la longueur du fascicule musculaire de 1,58 cm IC (0,48 cm à 2,68 cm), alors qu'aucun résultat significatif n'est identifié pour l'angle de pénétration +1,03° IC (-0,08° à 2,14°) et pour l'épaisseur musculaire -0,7 cm IC (-0,17 cm à 0,03 cm). A la différence du groupe NHEap, on note une augmentation de l'épaisseur musculaire 0,17 cm IC à 90% (0,05 cm à 0,29 cm) et une diminution de l'angle de pénétration -1,47° IC (-2,37° à -0,58°) dans le groupe NHEap alors qu'aucun changement de la longueur du fascicule -0,29 IC (-1,70 cm à 1,11 cm) n'est constaté.

Cette différence de résultat peut être justifiée par la compliance au traitement. On retrouve une compliance de 34,7% pour le NHEav et de 46,8% pour le NHEap. De plus l'auteur ne donne que le delta du changement entre les deux tests, en non pas les valeurs moyennes de chaque groupe à chaque test. On ne peut donc savoir si les valeurs étaient similaires au début de l'étude, et donc savoir si un des groupes avait un déficit d'un des critères ce qui constituerait un biais de sélection et donc fausserait les résultats.

Dans l'étude de **Medeiros et al. 2020**, la pratique du NHE une fois ou deux fois par semaine a augmenté l'épaisseur du BFLh (G.I1 : 0,11cm IC à 95% (-0,04 cm à 0,26 cm) ; G.I2 : 0,11cm (-0,07 cm à 0,29 cm)) sans aucune différence entre les groupes (P=0,864).

La longueur du fascicule a également augmenté dans les deux groupes (G.I1 : 0,91cm (-0,93 à 2,74) ; G.I2 : 0,95cm (-0,88 à 2,78)), sans aucune différence entre les groupes (P=0,406).

Pour ces deux critères, l'estimation ponctuelle montre bien un effet positif (effet faible à modéré) du programme NHE. Cependant ces résultats sont peu précis du fait d'une longueur des intervalles importante. Les intervalles de confiance sont en très grande partie favorable au traitement ce qui renforce la possibilité de l'existence d'effet. La valeur réelle dans une population pratiquant le NHE 2 fois par semaine peut atteindre jusqu'à un gain d'épaisseur musculaire de 0,29 cm et de longueur du fascicule de 2,74 cm. Cependant l'absence d'un effet réel est probable autant pour l'épaisseur du BFLh (-0,04 cm pour G.I1 et -0,07 cm pour G.I2) que pour la longueur du fascicule (-0,93 cm pour G.I1 et -0,88 cm pour G.I2). Il est donc possible que le traitement soit efficace sur ces deux critères, suffisamment efficace pour être mis en pratique.

L'angle de Pennation du BFLH n'a pas changé significativement dans les deux groupes (G.I1 : -0,18 (-2,98° à 2,62°) ; G.I2 : -0,46° (-3,17° à 2,25°)). Aucune différence entre les groupes n'a été trouvée pour l'angle de pennation (P=0,289).

Ce changement évoqué dans l'étude de Medeiros et al. 2020 est retrouvé dans des ECR de qualité méthodique moyenne chez des athlètes [66], [71]. Il a été proposé que cette augmentation de la longueur du fascicule serait due à une augmentation du nombre de sarcomere en série. Elle réduirait l'allongement excessif de chaque sarcomère pendant l'exercice excentrique [72].

Cette évidence a un impact possible sur la prévention des blessures des IJ car ces dernières diminuent la longueur du fascicule et augmentent ainsi le risque de récurrence [31].

L'essentiel voir la quasi-totalité des études sur l'architecture musculaire analysent l'impact du NHE sur le BFLH car c'est le muscle le plus souvent blessé. Cependant, dans la partie « activation musculaire » nous avons vu que le NHE active fortement le BFLH mais pas sélectivement par rapport aux IJ médiaux. Il faudrait donc comparer les différences de l'architecture sur l'ensemble des IJ.

Une étude interventionnel prospective compare l'impact du sprint et du NHE sur l'architecture musculaire de footballeur [73]. Les auteurs suggèrent que le sprint aurait un impact plus important que le NHE dans le gain de longueur du fascicule. Même si ces résultats ne nous intéressent pas il serait pertinent de mener des ECR pour comparer l'impact du NHE, avec d'autres exercices : préventifs tel que le sprint vu dans l'étude de Mendiguchia et al.2020 [73] ou avec des exercices qui activent plus sélectivement le BFLH comme le Hip Extension.

4.2. Applicabilité des résultats en pratique clinique

Plusieurs facteurs sont à prendre en compte pour déterminer si les résultats sont applicables en pratique clinique. Ces facteurs sont :

- La taille de l'effet appréciée par rapport à la population concernée ;
- le contexte dans lequel l'intervention est réalisée ;
- l'impact du comparateur et la pertinence des CDJ choisis ;
- le rapport cout/efficacité, les contraintes de l'exercice et la balance bénéfique/risque.

4.2.1. La population

Suite à la randomisation, 291 athlètes ont été inclus dans notre revue avec des études composées de 119 à 23 athlètes. Parmi ces 291 athlètes seulement 155 (+/- 4 selon les critères de jugement) ont été analysés, ce qui correspond à 53 % (+/-2%) de la population initialement randomisée. Ce n'est pas très élevé et cela pourrait représenter un risque de fluctuation d'échantillonnage, quand on sait que les LMA aux IJ représentent 12% des blessures chez les footballeurs. On note entre 9 et 17 athlètes dans les groupes d'interventions, ce qui ne représente même pas un groupe total pour une équipe de football (environ 25 joueurs) et n'est donc pas représentatif de la population globale des footballeurs. Il est important de prendre en considération ces biais.

D'autres études, qui analysent l'incidence et la gravité des LMA aux IJ suite au programme NHE, ont des échantillons de plus grande taille et plus représentatifs de la population [52], [74]. Une des raisons qui pourrait justifier les faibles échantillons des études incluses dans notre revue est la difficulté à mettre en place un suivi, une évaluation pour une plus grande population via les tests isocinetique et écho graphique par manque de moyens, de temps. Des études avec un plus grand échantillon augmenteraient la puissance des tests et permettraient d'avoir des conclusions statistiques plus précises et donc plus fiables.

Concernant le niveau de pratique des joueurs, 2 études analysent les joueurs professionnels, on retrouve des amateurs dans 2 études et des semi-professionnels dans 3 études. Aucune différence significative des résultats nous permet de dire que l'entraînement NHE a un impact plus important selon le niveau des athlètes. On note quelques différences dans la mise en place de l'intervention entre les niveaux notamment avec un taux de compliance au traitement plus faible chez les amateurs.

4.2.2. Traitement et son comparateur

Le traitement utilisé dans cette étude est le NHE sous forme de programme de renforcement. Il est important de voir quel est le comparateur utilisé pour pouvoir déterminer l'efficacité du programme. Dans ce contexte, le placebo n'est pas réalisable, le repos non plus car les joueurs suivent un rythme de pratique hebdomadaire. La non intégration de programme supplémentaire semble donc être le comparateur le plus intéressant.

Ishoi et al. 2018 et Iga et al. 2012 compare le programme NHE à une séance d'entraînement classique (comprenant le warm up + l'entraînement) et montrent des résultats significatifs (effets faibles à modérés) en faveur du renforcement.

Mjolnes et al. 2004 confrontent ce programme excentrique à un programme concentrique incluant le *hamstring curl*. Il ressort des résultats significatifs (effets élevés) en faveur du NHE.

Lovell et al. 2016 étudient l'efficacité du programme NHE par rapport à un programme de core stability. Les résultats ont des effets significatifs (effets faibles à modérés) en faveur du NHE.

Sebelien et al. 2014 apprécie le programme NHE par rapport à des exercices d'étirement des IJ. Les résultats sont peu significatifs.

Pour finir, Medeiros et al. confrontent la pratique du programme une ou deux fois par semaine. Un problème dans cette étude, est que l'on ne peut pas déterminer l'impact réel de la force des IJ, et de l'architecture musculaire. En effet ces CDJ ne sont pas comparés à « l'absence d'ajout d'entraînement spécifique des IJ ». Cependant on peut dire si la pratique deux fois par semaine est plus efficace (effets faibles à modérés).

Les séances de NHE ont été mis en place selon un protocole bien défini. Mjolnes et al. sont les pionniers d'un entraînement sur plusieurs semaines. Sur les 10 semaines de l'intervention, le nombre de sessions, le nombre de séries et de répétitions ont augmentées crescendo. Ishoi et al. ont repris le programme de Mjolnes et al. à l'identique ; Sebelien et al., Iga et al. l'ont adapté en diminuant le volume de travail sur 5 et 4 semaines respectivement. Tandis que Lovell et al. ont fait un programme ressemblant sur 12 semaines. Les athlètes de l'étude de Medeiros et al ont suivis un programme une ou deux fois par semaine.

Quatre des six études (Sebelien et al., Iga et al., Lovell et al., Medeiros et al.), ont réalisé le programme en période de pré-saison, tandis que Ishoi et al. ont mis en place le protocole lors de la deuxième partie de saison. Aucune information à ce sujet n'est donnée par Mjolnes et al.

La période de pré-saison est un élément essentiel dans la saison. C'est le socle de base pour une saison réussie. C'est une période charnière où les athlètes développent leurs capacités physiques et optimisent leur performance. Elle intervient aussi dans la prévention des blessures et la récupération.

Aucune différence statistique n'est retrouvée entre les études ayant intégrées le programme en pré-saison et les autres.

Même si aucun programme spécifique des IJ autre que le NHE n'a été ajouté dans les séances ; les entraînements généraux, les matchs amicaux, les séances de musculation peuvent modifier nos paramètres étudiés dans cette revue et donc minimiser les effets du programme NHE. Les courses à hautes vitesses (> a 80% de vitesse maximale) par exemple sont prépondérantes dans la pratique du football en match ou à l'entraînement. Elles sont bien souvent ajoutées à une séance d'entraînement sous forme de « blocs spécifiques » et de nombreux préparateurs physique ou entraîneurs les

intègrent dans la préparation physique d'avant saison. Ces courses à hautes vitesses auraient un effet positif et significatif sur la force excentrique des IJ [75] ainsi que sur la longueur du fascicule du BF1h [73], [76].

Comme nous l'avons souligné, la conformité en termes d'application de l'intervention est faible. A noter que la conformité à l'entraînement a été enregistrée comme le nombre de séance de NHE achevée et non sur la base du volume d'entraînement effectué, ne reflétant donc qu'une estimation du travail NHE effectué.

Dans cette revue, Lovell et al., Ishoi et al., ont reporté un faible taux d'observance qui respectivement n'atteint que 41% et 60%. Toutes les études n'ont pas reporté le taux de compliance. Pourtant cela pourrait être une cause potentielle pour les études qui démontre une plus faible efficacité du programme, comparé à l'étude de Mjølnes et al. qui montre un niveau d'efficacité élevé du traitement avec un taux de compliance de 96%.

Une possible raison pour laquelle les athlètes n'ont pas une observance au programme élevée ou pour laquelle les entraîneurs n'impose pas le NHE est le niveau élevé de DOMS ressenti suite à ce travail excentrique. Mjølnes et al., ont identifié cette douleur musculaire lors des 4 premières semaines du programme à l'aide d'une échelle visuelle analogique qui rapporte la douleur entre 0 et 10. Les scores ne dépassaient pas 5/10, attribuant la douleur musculaire à des niveaux de douleur faible à modéré. Cette identification de la douleur musculaire aurait pu être mis en place dans les études où les athlètes sont amateurs. Ça aurait permis de montrer un impact plus important de la douleur musculaire sur la compliance. Dans l'étude de Sebelien et al. 2014 les auteurs émettent une hypothèse comme quoi les athlètes n'ont pas fournis un effort maximal lors des tests, car ils auraient ressenti des DOMs après le premier test, et ne voulaient pas que ça ne se reproduise. Cependant on peut interpréter indirectement l'effet des DOMs chez les amateurs, car le taux de compliance est faible dans les études où les athlètes sont amateurs (Lovell et al., Ishoi et al.) alors qu'elle est plus élevée dans les études où l'on a des professionnels, semi-professionnels (Mjølnes et al., Medeiros et al.)

Des facteurs autres que les DOMS peuvent interférer sur la compliance au traitement. Notamment les joueurs amateurs ont d'autres impératifs que le sport avec une vie professionnelle à côté qui peut justifier certaines absences. Quant aux athlètes professionnels, ils ont plus de temps pour améliorer leur capacité musculaire, faire des exercices de prévention. Leur corps est un véritable « outil de travail ». Il pourrait donc être nécessaire de prévoir une période plus ou moins longue avant toute intervention pour permettre une augmentation progressive de l'exposition à l'exercice et ainsi diminuer la survenue de DOMS. Medeiros et al. sont les seuls à préciser que les athlètes ont été exposé au NHE avant la mise en place du programme.

4.2.3. Critères de jugement

Parmi les paramètres anatomo-physiologiques choisis comme critères de jugements, on retrouve la force excentrique des IJ, le ratio IJ_{ecc}/Q_{con} , l'angle du couple de force des IJ, l'activation musculaire et l'architecture musculaire. Un déficit d'un ou plusieurs de ces paramètres dans le groupe musculaire des IJ peut être un facteur prédictif d'une future LMA.

La force excentrique des IJ, le ratio et l'angle de couple de pointe sont mesurés à l'aide d'un dynamomètre isocinétique sauf dans l'étude de Ishoi et al. 2018 où la force excentrique est évaluée à l'aide d'un inclinomètre. Le test au dynamomètre isocinétique est valide et fiable. Il est l'outil d'évaluation que l'on retrouve le plus dans la littérature scientifique pour mesurer ces paramètres. L'électromyogramme de surface est l'outil d'évaluation le plus utilisé dans l'évaluation de l'activation musculaire.

Même si l'on sait que l'architecture musculaire peut influencer la production de force maximale et sa transmission avec l'unité musculo-tendineuse, ainsi que la relation entre la force la vitesse de

contraction musculaire et la longueur musculaire. Elle a été ajoutée récemment dans la littérature comme facteur de risque de LMA des IJ. Cependant, la plupart des études de cohorte ont analysé l'architecture musculaire suite à l'apparition de la blessure. Seul l'étude de Timmins et al. 2015 (Timmins et al., 2015) ont fait une étude prospective et on déduit que fascicule musculaires plus courts représente un risque futur de lésions des IJ.

On peut donc se questionner à savoir si le déficit de ces paramètres est une conséquence de la lésion et donc un potentiel risque pour une rechute ou s'il était présent avant la survenue de la blessure, et donc un facteur de risque avant blessure. D'autres recherches doivent être menée pour confirmer l'existence de ce paramètre en tant que facteur de risque.

L'architecture musculaire est évaluée par l'échographie en B mode. Une récente meta-analyse semble montrer que l'échographie en B mode est une méthode fiable pour déterminer de manière non invasive l'architecture des fascicules lors de mouvements impliquant des contractions musculaires volontaires [77].

4.2.4. La balance cout/bénéfice/risque/contrainte et taille de l'effet

La taille d'effet représente un nombre mesurant la force de la relation entre deux variables dans une population statistique, ou une estimation basée sur un échantillon de cette quantité. Les deux variables dans notre revue sont d'une part l'intervention (programme NHE) ou pas de programme/autre et d'autre part l'efficacité sur les PAP dans un but préventif. La population statistique est « les footballeurs » qui est représentée par un échantillon. Les tailles de l'effet suite au programme NHE sont différentes suivant l'étude et les PAP.

L'étude de Mjølnes et al. 2004 a la taille d'effet la plus élevée dans notre revue. Les caractéristiques intéressantes de cette étude sont : premièrement le gain significatif de force excentrique (11%, soit 27Nm \pm 13Nm) et une augmentation du ratio IJecc/Qcon 10,11% (IC à 95% (7,09% à 13,13%) avec une valeur moyenne de 0,98 en post tests obtenus pour des athlètes bien entraînés. Deuxièmement, aucune augmentation des mêmes facteurs n'a été observée en utilisant un programme concentrique, tout au moins intensif que celui utilisé par les athlètes du groupe NHE (25Nm IC (15,75 à 34,25) en faveur du groupe NHE). Le programme sur 10 semaines a eu un effet significatif sur l'amélioration des performances musculaires ainsi que pour prévenir les blessures. Cependant les nombreux biais cités précédemment pourrait engendrer une surestimation de la taille de l'effet.

Dans l'étude de Ishoi et al. 2018 le programme NHE a eu un effet significatif comparé à l'absence de travail supplémentaire. Même si les athlètes ont augmenté leur capacité excentrique via le couple de force maximal et de la capacité de résistance musculaire de 19,2% et 17,4%, la taille de l'effet est moins importante que dans l'étude de Mjølnes en faveur du G.I. du fait de la grande variabilité des IC (l'ECC-Phs 66,7 (8,82 à 124,58) et ECC-CAPhs 770 (7,73 à 1532)). Le programme semble néanmoins avoir un effet significatif dans le gain de force musculaire excentrique (force musculaire excentrique max des IJ $d=0,92$ et de la capacité de résistance musculaire $d=0,95$).

Les gains en couple de force max dans l'étude d'Iga et al., sont apparents à toutes les vitesses d'évaluation. Le G.I. a augmenté son couple de force de 21% en moyenne tandis que le G.C. de 4% ($p<0,05$). Cependant la taille de l'effet est faible par la possible absence d'effet positif du programme NHE. L'indépendance des adaptations de l'entraînement par rapport à la vitesse de l'exercice est cohérente avec d'autres rapports de la littérature [] et suggère que, bien que le NHE soit effectué à une faible vitesse de mouvement, le programme NHE pourrait entraîner des adaptations qui sont transférables aux mouvements à grande vitesse. Étant donné que les lésions dues à l'over stretching et la contraction excentrique des IJ surviennent principalement lors d'actions à grande vitesse, ces observations pourraient avoir des implications pour la prévention des blessures et la rééducation.

D'après cette étude, l'adaptation à l'entraînement NHE semble en mesure de conférer une protection contre les forces excentrique lors d'actions d'allongement à grande vitesse. D'autres études de qualité méthodique importante doivent être mené pour confirmer le transfert de vitesses entre le NHE et la réalité du terrain.

Étant donné l'association de la force excentrique des IJ, du ratio IJ/Q et de la longueur du fascicule du BFlh, avec le risque futur de blessures, les preuves de l'étude de Medeiros et al. 2020 peuvent souligner l'importance pour les joueurs de football de participer à un minimum de deux séances NHE hebdomadaire pour promouvoir les changements dans la force, et dans la structure musculaire. Toutefois, une seule séance hebdomadaire de NHE semblerait contribuer à la prévention des blessures en modifiant l'architecture musculaire lorsque les équipes ne sont pas en mesure d'appliquer un volume plus important d'entraînement.

En pratique clinique, la comparaison faite par Medeiros ne nous permet pas de déterminer l'impact réel du NHE sur les PAP car il n'est pas comparé à un groupe « sans entraînement supplémentaire des IJ ». Elle nous permet par contre de dire que la pratique du NHE 2 fois par semaine serait en mesure d'augmenter ces facteurs.

Dans l'étude de Sebelien et al. 2014, le programme NHE n'a entraîné qu'un faible effet de programme NHE sur la force excentrique et aucun effet significatif dans le ratio IJ/Q. Il aurait peut-être fallu avoir le T2 pour comparer et voir s'il y avait diminution à la mi-saison également. Suite à une période de 10 mois, le seul paramètre concernant suivis des joueurs est la blessure. Or, si les joueurs ont arrêté la pratique du football un certain temps, ou alors s'ils se sont arrêtés de s'entraîner lors de la période de mi-saison, le « bénéfice » du au programme prescrit en pré-saison peut être perdu. Plusieurs hypothèses peuvent faire suite à ces résultats : on pourrait faire un rappel du programme au cours de l'année pour voir si les résultats en fin d'année soient significatifs. Ou alors, les effets du programme sur le long terme sont peu significatifs.

Dans l'étude de Lovell, les deux groupes d'interventions ont vu leur force excentrique augmentées : le couple de force maximal (NHEav : 11,9% IC (3,6% à 20,9%) ; NHEap : 11,6% IC (2,6% à 21,5%) et le couple de force moyen (NHEav : 13,3% IC (8,2% à 18,6%) et NHEap : 20,9% (14,7% à 27,5%). Seulement le niveau de confiance ici est plus faible, et même si cela permet de réduire les IC, il est plus difficile de savoir si la valeur que l'on recherche est dans l'intervalle. Ceci diminue donc la taille de l'effet et ne nous permet pas de déterminer l'impact réel du programme NHE. Aucun effet n'a été retenu pour l'angle du couple de pointe.

Concernant la balance coût/bénéfice/risque/contrainte cet exercice de renforcement ne représente que très peu de contraintes. Cet exercice peut être réalisé en binôme, sur le terrain, sans matériel supplémentaire. Il peut être utilisé aussi bien dans un milieu amateur, ou il n'y a pas forcément de salle de musculation mis à disposition pour les joueurs, que dans un milieu professionnel. Cet exercice est facilement compréhensible et peut être réalisé directement après explications du kinésithérapeute, d'un préparateur physique ou un coach.

Une erreur possible lors de l'exécution de l'exercice est l'augmentation de la flexion de hanche. Celle-ci doit être dans la même position angulaire du début à la fin du mouvement. De même au lieu de faire une flexion de hanche et garder le bas du rachis gainé et droit, certains joueurs viennent fléchir les lombaires ce qui peut faire diminuer le travail des IJ. Il est donc important qu'une personne capable d'analyser le mouvement corrige les athlètes lors de leurs premières répétitions.

Cet exercice a donc des coûts financier, temporel et matériel pour le thérapeute très peu contraignant. Pour le patient, même s'il n'y a pas de cout financier ni contraintes, cet exercice provoque des effets secondaires, qui ne sont pas à négliger. En effet, le seul risque potentiel est la survenue de DOMs suite à l'exécution de l'exercice. Il est donc primordial d'augmenter l'exposition à l'exercice progressivement lors de la mise en place du programme.

4.3. Qualité de preuve

Nous nous sommes aidés du système GRADE qui est un système de gradation des recommandations pour évaluer la qualité de preuve.

Une revue reposant sur une question relative à l'efficacité d'un traitement, le type de protocole préférentiellement proposé est l'étude contrôlée randomisée. Avec une inclusion d'ECR uniquement, on possède un niveau de qualité de départ élevé. D'autres critères peuvent modifier le niveau de qualité.

Concernant le risque de biais nous avons un score PEDro moyen de 5 pour la force musculaire, 5.3 pour le ratio IJ/Q, 4 pour l'angle du couple de force et l'activation musculaire puis 4.5 pour l'architecture musculaire. Ceci fait diminuer le niveau de qualité. Certaines données ne sont pas assez précises voir absentes dans certaines études, ne permettant pas d'interpréter la force de l'effet. De plus, certains résultats sont hétérogènes selon les critères de jugement. Pour la force et le ratio, seuls les résultats de l'étude de Sebelien ne sont pas en corrélation avec le reste, tandis que les résultats pour l'angle du couple de pointe sont homogènes même s'ils ne sont pas ceux espérés. Les résultats de l'architecture musculaire présentent également une inconstance dans les résultats.

Finalement on se retrouve avec un niveau de qualité modéré concernant l'impact du programme NHE sur la force excentrique des IJ, ainsi que sur le ratio IJ/Q, et un niveau de qualité faible pour l'impact sur l'angle du couple de pointe, l'activation musculaire et l'architecture musculaire.

Niveau de preuve	Mjolnes et al. 2004	Ishoi et al. 2018	Sebelien et al. 2014	Iga et al. 2012	Lovell et al. 2016	Medeiros et al. 2020
Risque de biais Score PEDro	5	6	5	5	3	6
Précision des résultats	IC a 95% P<0,05	IC a 95% Facteur de Cohen (d)	IC a 95%	IC a 95% P<0,05	IC a 90%	IC a 95%
Inconstance	Force : + Ratio : +	Force : +	Force : +/- Ratio : -	Force : + Angle du couple de F : - Activation musculaire : +	Force : + Angle du couple de F : - Activation musculaire : Archi Muscu : +	Force : + Ratio : + Archi Muscu : +

Tableau 16 : Facteurs influençant la cotation de la qualité des preuves

Pour avoir une meilleure qualité, il aurait fallu :

- que athlètes et les thérapeutes soient en aveugle, malheureusement ce n'est pas possible dans ce type d'intervention,
- un meilleur suivi de la population randomisée, et un taux de compliance au traitement plus important,
- mettre les perdus de vue « en intention de traiter », afin que les athlètes randomisés soient suivis jusqu'aux post tests, et que la mesure du bénéfice qu'apporte le programme soit dans des conditions proches de celle de son utilisation dans la pratique courante,
- des échantillons plus importants pour augmenter la puissance de l'effet, pour être plus représentatif de la population totale,

- des données plus précises qui diminueraient la largeur des intervalles de confiance (Ishoi Iga Medeiros), et augmenteraient également la puissance de l'effet.
- un nombre d'étude plus important pour les facteurs de risques secondaires. Le nombre d'étude analysant ces critères sur les footballeurs sont restreintes, ou alors de moins bonnes qualités

4.4. Limites et biais potentiels de la revue

L'échelle de qualité méthodologique AMSTAR-2 (**Annexe**), est utilisée pour coter la validité interne de notre revue de littérature systématique [78].

Critères de cotation	Oui	Non	Impossible de répondre
1. Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?	X		
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 ?		X	
3. Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?	X		
4. Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?	X		
5. Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?		X	
6. Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?		X	
7. Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?	X		
8. Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?	X		
9. Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?	X		
10. Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?	X		
11. Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?			X
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 ?			X
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 ?	X		
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 ?	X		
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 ?			X
16. Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?	X		

Tableau 17 : Grille de l'échelle AMSTAR-2

La qualité de notre revue a pu être impacté par certains biais, certaines limites rencontrées lors de la réalisation de celle-ci. A l'aide de la grille AMSTAR-2 nous pouvons coté la qualité de la revue, nous pouvons apercevoir que les critères ne sont pas tous valides.

La méthode de la revue n'a pas été établie totalement avant le début de l'écriture de la revue. J'ai du effectuer certaines recherches dans la littérature tout au long du mémoire car ma connaissance du sujet au départ était insuffisante. Notamment il a fallu inclure des articles manquants afin de confronter mes résultats par exemple.

De plus, l'introduction a été réalisée tout au long de la revue. Ceci représente un biais dans les études sélectionnées, et les études sur lesquelles je me suis appuyé pour mettre en avant mon sujet. Cependant, j'ai tenté de rester le plus impartial possible pour limiter le spin.

J'ai sélectionné seul les études et fais l'extraction des données. Je n'ai pas pu confronter mon avis ni réduire mes doutes sur le sujet. J'ai trouvé réponse dans la littérature mais étant donnée le nombre important d'articles abordant mon sujet, j'ai dû faire le tri tout seul. Ce travail s'est simplifié au fur et à mesure de l'écriture de la revue même si j'ai mis du temps à identifier la qualité des différentes études sélectionnées.

En ce qui concerne la recherche documentaire j'ai utilisé différentes bases de recherches. Certains articles ne m'étaient pas accessibles de par leur coût et/ou leur accès restreint, et ce même en passant par la barre de recherche de l'université ou par divers moteurs de recherche. Ceci constitue un biais d'identification.

Cette revue contenait moins de 10 articles, le biais de publication n'a pas pu être évalué. Le spin des auteurs a été pris en compte lors de la réalisation de ce travail. Pour limiter ce risque, seulement les résultats ont été retenus et non les conclusions apportées par l'auteur.

Afin d'avoir une revue la plus pertinente possible, j'ai tenté de rester le plus objectif vis à vis des résultats. J'ai également essayé de ne pas être influencé par d'autres études (ECR, méta-analyse, mémoire de fin d'étude) abordant mon sujet. Enfin, aucun conflit d'intérêt n'est à déclarer suite à la réalisation de cette revue.

5. Conclusion

« Quels sont les effets du NHE sur les paramètres anatomo-physiologiques prédictifs de LMA des IJ chez le footballeur ? »

Les objectifs de cette revue étaient d'établir un lien avec la littérature scientifique, sur l'intérêt d'un programme centré uniquement sur le *Nordic Hamstring Exercice* afin de connaître les effets recensés sur les Paramètres Anatomo-Physiologique dans le but de prévenir les lésions myo-aponévrotiques des IJ.

Implication pour la pratique clinique :

Cette revue a une qualité de preuve modérée dans l'augmentation de la force excentrique des IJ et du ratio IJecc/Qcon, et une qualité de preuve faible dans l'angle de couple de pointe, l'activation musculaire et l'architecture musculaire.

Toutes les études ont montré une amélioration de la force excentrique des IJ (effets faibles à élevés). Deux études sur trois mettent en évidence une augmentation du ratio (effets modérés à élevés) tandis qu'aucune des deux études traitant l'angle de couple de pointe ne démontrent un changement de celui-ci. L'une des deux études qui abordait l'architecture musculaire présente des inconstances dans l'épaisseur et la longueur du fascicule et l'angle de pennation dans les deux G.I.. L'autre montre une amélioration de l'épaisseur et de la longueur musculaire dans les deux G.I. (effets faibles à modérés) mais note aucun changement significatif de l'angle de pennation.

L'ensemble des études utilisent un protocole avec un nombre de répétitions qui augmentent progressivement. Il est important que l'athlète soit exposé à cet entraînement de manière progressive pour diminuer l'apparition des DOMs. On note une augmentation de la force excentrique équivalente entre les études dont le programme NHE a un volume de répétitions important (Mjølnes et al., Ishoi et al., Lovell et al.) et les études avec un volume moins important mais plus intensif sur une courte période (Iga et al.; Medeiros et al.). Il faudrait donc préconiser un entraînement en ayant une démarche progressive, privilégiant l'intensité plutôt qu'un gros volume de répétitions.

L'efficacité du NHE dans la prévention de LMA dépend de la conformité à l'entraînement. L'implantation d'un programme supplémentaire peut être difficile selon la période de la saison. Les matchs, les voyages, la conformité de l'entraîneur et même les performances de l'équipe peuvent impacter la conformité au programme. L'avantage du NHE, est qu'il est réalisable facilement, nécessite aucun matériel et peut être exercé n'importe où.

Implication pour la recherche :

Le nombre d'études incluses dans cette revue est peu élevé et le niveau de qualité est modéré à faible. Il semble compliqué d'avoir une confiance élevée dans l'estimation de l'effet. Il est probable qu'on se rapproche du véritable effet du programme NHE sur les PAP, mais il est possible qu'il puisse y avoir des différences par rapport au véritable effet retrouvé dans la population.

On note une augmentation importante du nombre d'études traitant du caractère prédictif du NHE ces dernières années. Néanmoins d'autres études de meilleures qualités méthodologiques et cliniques sont nécessaires pour avoir un niveau de recommandation plus élevé et plus précis pour promouvoir l'intérêt du NHE dans la prévention de lésions des IJ.

Il faudrait réaliser :

- Des ECR plus représentatifs de la population (plus de patients) et de meilleurs qualités méthodologique et clinique.
- Des ECR mettant en relation l'effet du NHE sur les PAP et l'incidence et la gravité de LMA
- Des ECR mettant en relation l'effet du NHE sur les PAP et les capacités musculaire fonctionnelles
- Des études de cohorte supplémentaires pour confirmer l'inclusion de l'architecture musculaire en tant que facteur de risque
- Des ECR pour comparer le NHE à d'autres exercices sur les PAP. Dans le but de confronter le NHE, et voir s'il s'agit de l'exercice le plus efficace.

En conclusion, nous avons observé tout au long de ce mémoire les effets du NHE sur les PAP. Les preuves actuelles ne nous permettent pas de conclure en disant que le NHE est efficace dans la prévention des LMA des IJ. Les lésions des IJ dépendent de facteurs non modifiables principalement, et d'un nombre important de facteurs modifiables. La mise en place d'un seul exercice sur une courte durée (4 à 12 semaines) pourrait modifier ces facteurs de LMA.

La prévention dans le milieu sportif dépend de nombreux paramètres et ne se réduit pas qu'à un programme de prévention. Cependant ce dernier semble

Bibliographie :

- [1] Valérius, *Les muscle: Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur*. 2013.
- [2] P Edouard, *Notions fondamentales sur la physiologie et la mécanique de la contraction musculaire*. Elsevier Masson SAS, 2016.
- [3] M. S. et B. T.N, "Le muscle squelettique," pp. 11–13, 2010.
- [4] D A Opar, Williams, and A. J. Shield, "Hamstring strain injuries: Factors that Lead to injury and re-Injury," *Sport. Med.*, vol. 42, no. 3, pp. 209–226, 2012, doi: 10.2165/11594800-000000000-00000.
- [5] P KAMINA, *Anatomie clinique*, 3ème édit. KAMINA, 2007.
- [6] M Dufour, *Anatomie de l'appareil locomoteur, Tome 1: Membre inférieur*, 3ème édit. 2015.
- [7] J Afonso *et al*, "The Hamstrings: Anatomic and Physiologic Variations and Their Potential Relationships With Injury Risk," *Front. Physiol.*, vol. 12, no. July, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3389/fphys.2021.694604.
- [8] S Huygaerts *et al*, "Does Muscle–Tendon Unit Structure Predispose to Hamstring Strain Injury During Running? A Critical Review," *Sports Medicine*, vol. 51, no. 2. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 215–224, Feb. 01, 2021, doi: 10.1007/s40279-020-01385-7.
- [9] JM Linklater, B Hamilton, J Carmichael, J Orchard, and DG Wood, "Hamstring injuries: Anatomy, imaging, and intervention," *Semin. Musculoskelet. Radiol.*, vol. 14, no. 2, pp. 131–161, 2010, doi: 10.1055/s-0030-1253157.
- [10] S Jonhagen, G Nemeth, E Eriksson, and S Jonhagen, "Amplitude and timing of electromyographic activity during sprinting," *J Med Sri Sport.*, vol. 6, pp. 15–21, 1996.
- [11] KB Fields, OJ Bloom, D Priebe, and B Foreman, "Basic Biomechanics of the Lower Extremity," *Prim. Care Clin. Off. Pract.*, vol. 32, no. 1, pp. 245–251, Mar. 2005, doi: 10.1016/j.pop.2004.11.006.
- [12] P Lacouture, F Colloud, A Decatoire, and T Monnet, "Étude Biomécanique De La Course," *Encycl. Médico-chirurgicale, Trait. Podol.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–20, 2013, [Online]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00357573>.
- [13] B Yu, RM Queen, AN Abbey, Y Liu, CT Moorman, and WE Garrett, "Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting," *J. Biomech.*, vol. 41, no. 15, pp. 3121–3126, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.jbiomech.2008.09.005.
- [14] AG Schache, TW Dorn, PD Blanch, NA Brown, and MG Pandy, "Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 44, no. 4, pp. 647–658, 2012, doi: 10.1249/MSS.0b013e318236a3d2.
- [15] A Higashihara, Y Nagano, T Ono, and T Fukubayashi, "Differences in activation properties of the hamstring muscles during overground sprinting," *Gait Posture*, vol. 42, no. 3, pp. 360–364, 2015, doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.07.002.
- [16] "Les Origines Du Biomimétisme," 2016, [Online]. Available: <https://www.ladn.eu/tendance/le-biomimetisme/la-source-la-nature-un-modele-millenaire/>.
- [17] J Ekstrand, M Häggglund, and M Waldén, "Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer)," *Am. J. Sports Med.*, vol. 39, no. 6, pp. 1226–1232, 2011, doi: 10.1177/0363546510395879.
- [18] J Wilke, L Hespanhol, and M Behrens, "Is It All About the Fascia? A Systematic Review and Meta-analysis of the Prevalence of Extramuscular Connective Tissue Lesions in Muscle Strain Injury,"

Orthopaedic Journal of Sports Medicine, vol. 7, no. 12. SAGE Publications Ltd, Dec. 01, 2019, doi: 10.1177/2325967119888500.

- [19] C Woods, RD Hawkins, S Maltby, M Hulse, A Thomas, and A Hodson, "The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football - Analysis of hamstring injuries," *Br. J. Sports Med.*, vol. 38, no. 1, pp. 36–41, Feb. 2004, doi: 10.1136/bjism.2002.002352.
- [20] P Rochcongar *et al.*, "Étude épidémiologique du risque traumatique des footballeurs français de haut niveau," *Sci. Sports*, vol. 19, no. 2, pp. 63–68, Apr. 2004, doi: 10.1016/j.scispo.2003.12.003.
- [21] AMC Anne-Marie van Beijsterveldt, JH Stubbe, SL Schmikli, IGL Van De Port, and FJG Backx, "Differences in injury risk and characteristics between Dutch amateur and professional soccer players," *J. Sci. Med. Sport*, vol. 18, no. 2, pp. 145–149, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jsams.2014.02.004.
- [22] J Ekstrand, M Waldén, and M Häggglund, "Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study," doi: 10.1136/bjsports-2015.
- [23] J Ekstrand, JC Healy, M Waldén, JC Lee, B English, and M Häggglund, "Hamstring muscle injuries in professional football: The correlation of MRI findings with return to play," *Br. J. Sports Med.*, vol. 46, no. 2, pp. 112–117, 2012, doi: 10.1136/bjsports-2011-090155.
- [24] MD Crema, A Guermazi, JL Tol, J Niu, B Hamilton, and FW Roemer, "Acute hamstring injury in football players: Association between anatomical location and extent of injury—A large single-center MRI report," *J. Sci. Med. Sport*, vol. 19, no. 4, pp. 317–322, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.jsams.2015.04.005.
- [25] JL Brasseur *et al.*, "Lésions musculaires : l'approche échographique," *J. Radiol. Diagnostique Interv.*, vol. 98, no. 6, pp. 252–266, 2017, doi: 10.1016/j.jradio.2017.09.004.
- [26] AN Turner *et al.*, "Hamstring Strain Prevention in Elite Soccer Players." [Online]. Available: <https://journals.lww.com/nsca-scj>.
- [27] B Green, MN Bourne, N Van Dyk, and T Pizzari, "Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI): A 2020 systematic review and meta-Analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport," *British Journal of Sports Medicine*, vol. 54, no. 18. BMJ Publishing Group, pp. 1081–1088, Sep. 01, 2020, doi: 10.1136/bjsports-2019-100983.
- [28] GM Verrall, JP Slavotinek, PG Barnes, GT Fon, and AJ Spriggins, "Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: A prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging," *Br. J. Sports Med.*, vol. 35, no. 6, pp. 435–439, 2001, doi: 10.1136/bjism.35.6.435.
- [29] RG Timmins, AJ Shield, MD Williams, C Lorenzen, and DA Opar, "Architectural adaptations of muscle to training and injury: A narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness," *British Journal of Sports Medicine*, vol. 50, no. 23. BMJ Publishing Group, pp. 1467–1472, Dec. 01, 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-094881.
- [30] BM Baroni, C. V. Ruas, J. B. Ribeiro-Alvares, and R. S. Pinto, "Hamstring-to-Quadriceps Torque Ratios of Professional Male Soccer Players: A Systematic Review," *J. Strength Cond. Res.*, vol. 34, no. 1, pp. 281–293, Jan. 2020, doi: 10.1519/JSC.0000000000002609.
- [31] DA Opar, MD Williams, RG Timmins, J Hickey, SJ Duhig, and AJ Shield, "Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 47, no. 4, pp. 857–865, Apr. 2015, doi: 10.1249/MSS.0000000000000465.
- [32] RG Timmins, MN Bourne, AJ Shield, MD Williams, C Lorenzen, and DA Opar, "Short biceps

femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study,” doi: 10.1136/bjsports-2015.

- [33] JJ Fyfe, DA Opar, MD Williams, and AJ Shield, “The role of neuromuscular inhibition in hamstring strain injury recurrence,” *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 23, no. 3. pp. 523–530, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.jelekin.2012.12.006.
- [34] A Silder, BC Heiderscheit, DG Thelen, T Enright, and MJ Tuite, “MR observations of long-term musculotendon remodeling following a hamstring strain injury,” *Skeletal Radiol.*, vol. 37, no. 12, pp. 1101–1109, 2008, doi: 10.1007/s00256-008-0546-0.
- [35] CL Brockett, DL Morgan, and U Proske, “Predicting Hamstring Injury in Elite Athletes,” *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 36, no. 3, pp. 379–387, Mar. 2004, doi: 10.1249/01.MSS.0000117165.75832.05.
- [36] N Pollock, SLJ James, JC Lee, and R Chakraverty, “British athletics muscle injury classification: a new grading system,” *Br. J. Sports Med.*, vol. 48, no. 18, pp. 1347–1351, 2014, doi: 10.1136/bjsports-2013-093302.
- [37] X. Valle *et al.*, “Muscle Injuries in Sports: A New Evidence-Informed and Expert Consensus-Based Classification with Clinical Application,” *Sport. Med.*, vol. 47, no. 7, pp. 1241–1253, 2017, doi: 10.1007/s40279-016-0647-1.
- [38] W van Mechelen, H Hlobil, and HCG Kemper, “Incidence, Severity, Aetiology and Prevention of Sports Injuries,” *Sport. Med.*, vol. 14, no. 2, pp. 82–99, Aug. 1992, doi: 10.2165/00007256-199214020-00002.
- [39] C Bolling, W van Mechelen, HR Pasman, and E Verhagen, “Context Matters: Revisiting the First Step of the ‘Sequence of Prevention’ of Sports Injuries,” *Sport. Med.*, vol. 48, no. 10, pp. 2227–2234, Oct. 2018, doi: 10.1007/s40279-018-0953-x.
- [40] JC Tee, SJ McLaren, and B Jones, “Sports Injury Prevention is Complex: We Need to Invest in Better Processes, Not Singular Solutions,” *Sport. Med.*, vol. 50, no. 4, pp. 689–702, Apr. 2020, doi: 10.1007/s40279-019-01232-4.
- [41] F-MARC, “Manuel programme d’échauffement complet pour reduire le taux de blessures.”
- [42] WSA Al Attar, N Soomro, E Pappas, PJ Sinclair, and RH Sanders, “How Effective are F-MARC Injury Prevention Programs for Soccer Players? A Systematic Review and Meta-Analysis,” *Sports Medicine*, vol. 46, no. 2. Springer International Publishing, pp. 205–217, Feb. 01, 2016, doi: 10.1007/s40279-015-0404-x.
- [43] K Thorborg, KK Krommes, E Esteve, MB Clausen, EM Bartels, and MS Rathleff, “Effect of specific exercise-based football injury prevention programmes on the overall injury rate in football: a systematic review and meta-analysis of the FIFA 11 and 11+ programmes,” *Br. J. Sports Med.*, vol. 51, no. 7, pp. 562–571, Apr. 2017, doi: 10.1136/bjsports-2016-097066.
- [44] PC LaStayo, JM Woolf, MD Lewek, L Snyder-Mackler, Trude-Reich, and SL Lindstedt, “Eccentric Muscle Contractions: Their Contribution to Injury, Prevention, Rehabilitation, and Sport,” *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 33, no. 10, pp. 557–571, 2003, doi: 10.2519/jospt.2003.33.10.557.
- [45] SL Lindstedt, PC LaStayo, and TE Reich, “When active muscles lengthen: Properties and consequences of eccentric contractions,” *News Physiol. Sci.*, vol. 16, no. 6, pp. 256–261, 2001, doi: 10.1152/physiologyonline.2001.16.6.256.
- [46] M Roig *et al.*, “The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: A systematic review with meta-analysis,” *British Journal of Sports Medicine*, vol. 43, no. 8. BMJ Publishing Group, pp. 556–568, 2009, doi: 10.1136/bjism.2008.051417.

- [47] J Douglas, S Pearson, A Ross, and M McGuigan, "Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review," *Sports Medicine*, vol. 47, no. 5. Springer International Publishing, pp. 917–941, May 01, 2017, doi: 10.1007/s40279-016-0628-4.
- [48] TJ Suchomel *et al.*, "Implementing eccentric resistance training—Part 1: A brief review of existing methods," *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, vol. 4, no. 2. MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Jun. 24, 2019, doi: 10.3390/jfmk4020038.
- [49] F Molinari, M Knaflitz, P Bonato, and MV Actis, "Electrical manifestations of muscle fatigue during concentric and eccentric isokinetic knee flexion-extension movements," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 53, no. 7, pp. 1309–1316, 2006, doi: 10.1109/TBME.2006.873680.
- [50] TW Ryschon, MD Fowler, RE Wysong, AR Anthony, and RS Balaban, "Efficiency of human skeletal muscle in vivo: Comparison of isometric, concentric, and eccentric muscle action," *J. Appl. Physiol.*, vol. 83, no. 3, pp. 867–874, 1997, doi: 10.1152/jappl.1997.83.3.867.
- [51] AF Vallejo, ET Schroeder, L Zheng, NE Jency, and FR Sattler, "Cardiopulmonary responses to eccentric and concentric resistance exercise in older adults," *Age Ageing*, vol. 35, no. 3, pp. 291–297, 2006, doi: 10.1093/ageing/afj082.
- [52] N van der Horst, DW Smits, J Petersen, EA Goedhart, and FJG Backx, "The preventive effect of the Nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: study protocol for a randomised controlled trial," *Inj. Prev.*, vol. 20, no. 4, Aug. 2014, doi: 10.1136/injuryprev-2013-041092.
- [53] AE Elerian, MM El-Sayyad, and HAA Dorgham, "Effect of Pre-training and Post-training Nordic Exercise on Hamstring Injury Prevention, Recurrence, and Severity in Soccer Players," *Ann. Rehabil. Med.*, vol. 43, no. 4, Aug. 2019, doi: 10.5535/arm.2019.43.4.465.
- [54] E Di Palma, "ISOCINETISME Dossier scientifique," 2009.
- [55] JL Croisier, S Ganteaume, J Binet, M Genty, and JM Ferret, "Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study," *Am. J. Sports Med.*, vol. 36, no. 8, pp. 1469–1475, Aug. 2008, doi: 10.1177/0363546508316764.
- [56] N van Dyk *et al.*, "Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries," *Am. J. Sports Med.*, vol. 44, no. 7, pp. 1789–1795, Jul. 2016, doi: 10.1177/0363546516632526.
- [57] R Mjølunes, A Arnason, T Østhagen, T Raastad, and R Bahr, "Muscle strain injuries in sports - A 10-week randomised trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength in well trained soccer players," *Intersection*, vol. 12, no. 1, pp. 16–22, 2004, doi: 10.1046/j.1600-0838.2003.00367.x.
- [58] L Ishøi, P Hölmich, P Aagaard, K Thorborg, T Bandholm, and A Serner, "Effects of the Nordic Hamstring exercise on sprint capacity in male football players: a randomized controlled trial," *J. Sports Sci.*, vol. 36, no. 14, pp. 1663–1672, Jul. 2018, doi: 10.1080/02640414.2017.1409609.
- [59] C Sebelien *et al.*, "Effects of Implementing Nordic Hamstring Exercises for Semi-professional Soccer Players in Akershus, Norway," 2014.
- [60] J Iga, CS Fruer, MDeighan, MDS Croix, and DVB James, "Nordic hamstrings exercise - Engagement characteristics and training responses," *Int. J. Sports Med.*, vol. 33, no. 12, pp. 1000–1004, 2012, doi: 10.1055/s-0032-1304591.
- [61] R Lovell, M Knox, M Weston, JC Siegler, S Brennan, and PWM Marshall, "Hamstring injury prevention in soccer: Before or after training?," *Scand. J. Med. Sci. Sport.*, vol. 28, no. 2, pp. 658–666, 2016, doi: 10.1111/sms.12925.
- [62] NT de Oliveira, TM Medeiros, KB Vianna, G dos S Oliveira, JB de Araujo Ribeiro-Alvares, and BM Baroni, "a Four-Week Training Program With the Nordic Hamstring Exercise During Preseason

- Increases Eccentric Strength of Male Soccer Players," *Int. J. Sports Phys. Ther.*, vol. 15, no. 4, pp. 571–578, 2020, doi: 10.26603/ijsp20200571.
- [63] KB Vianna, LG Rodrigues, NT Oliveira, JB Ribeiro-Alvares, and BM Baroni, "A preseason training program with the nordic hamstring exercise increases eccentric knee flexor strength and fascicle length in professional female soccer players," *Int. J. Sports Phys. Ther.*, vol. 16, no. 2, pp. 459–467, 2021, doi: 10.26603/001c.19452.
- [64] JB Ribeiro-Alvares, GDS Oliveira, FX De Lima-E-Silva, and BM Baroni, "Eccentric knee flexor strength of professional football players with and without hamstring injury in the prior season," *Eur. J. Sport Sci.*, vol. 21, no. 1, pp. 131–139, Jan. 2021, doi: 10.1080/17461391.2020.1743766.
- [65] E Delahunt, M McGroarty, G De Vito, and M Ditroilo, "Nordic hamstring exercise training alters knee joint kinematics and hamstring activation patterns in young men," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 116, no. 4, pp. 663–672, Apr. 2016, doi: 10.1007/s00421-015-3325-3.
- [66] JD Presland, RG Timmins, MN Bourne, MD Williams, and DA Opar, "The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head architectural adaptation," *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 28, no. 7, pp. 1775–1783, Jul. 2018, doi: 10.1111/sms.13085.
- [67] M Lacome, S Avrillon, Y Cholley, BM Simpson, G Guilhem, and M Buchheit, "Hamstring Eccentric Strengthening Program: Does Training Volume Matter?," *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–90, Jan. 2020, doi: 10.1123/ijsp.2018-0947.
- [68] R Clark, A Bryant, JP Culgan, and B Hartley, "The effects of eccentric hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: A pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries," *Phys. Ther. Sport*, vol. 6, no. 2, pp. 67–73, 2005, doi: 10.1016/j.ptsp.2005.02.003.
- [69] L Llorca-Almuzara *et al.*, "Biceps femoris activation during hamstring strength exercises: A systematic review," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 16, 2021, doi: 10.3390/ijerph18168733.
- [70] MN Bourne, MD Williams, DA Opar, A Al Najjar, GK Kerr, and AJ Shield, "Impact of exercise selection on hamstring muscle activation," *Br. J. Sports Med.*, vol. 51, no. 13, pp. 1021–1028, 2017, doi: 10.1136/bjsports-2015-095739.
- [71] D Alonso-Fernandez, P Docampo-Blanco, and J Martinez-Fernandez, "Changes in muscle architecture of biceps femoris induced by eccentric strength training with nordic hamstring exercise," *Scand. J. Med. Sci. Sport.*, vol. 28, no. 1, pp. 88–94, 2018, doi: 10.1111/sms.12877.
- [72] U Proske and DL Morgan, "Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications," *J. Physiol.*, vol. 537, no. 2, pp. 333–345, Dec. 2001, doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x.
- [73] J Mendiguchia *et al.*, "Sprint versus isolated eccentric training: Comparative effects on hamstring architecture and performance in soccer players," *PLoS One*, vol. 15, no. 2, p. e0228283, Feb. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0228283.
- [74] J Petersen, K Thorborg, MB Nielsen, E Budtz-Jørgensen, and P Hölmich, "Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in Men's soccer: A cluster-randomized controlled trial," *Am. J. Sports Med.*, vol. 39, no. 11, pp. 2296–2303, 2011, doi: 10.1177/0363546511419277.
- [75] BWFreeman, WB Young, SW Talpey, AM Smyth, CL Pane, and TA Carlon, "The effects of sprint training and the Nordic hamstring exercise on eccentric hamstring strength and sprint performance in adolescent athletes," *J. Sports Med. Phys. Fitness*, vol. 59, no. 7, pp. 1119–1125, 2019, doi: 10.23736/S0022-4707.18.08703-0.
- [76] TM McGrath, BT Hulin, N Pickworth, A Clarke, and RG Timmins, "Determinants of hamstring

fascicle length in professional rugby league athletes," *J. Sci. Med. Sport*, vol. 23, no. 5, pp. 524–528, May 2020, doi: 10.1016/j.jsams.2019.12.006.

- [77] X Bas, V Hooren, X Panayiotis Teratsias, and EF Hodson-Tole, "Ultrasound imaging to assess skeletal muscle architecture during movements: a systematic review of methods, reliability, and challenges," *J Appl Physiol*, vol. 128, pp. 978–999, 2020, doi: 10.1152/jappphysiol.00835.2019.-B-mode.
- [78] A Pallot and S Rostagno, "AMSTAR-2: French translation of the methodological quality scale for systematic literature review," *Kinesithérapie*, vol. 21, no. 235, pp. 13–14, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.kine.2019.12.050.

Annexes :

Annexe 1 : Résumé du système de classification Barcelona MLG-R

Annexe 2 : Programme d'entraînement FIFA 11+, d'après les recommandations de la F-MARC

Annexe 3 : Grades des recommandations et niveau de preuve scientifique de bonne pratique

Annexe 4 : Échelle d'évaluation de la qualité méthodologique PEDro

Annexe 5 : Tableaux descriptif complet de chaque article

Annexe 1 : Résumé du système de classification Barcelona MLG-R

Mechanism of injury (M)	Locations of injury (L)	Grading of severity (G)	No. of muscle re-injuries (R)
Hamstring direct injuries			
T (direct)	P Injury located in the proximal third of the muscle belly M Injury located in the middle third of the muscle belly D Injury located in the distal third of the muscle belly	0–3	0: 1st episode 1: 1st re-injury 2: 2nd re-injury ...
Hamstring indirect injuries			
I (indirect) plus sub-index s for stretching type, or sub-index p for sprinting type	P Injury located in the proximal third of the muscle belly. The second letter is a sub-index p or d to describe the injury relation with the proximal or distal MTJ, respectively M Injury located in the middle third of the muscle belly, plus the corresponding sub-index D Injury located in the distal third of the muscle belly, plus the corresponding sub-index	0–3	0: 1st episode 1: 1st re-injury 2: 2nd re-injury ...
Negative MRI injuries (location is pain related)			
N plus sub-index s for indirect injuries stretching type, or sub-index p for sprinting type	N p Proximal third injury N m Middle third injury N d Distal third injury	0–3	0: 1st episode 1: 1st re-injury 2: 2nd re-injury ...
Grading of injury severity			
0	When codifying indirect injuries with clinical suspicion but negative MRI, a grade 0 injury is codified. In these cases, the second letter describes the pain locations in the muscle belly		
1	Hyperintense muscle fiber edema without intramuscular hemorrhage or architectural distortion (fiber architecture and pennation angle preserved). Edema pattern: interstitial hyperintensity with feathery distribution on FSPD or T2 FSE+ STIR images		
2	Hyperintense muscle fiber and/or peritendon edema with minor muscle fiber architectural distortion (fiber blurring and/or pennation angle distortion) ± minor intermuscular hemorrhage, but no quantifiable gap between fibers. Edema pattern, same as for grade 1		
3	Any quantifiable gap between fibers in craniocaudal or axial planes. Hyperintense focal defect with partial retraction of muscle fibers ± intermuscular hemorrhage. The gap between fibers at the injury's maximal area in an axial plane of the affected muscle belly should be documented. The exact % CSA should be documented as a sub-index to the grade		
r	When codifying an intra-tendon injury or an injury affecting the MTJ or intramuscular tendon showing disruption/retraction or loss of tension exist (gap), a superscript (r) should be added to the grade		
<small>CSA cross-sectional area, FSE fast spin echo, FSPD fat saturated proton density, MRI magnetic resonance imaging, MTJ myotendinous junction, STIR short tau inversion recovery</small>			

Annexe 3 : Grades des recommandations et niveau de preuve scientifique de bonne pratique

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins.
	Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Annexe 4 : Échelle d'évaluation de la qualité méthodologique PEDro

Échelle PEDro – Français

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

Annexe 5 : Tableaux descriptif complet de chaque article

Mjølnes et al. 2004	
Population	<p><u>Sujet randomisés</u> : 23 joueurs : 10 professionnels du club de première division (stabaek football) + 13 semi-professionnels évoluant de la 2ème à la 4ème division norvégienne.</p> <p>Critère d'inclusion : 0</p> <p>Critère d'exclusion : les joueurs ne présentaient pas d'antécédents de LMA des IJ qui n'étaient pas complètement rétablis au début de l'étude.</p> <p>Les sujets ont réalisés le pré-test puis ont été aléatoirement répartis dans les deux groupes</p> <p><u>Exclus de l'analyse</u> : 1 sujet suite entorse à la cheville</p> <p><u>Analyse</u> : 21 joueurs ; G.I. = 11 ; G.C. = 10</p>
Intervention	<p>G.I. : NHE : 10 semaines (27 sessions) 1ère semaine : 1 session (S), 2 x 5 reps ; 2ème : 2 S, 2 x 6 reps ; 3ème : 3 S, 3 x 6-8 reps ; 4ème : 3 S, 3 x 8-10 reps ; 5ème- 10ème : 3 S, 3 sets, 12-10-8 reps.</p> <p>G.C. : Hamstring curl : 10 semaines 27 sessions 1ère semaine : 10 RM ; 2ème : 2 S, 2 x 6 reps ; 3ème : 3 S, 3 x 6-8 reps ; 4ème : 3 S, 3 x 8-10 reps ; 5ème- 10ème : 3 S, 3 x 8-12 reps.</p> <p>Parmi les sujets analysés, sur les 27 sessions le groupe NHE a complété $24,4 \pm 1,4$ sessions soit 96% de participation, alors que le groupe HC s'est entraîné $22,4 \pm 2,7$ fois soit 89%. Il n'y a pas de différence autre entre les autres entraînements. (Football, force, endurance)</p>
Résultats	<p>Aucun changement n'a été constaté dans les tests de force des IJ pour le groupe HC, tandis que le groupe NH a montré des améliorations significatives dans tous les tests de force des IJ.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le couple de force excentrique maximal a augmenté de 11%, passant de 240 v 12Nm au pré-test à 267 ± 13Nm au post-test - La force isométrique maximale mesurée a <p>90° a augmenté de 7 %, passant de 108 +/- 5Nm au pré-test à 116 +/- 7Nm au post-test. 60° a également augmenter de 7% (pré-test: 186 ± 6Nm vs. Post-tes : 199 ± 8Nm) 30° de flexion du genou (pré-test : 219 ± 7Nm vs. Post-test : 234 ± 9Nm)</p> <p>Ratio IJ/Q :</p> <ul style="list-style-type: none"> - G.I. : Le ratio IJ/Q a augmenté de $0,89 \pm 0,04$ au pré-test à $0,98 \pm 0,05$ au post-test - G.C. Il n'y a pas eu de changement (pré-test: $0,88 \pm 0,03$Nm vs. Post-test : $0,87 \pm 0,04$Nm)
Conclusion de l'auteur	<p>Sur une période d'entraînement de 10 semaines, le NHE est plus efficace que le Hamstring curl pour développer la force excentrique maximale des IJ, le ratio de force IJ/Q et la force isométrique des IJ. Ainsi, le NHE peut à son tour réduire le risque de subir une LMA des IJ</p>

Ishoï et al. 2018

Population	<p>35 joueurs amateurs de 2 équipes de 4^{ème} division de la région de Copenhague</p> <p>Critères d'inclusion : Les joueurs de football masculins participant à l'entraînement d'une équipe complète, âgés de 17 à 35 ans. Pas de douleurs IJ depuis deux mois, pas de blessures MI depuis 6 mois</p> <p>Critères d'exclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tout entraînement de force excentrique des IJ ou tout entraînement spécifique systématique de performance de sprint > 1 session/semaine au cours des 2 mois précédant le début de l'étude ; - Douleur des IJ entraînant une absence de jeu au football au cours des 2 mois précédant le début de l'étude ; - Toute blessure de longue durée (> 6 semaines) des membres inférieurs au cours des 6 mois précédant le début de l'étude. <p><u>Après la randomisation et le 1^{er} test</u> : 35 joueurs : G.I. = 18 ; G.C. = 17</p> <p><u>Exclus de l'analyse</u> :</p> <p>G.I. : 2 joueurs ont raté le 2^{ème} test ; 3 pour blessure (entorse de cheville, douleur lombaire, et blessure à l'aine) ; 2 se sont retirés de l'étude.</p> <p>G.C. : 2 pour blessures (LMA IJ, LMA quadriceps) 1 a été transféré.</p> <p><u>Analyse</u> : 25 joueurs : G.I. = 11 ; G.C. = 14</p> <p><u>Recueil des résultats</u> : En raison d'erreurs techniques liées au dispositif de test des IJ et entraînant des données manquantes, 20 joueurs (G.I. = 10, G.C. = 10) ont été analysés.</p> <p>G.I. : âge :19,1 (1,8) ans ; taille : 180,7 (7,3) m ; poids : 76,2 (11,19) kg</p> <p>G.C. : âge :19,4 (2,1) ans ; taille : 180,7 (6,5) m ; poids : 77,0 (8,7) kg</p>
Intervention	<p>→ Réalisée dans la seconde et dernière partie de la saison (mars à juin 2016)</p> <p>→ Tous les joueurs avaient trois séances d'entraînement de football (environ 5 à 7 heures d'entraînement) et un match par semaine.</p> <p>→ Réalisés à la suite de l'entraînement</p> <p>G.I. : Entraînement + NHE programme sur 10 semaines 27 sessions</p> <p>Même protocole que <i>Mjølnes et al.</i> : 1^{ère} semaine : 1 session (S), 2 x 5 reps ; 2^{ème} : 2 S, 2 x 6 reps ; 3^{ème} : 3 S, 3 x 6-8 reps ; 4^{ème} : 3 S, 3 x 8-10 reps ; 5^{ème}- 10^{ème} : 3 S, 3 sets, 12-10-8 reps.</p> <p>G.C. : Entraînement</p> <p>Les deux groupes ont reçu pour instruction de ne pas changer de régime d'entraînement pendant la période d'intervention. Il s'agissait d'éviter tout ajout d'entraînement spécifique de sprint ou de renforcement excentrique des IJ.</p>
Résultats	<p>L'endurance excentrique des IJ a été évaluée en termes de capacité de force excentrique des IJ (ECC-Phs ; ECC-CAPhs) et de résistance à la fatigue (SFRhs).</p> <ul style="list-style-type: none"> - ECC-Phs qui est le couple de force excentrique maximal des IJ. - L'ECC-CAPhs a été définie comme la somme totale de la force maximale enregistrée dans chacune des répétitions effectuées. - La SFRhs a été définie comme le taux moyen de diminution de la force maximale par répétition de la première à la quinzième répétition.
Conclusion de l'auteur	

Sebelien et al. 2014

Population	<p>142 semi-professionnels de 10 équipes de 3ème et 4ème division de Norvège</p> <p>Cirière d'exclusion : LMA aux IJ actuellement ou dans les 6 derniers mois, ou Tout autres blessures qui rendent incapables de poursuivre le NHE ou leurs exercices d'échauffement, ou s'ils étaient incapables de poursuivre les entraînements ou les matchs de football pendant une période de deux semaines</p> <p>142 joueurs ont participé à cette étude (G.I. = 72, G.C. = 70).</p> <p><u>Exclus de l'étude</u> : 23 abandons : 11 joueurs ont décidé d'arrêter de jouer au football et 12 joueurs n'ont pas été en mesure de continuer pour des raisons scolaires ou professionnelles.</p> <p>Ce qui fait un total de 119 joueurs : G.I.= 60 (20-36 ans), G.C.= 59 (18-29 ans)</p> <p><u>Analyse</u> : seuls 27 (22,7 %) ont participé aux tests d'avant et de mi- saison (les autres ont été exclus de l'analyse car ils n'ont pas assisté aux séances d'entraînement en raison de blessures non liées à l'étude, de responsabilités scolaires et professionnelles, du refus de se rendre en voiture à la séance de test ou à la demande de l'entraîneur).</p> <p><u>Recueil des résultats</u> : 27 joueurs : G.I. = 16, G.C. = 11</p> <p>Le G.I. présentait davantage de facteurs de risque de LMA des IJ, notamment un âge plus avancé et un plus grand nombre de blessures antérieures.</p>
Intervention	<p>NHE programme : 5 semaines (12 sessions)</p> <p>→ Début de saison</p> <p>→ Les participants ont été testés 3 fois tout au long de l'étude : un pré-test en décembre, un re-test en avril (avant le début des matchs de compétition) et un test final en août (avant le début de la seconde moitié de la saison).</p> <p>G.I. : Warm up + NHE programme + entraînement :</p> <p>1ère semaine : 1 session (S), 2 x 5 reps ; 2ème : 2 S, 2 x 6 reps ; 3ème : 3 S, 3 x 6-8 reps ; 4ème : 3 S, 3 x 8-12 reps ; 5ème : 3 S, 3 x 8-12 reps</p> <p>G.C. : Warm up + stretching + entraînement</p> <p>Les deux groupes se sont entraînés 3 fois par semaine pendant la présaison et 2 fois par semaine pendant la saison de football.</p>
Résultats	<p>En raison du nombre limité de participants à la 2ème session de test, seules les données de la première (T1) et de la dernière (T3) sessions de test ont été utilisées pour l'analyse des données.</p> <p>Le meilleur des 3 essais a été utilisé pour analyser le couple de force maximal (PT), et la somme des 3 essais a été utilisée pour déterminer le travail total (TW).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le pic de force excentrique des IJ a diminué <p>Travail total (TW) a diminué pour le G.C. (T1 = 485,9 Nm, T3 = 439,5 Nm) ainsi que dans le G.I. (T1 = 510,6, Nm T3 = 460,6 Nm)</p> <p>Couple de force maximal (PT) : G.C. (T1 = 189,7 Nm ; T3 = 187,0 Nm) et G.I. (T1 = 150,4 Nm ; T3 = 147,7 Nm)</p> <ul style="list-style-type: none"> - La force isométrique des IJ : aucun changement statistiquement significatif n'a été observé entre les groupes ou au sein de ceux-ci. Toutes les valeurs de la force isométrique (à 20°,40°,60°) ont diminué dans les deux groupes entre T1 et T3, à l'exception de la flexion du genou à 20° dans le G.I., qui a légèrement augmenté de 138,0 Nm à 139,9 Nm. - Le ratio IJ/Q (IJecc/Qcon) n'a pas changé de manière significative entre les groupes ou au sein d'un même groupe pendant la durée de l'étude <p>G.C. (PT : T1= 0,80 Nm T3= 0,80 Nm) (TW : T1=0,88 Nm T3= 0,88 Nm)</p> <p>G.I. (PT : T1= 0,74 Nm T3= 0,72 Nm) (TW : T1=0,87 Nm T3= 0,81 Nm)</p>

**Conclusion
de l'auteur**

Aucun changement significatif dans la force n'a été trouvé entre le groupe de contrôle (utilisant un entraînement traditionnel) et un groupe d'intervention (utilisant le NHE), parmi des joueurs de football semi-professionnels. Le groupe contrôle et le groupe NHE ont connu une baisse significative du travail excentrique total de la musculature des ischio-jambiers. Ces résultats peuvent être le reflet des protocoles d'entraînement et de test. L'incorporation du protocole NHE dans les séances d'entraînement régulières peut donc être efficace ou non pour réduire le nombre LMA aux IJ chez les joueurs de football. Sur la base des résultats de cette étude, il est recommandé de poursuivre les recherches avec un plan de recherche plus rigoureux.

Iga et al. 2012

Population	<p>18 joueurs professionnels évoluant en Angleterre.</p> <p>Critère d'inclusion : Tous les participants n'avaient subi aucune blessure musculo-ligamentaire au niveau des genoux dans les 6 mois précédant les études et n'avaient aucune expérience d'un entraînement systématique des IJ par résistance excentrique.</p> <p>Il n'y avait aucune différence significative dans les caractéristiques physiques entre les groupes avant l'intervention de formation. (age: $22,9 \pm 3,6$ans ; taille: $1,81 \pm 0,08$m ; poids: $78,0 \pm 9,7$ kg)</p> <p>18 joueurs analysés: G.I.= 10 G.C.= 8</p>
Intervention	<p>NHE 4 semaines 9 sessions</p> <p>→ A la pré-saison → entre warm up et entraînement</p> <p>G.I. : Warm up – NHE programme - entraînement 1ère semaine : 1session 2 x 5 reps ; 2ème : 2 S 2 x 6 reps ; 3ème : 3 S 3 x 6 reps ; 4ème : 3 S 3 x 8 reps G.C. : Warm up- entraînement</p>
Résultats	<p>Des effets d'interaction significatifs ont été observés pour le couple de force max excentrique IJ des deux membres pour toutes les vitesses d'évaluation entre le pre et le post-test mais aussi entre les groupes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 60 °/s DOM pré-test : 115 ± 42 Nm post test : 132 ± 43 Nm NDOM pré-test : 99 ± 30 Nm post test : 119 ± 37 Nm - 120 °/s DOM pré-test : 121 ± 45 Nm post test : 134 ± 42 Nm NDOM pré-test : 105 ± 32 Nm post test : 119 ± 33 Nm - 240 °/s DOM pré-test : 121 ± 43 Nm post test : 130 ± 42 Nm NDOM pré-test : 102 ± 34 Nm post test : 122 ± 32 Nm <p>Le couple de force excentrique maximal des IJ s'est amélioré jusqu'à 21 % dans le G.I., il n'y a eu aucun changement dans le G.C. (environ 4 %). Pour le G.I., aucun effet d'interaction entre les 2 tests et le MI sur le couple excentrique maximal des IJ n'a été observé pour toutes les vitesses d'évaluation (60°/s, $F_{1, 18} = 0,20$, $P = 0,66$; 120°/s, $F_{1, 18} = 0,026$ $P = 0,88$; 240°/s, $F_{1, 18} = 2,48$, $P = 0,13$) Les effets d'interaction par groupe sur l'angle du couple maximal n'étaient pas significatifs.</p> <p>Il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif pour le groupe par le temps par la vitesse sur le travail effectué pendant le segment final de la NHE ($F_{1, 18} = 1,19$, $P = 0,34$). Cependant, il y avait un effet principal significatif pour le groupe x vitesse ($F_{1, 18} = 6,46$, $P = 0,01$) et la vitesse ($F_{1, 18} = 4,77$, $P = 0,02$), le travail effectué par les groupes d'entraînement augmentant avec la vitesse dans une plus grande mesure que le groupe témoin. Non Aucun autre effet principal n'a été trouvé, mais le % de changement dans le travail effectué avant et après l'intervention de formation était de 0 % pour toutes les vitesses dans le groupe témoin et de 16 %, 9 % et 7 % respectivement (60°/s, 120°/s, 240°/s) pour le groupe de formation</p>

Conclusion de l'auteur	<p>En résumé, nos données indiquent que 1) les ischio-jambiers des deux membres sont engagés comparativement lors du NHE et l'activité musculaire reste élevée pendant les phases ultérieures de cet exercice, ce qui suggère que le NHE peut modifier la performance musculaire dans des positions potentiellement blessantes ; et 2) des gains significatifs du couple de force maximal excentrique des ischio-jambiers sont apparents après 4 semaines d'entraînement NHE. Les gains de couple de force maximal sont comparables entre les membres et se manifestent même à des vitesses d'évaluation élevées malgré la faible vitesse d'entraînement. Ces adaptations peuvent augmenter la quantité de force que les ischio-jambiers peuvent supporter lorsqu'ils sont soumis à un étirement forcé, atténuant ainsi le risque de lésions dues à l'effort.</p>

Lovell et al. 2016

<p>Population</p>	<p>42 joueurs amateurs qui jouent en universitaire à Sydney. Issu de 5 équipes (Age : 23.6 ± 4.7 ans ; taille: 178.1 ± 5.9 cm; poids: 77.4 ± 11.4 kg) Critère d'inclusion : Les joueurs qui ont participé à l'étude ne présentaient aucune blessure musculo-squelettique depuis les 6 derniers mois</p> <p><u>Après la randomisation et le 1er test</u> : 42 joueurs : NHEav: 14 ; NHEap: 16 ; G.C. : 12 <u>Exclus de l'étude</u> : 1 joueur exclus suite à une blessure du MI, 4 joueurs indisponible pour le post test, 1 a arrêté le football, et 1 a déménagé. <u>Analyse</u> : 25 joueurs : NHEav : 10 ; NHEap: 14 ; G.C. : 11 <u>Recueil des résultats</u> : 25 joueurs : NHEav: 9-10 ; (1 exclus de l'analyse musculaire du a une blessure au MI) NHEap: 12-14 ; (1 exclus de l'analyse musculaire du a un problème avec le dynamometre + un joueur bléssé au MI) G.C. : 10-11 (1 exclus de l'analyse échographique du a un problème avec l'ultrason)</p> <p>Les joueurs ont régulièrement participé à un match et deux entrainements par semaines</p>
<p>Intervention</p>	<p>NHE 12 semaines 23 sessions : →L'étude a été menée en cours de saison, entre les mois de juin et août de l'hiver australien.</p> <p>G.I.1 : NHEav : avant entraînement G.I.2 : NHEap : après entraînement</p> <p>1ère semaine : 1 session, 2 x 5 reps ; 2ème : 2 S, 3 x 5 reps ; 3ème : 2 S, 3 x 6 reps ; 4ème : 2 S, 4 x 6 reps ; 5-6ème : 2 S, 4 x 7 reps ; 7-8ème : 2 S, 4 x 8 reps ; 9-10ème : 2 S, 4 x 7 reps ; 11ème : 2 S, 4 x 10 reps ; 12ème : 2 S, 4 x 12 rep</p> <p>G.C. : core stability exercice : 1ère semaine : 1 session, 3 x 20 secondes (s) ; 2-4ème : 2 S, 3 x 25 s ; 3ème : 2 S, 3 x 6 reps ; 5-7ème : 2 S, 3 x 30 s ; 8-9ème : 2 S, 4 x 8 reps ; 10-12ème : 2 S, 3 x 40 s</p>
<p>Résultats</p>	<p>Les changements du couple maximal excentrique des IJ étaient plus importants chez les G.I. par rapport au G.C., aucune différence n'étant notée entre les NHEav et les NHEap. - NHEav (+11,9 % ; 3,6 % à 20,9 %) ; NHEap (+11,6 % ; 2,6 % à 21,5 %)</p> <p>Il n'y a pas eu de changement (G.C. : $\Delta -1,4 \pm 6,5^\circ$; NHEav : $\Delta -1,5 \pm 7,0^\circ$; NHEap : $\Delta 3,5 \pm 6,0^\circ$ de flexion du genou) ni de différence entre les groupes en ce qui concerne l'angle sous lequel le couple maximal a été observé ($10,2 \pm 10,8^\circ$ de flexion du genou)</p> <p>L'activation musculaire du BF étaient plus importants dans les deux G.I. par rapport au G.C. , avec un changement plus important dans le NHEav par rapport au NHEap (effet faible probable). Les augmentations plus importantes du NHEav ont été identifiées uniquement entre 0 et 30° de flexion du genou.</p> <p>L'activation musculaire du ST et SM étaient plus élevées chez les NHEav et les NHEap par rapport au G.C. à des longueurs de muscle plus courtes (45-90° de flexion du genou), sans différence entre les G.I.</p> <p>L'épaisseur du muscle et l'angle de pennation du fascicule ont augmenté dans le groupe d'entraînement NHEap par rapport aux groupes NHEav et G.C., tandis que la variation estimée de la longueur du fascicule du BF était plus élevée dans le groupe NHEav par rapport aux groupes NHEap et G.C.</p>
<p>Conclusion de l'auteur</p>	

<p>Population</p>	<p>54 joueurs semi professionnel évoluant dans les – de 20 ans et – de 23 ans de clubs professionnels de première division (2 équipes) (18-23 ans) Critère d'inclusion : que les joueurs devaient participer régulièrement à l'entraînement de l'équipe pendant la période de collecte des données. Critères d'exclusion :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Antécédents LMA aux IJ dans les 6 mois précédant le début de l'étude, - Blessure musculo-squelettique actuelle susceptible de nuire à l'exécution des tests NHE ou isocinétiques, - Non-conformité au programme d'entraînement NHE (minimum de 7 séances d'entraînement pour G1 et 14 séances d'entraînement pour G2). <p><u>Après la randomisation et le 1er test</u> : 54 joueurs G1=G2= 27 <u>Exclus de l'étude</u> : 15 se sont blessés. 5 joueurs ont été transférés dans d'autres clubs et 2 joueurs n'ont pas participé à l'évaluation post-entraînement. <u>Analyse</u> : 32 joueurs G1 = 15 G2= 17 G1 et G2 était équivalent : âge (18,80 et 18,47 ans), la masse corporelle (78,80 et 75,53 kg) et la taille (1,82 et 1,79 m). <u>Recueil des résultats</u> : 32 joueurs G1 = 15 G2= 17 pour les tests isocinétiques et 30 joueurs G1 = 15 G2= 15 pour les épreuves échographiques (2 joueurs de G2 ont été exclus de l'analyse de l'architecture musculaire en raison de problèmes techniques avec leurs images échographiques.</p> <p>Les 2 équipes ont suivi une routine d'entraînement similaire : 5 à 7 entraînements par semaine sur le terrain ajoutés à 2 ou 3 séances de musculation et de conditionnement en salle, en fonction de la phase de périodisation et du calendrier des matchs. Lors de la période d'intervention, les joueurs n'ont pas effectué d'exercices spécifiques aux IJ (par exemple, curl de jambe, dead lift rigide) pour éviter toute interférence sur les résultats.</p>
<p>Intervention</p>	<p>NHE 8 semaines →à cheval sur la période de pré-saison (4 premières semaines) et les 4 premières semaines de la saison de compétition pour les 2 équipes. → Warm up – NHE programme – entraînement</p> <p>G.I1 : NHE training 1x par semaine G.I2 : NHE training 2x par semaine</p> <p>1ère semaine : 2 x 6 reps ; 2ème : 3 x 6 reps ; 3ème : 3 x 8 reps ; 4ème : 3 x 10 reps ; 5ème-6ème : 4 x 8-10 reps ; 7ème-8ème : 4 x 10 reps</p>
<p>Résultats</p>	<p>G2 a augmenté les couples de force de pointe concentriques et excentriques des IJ entre les mesures pré-entraînement et post-entraînement, ainsi que les ratios conventionnels et fonctionnels IJ/Q Aucune des mesures isocinétiques n'a changé au sein du G1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - IJecc : pre-test :197,48 Nm, post test : 216,39 Nm - IJcon : pre-test :146,79 Nm, post test : 155,55 Nm - Ratio IJ/Q conv : pre-test : 0,54, post test : 0,57 - Ratio IJ/Q fonc : pre-test : 0,73, post test : 0,79 <p>G2 présentait des augmentations en pourcentage plus élevées que G1 pour IJecc et IJcon, ainsi que pour le ratio fonc IJ/Q. Une tendance statistique pour un ratio conv IJ/Q plus élevé en faveur de G2 a également été trouvée (P = 0,057)</p> <p>Le NHE training a augmenté l'épaisseur du muscle BFLH et la longueur du fascicule dans les deux groupes, tandis que l'angle de pennation du BFLH n'a pas changé dans les deux groupes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - BLFh épaisseur : G1 pre-test :2,38 cm, post test : 2,49 cm ; G2 pre-test :2,31 cm, post test : 2,42 cm

	<ul style="list-style-type: none"> - BLFh lg fascicule : G1 pre-test :10,02 cm, post test : 10,93 cm ; G2 pre-test :10,09 cm, post test : 11,04 cm - BLFh ° de pennation : G1 pre-test : 16,29°, post test : 16,11° ; G2 pre-test :15,94°, post test : 15,48° <p>Aucune différence entre les groupes n'a été constatée pour l'épaisseur du muscle BFLh (P = 0,864), l'angle de pennation (P = 0,289), la longueur du fascicule (P = 0,406).</p> <p>Il n'y avait pas de différences entre les groupes pour le couple de pointe concentrique du quadriceps (P ≥ 0,699)</p>
<p>Conclusion de l'auteur</p>	<p>Nos résultats confirment que seul le programme d'entraînement NHE effectué deux fois par semaine renforce les IJ des joueurs de football de haut niveau, tandis que des changements similaires de l'architecture musculaire se sont produits avec les séances d'une et de deux semaines.</p>