

**Quelle est l'efficacité du Nordic Hamstring Exercise comparée au sprint sur les facteurs de risque modifiables des lésions aux ischio-jambiers : une revue systématique**

**Travail de Bachelor**

**Ludovic CHABOT**

N° matricule : 21633979

**Julian ROTHENBUHLER**

N° matricule : 17306721

Directeur : Salvatore Di Liberto – Assistant HES

**Juin, 2024**

Filière physiothérapie  
Haute école de santé de Genève

## Déclaration

Ce travail de Bachelor a été réalisé en vue de l'obtention du titre de *Bachelor of Science HES-SO en physiothérapie*. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans ce travail, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité des auteurs, ni celle du directeur ou de la directrice du travail de Bachelor, du jury et de la HEdS-GE.

Nous attestons avoir réalisé seuls le présent travail sans avoir plagié ou utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie.

Fait à Genève, le 6 juin 2024

Ludovic CHABOT

Handwritten signature of Ludovic Chabot in black ink, featuring a stylized 'L' and 'C'.

Julian ROTHENBUHLER

Handwritten signature of Julian Rothenbuhler in black ink, featuring a stylized 'J' and 'R'.

## Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide précieuse et leur soutien tout au long de la réalisation de ce travail :

**Salvatore Di LIBERTO**, assistant à la Haute École de Santé de Genève (HEdS) et directeur de notre travail de Bachelor, pour son accompagnement et ses conseils avisés pendant toute la durée de notre projet. Son expertise et son soutien ont été essentiels à la réalisation de ce travail.

**Jean-David SANDOZ**, bibliothécaire à la HEdS, pour son aide précieuse lors de nos recherches sur les bases de données et pour son assistance dans l'utilisation de certains programmes informatiques.

**Thomas POURCHET**, chargé d'enseignement à la Haute École de Santé de Genève (HEdS) pour son aide précieuse dans l'obtention de certains articles.

**Pierre ROTHENBUHLER**, pour la relecture attentive de l'orthographe, de la grammaire et de la syntaxe.

**Alrik MONNOT**, étudiant de notre volée, pour son aide efficace dans la mise en page de ce travail.

Ainsi que nos familles et proches respectifs pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce cursus. Leur présence a été une source inestimable de motivation et de réconfort.

# Résumé

**Objectif(s)** : Cette revue systématique vise à comparer l'efficacité de l'exercice du Nordic Hamstring et du sprint sur les facteurs de risque modifiables des lésions aux ischio-jambiers, tels que la force en excentrique des ischio-jambiers et la longueur du fascicule du long chef du biceps fémoral chez des athlètes.

**Contexte** : Les lésions des ischio-jambiers sont les blessures les plus fréquentes dans les sports de course à haute vitesse et de changements de direction et leur prise en charge représente un défi pour les cliniciens depuis plusieurs décennies.

**Critères d'inclusion** : Essais randomisés contrôlés ou études ayant au moins deux groupes comparant l'efficacité d'un programme incluant l'exercice du Nordic Hamstring à celui basé sur le sprint et ce, au sujet de la force excentrique des ischio-jambiers et la longueur du fascicule du long chef du biceps fémoral au sein d'une population regroupant des athlètes, autant amateurs que professionnels, sans limitation à un sport particulier.

**Méthodes** : Une revue systématique a été menée à partir d'études récoltées jusqu'au 06.03.2024 sur les quatre bases de données suivantes : Medline (Pubmed), Embase, The Cochrane Library et PEDro. L'approche JBI pour l'évaluation critique, la sélection des études, l'extraction et la synthèse des données a été utilisée. L'échelle PEDro a également été utilisée pour l'évaluation du risque des biais.

**Résultats** : Trois essais randomisés contrôlés et une étude prospective de contrôle interventionnel ayant une qualité méthodologique allant de moyenne à élevée et regroupant 116 sujets au total ont été sélectionnés. Les trois essais randomisés contrôlés qui évaluaient la force excentrique ont tous obtenu des améliorations intragroupes significatives pour les deux types d'entraînement ( $p < 0.05$ ), avec des différences intergroupes généralement plus marquées en faveur du groupe réalisant l'exercice du Nordic Hamstring. Les deux études évaluant la longueur du fascicule du biceps fémoral montrent des améliorations intragroupes dans les deux types d'entraînements, avec des valeurs significatives présentes uniquement dans l'une des études ( $p < 0.05$ ), ainsi que des résultats intergroupes favorisant alternativement l'un ou l'autre type d'entraînement.

**Conclusions** : Notre revue systématique apporte des informations précieuses sur les interventions visant à améliorer les facteurs de risque des lésions aux ischio-jambiers. Les cliniciens peuvent choisir de travailler la force excentrique par le biais des deux types d'intervention, car les résultats montrent que les améliorations sont valables dans les deux cas, avec une légère préférence pour le groupe Nordic Hamstring Exercise. En ce qui concerne la longueur du fascicule, les deux interventions ont également montré des résultats encourageants, bien que les données soient inconsistantes entre les études quant à savoir quel groupe a présenté l'amélioration la plus significative. Toutefois, nos conclusions doivent être considérées avec prudence en raison de divers biais et limites identifiés dans les études examinées.

**Mots-clés** : ischio-jambiers ; biceps fémoral ; l'exercice du Nordic Hamstring ; sprint, force excentrique ; longueur du fascicule

# Abstract

**Objective(s)** : This systematic review aims to compare the effectiveness of Nordic Hamstring Exercise and sprinting on modifiable risk factors for hamstring injuries, such as hamstring eccentric strength and long head fascicle length of the biceps femoris in athletes.

**Background** : Hamstring injuries are the most common injuries in high-speed running and change-of-direction sports and their management has been a challenge for clinicians for several decades.

**Inclusion criteria** : Randomized controlled trials or studies with at least two groups comparing the effectiveness of a program including the Nordic Hamstring Exercise to that based on sprinting on the eccentric strength of the hamstrings and the length of the fascicle of the long head of the biceps femoral within a population bringing together athletes, both amateurs and professionals, without limitation to a particular sport.

**Methods** : A systematic review was carried out based on studies collected until 03.06.2024 on the following four databases: Medline (Pubmed), Embase, The Cochrane Library and PEDro. The JBI approach for critical appraisal, study selection, data extraction and synthesis was used. The PEDro scale was also used to assess risk of bias.

**Results** : Three randomized controlled trials and one prospective interventional control study of moderate to high methodological quality and involving a total of 116 subjects were selected. The three randomized controlled trials that assessed eccentric strength all achieved significant intragroup improvements for both types of training ( $p < 0.05$ ), with intergroup differences generally greater in favor of the Nordic Hamstring Exercise group. The two studies evaluating the length of the fascicle of the biceps femoris show intragroup improvements in both types of training, with significant values present only in one of the studies ( $p < 0.05$ ), as well as intergroup results alternatively favoring the one or another type of training.

**Conclusions** : Our systematic review provides valuable information on interventions aimed at improving risk factors for hamstring injuries. Clinicians may choose to work eccentric strength through both types of intervention, as results show that improvements are valid in both, with a slight preference for the Nordic Hamstring Exercise group. Regarding fascicle length, both interventions also showed encouraging results although data were inconsistent between studies as to which group showed the most significant improvement. However, our findings should be viewed with caution due to various biases and limitations identified in the reviewed studies.

**Keywords** : Hamstrings ; Biceps Femoris ; the Nordic Hamstring Exercise ; sprint ; eccentric strength ; fascicle length

## Liste des abréviations

<b>1RM</b>	<i>One repition maximal</i> , une répétition maximale
<b>2D</b>	deux dimensions
<b>AFL</b>	<i>Australian Football League</i>
<b>BF</b>	<i>Biceps femoris</i> , biceps fémoral
<b>BF<sub>lh</sub></b>	<i>Biceps femoris long head</i> , long chef du biceps fémoral
<b>BF<sub>sh</sub></b>	<i>Biceps femoris short head</i> , court chef du biceps femoral
<b>Cm</b>	Centimètre
<b>CSA</b>	<i>Cross sectional area</i> , surface de la section transversale
<b>DOMS</b>	<i>Delayed onset muscle soreness</i> , courbatures
<b>EMG</b>	Électromyographique
<b>FIFA</b>	Fédération internationale de football association
<b>FL</b>	<i>Fascicle length</i> , longueur du fascicule
<b>FOV</b>	<i>Field of view</i> , champ de vision
<b>F<sub>exc</sub></b>	Force excentrique
<b>HSI</b>	<i>Hamstring strain injury</i> , lésion aux ischios-jambiers
<b>IC</b>	Intervalle de confiance
<b>IJ</b>	Ischio-jambiers
<b>IR</b>	<i>Incidence rate</i> , taux d'incidence
<b>JBI</b>	<i>Joanna Briggs Institute</i>
<b>LF</b>	Longueur du fascicule
<b>Min</b>	Minute
<b>MT</b>	<i>Muscle thickness</i> , épaisseur du muscle
<b>N</b>	Newton
<b>N.m</b>	Newton-mètre
<b>NHE</b>	<i>Nordic Hamstring Exercise</i> , exercice du Nordic Hamstring
<b>PA</b>	<i>Pennation angle</i> , angle de pennation
<b>RCT</b>	<i>Randomized Controlled Trial</i> , essai randomisé contrôlé
<b>RDL</b>	<i>Romanian Dead Lift</i> , soulevé de terre roumain

<b>RR</b>	<i>Risk Ratio</i> , risque relatif
<b>SM</b>	Semi membraneux
<b>ST</b>	Semi tendineux
<b>TE</b>	Taille d'effet
<b>UEFA</b>	<i>Union of European Football Associations</i> , Union des associations européennes de football
<b>VS</b>	<i>Versus</i> , contre

# Table des matières

<b>Déclaration</b> .....	<b>i</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>ii</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iv</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>v</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>ix</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Cadre théorique</b> .....	<b>3</b>
2.1 Les ischio-jambiers .....	<b>3</b>
2.1.1 Anatomie .....	3
2.1.2 Biomécanique.....	3
2.2 Les blessures aux ischio-jambiers.....	<b>3</b>
2.2.1 Épidémiologie.....	3
2.2.2 Mécanismes lésionnels .....	5
2.2.3 Impacts.....	6
2.2.4 Facteurs de risque.....	7
2.2.4.1 Les facteurs de risque non modifiables.....	7
2.2.4.2 Les facteurs de risque modifiables.....	8
2.2.4.2.1 La longueur du fascicule .....	8
2.2.4.2.2 La force .....	8
2.2.4.2.3 Les autres facteurs de risque modifiables.....	10
2.3 L'exercice du Nordic Hamstring.....	<b>10</b>
2.4 Le sprint .....	<b>12</b>
2.5 La force excentrique .....	<b>14</b>
2.6 La longueur du fascicule .....	<b>15</b>
<b>3. Problématique et objectif de notre travail</b> .....	<b>18</b>
<b>4. Méthodologie</b> .....	<b>19</b>
4.1 Design de l'étude .....	<b>19</b>
4.2 Stratégie de recherche.....	<b>19</b>
4.3 Critères d'inclusion et d'exclusion.....	<b>19</b>
4.4 Équations de recherche et mots clés utilisés.....	<b>21</b>
4.5 Processus de sélection des études .....	<b>22</b>
4.6 Évaluation de la qualité méthodologique des articles.....	<b>23</b>
4.7 Méthodes d'extraction des données .....	<b>23</b>
4.8 Méthodes de synthèse.....	<b>23</b>

<b>5. Résultats</b> .....	<b>24</b>
5.1 Études incluses.....	24
5.2 Qualité méthodologique.....	24
5.3 Caractéristiques des études incluses .....	27
5.4 Résultats des études .....	32
5.4.1 Force en excentrique des fléchisseurs du genou.....	32
5.4.2 Longueur du fascicule de la longue portion du biceps fémoral .....	34
<b>6. Discussion</b> .....	<b>36</b>
6.1 Qualités des études incluses .....	36
6.2 Force excentrique .....	37
6.3 Longueur du fascicule du biceps fémoral .....	39
6.4 Limitations des études .....	40
6.5 Limitations de notre revue.....	41
6.6 Recommandations pour la pratique clinique.....	41
6.7 Recommandations pour de futures recherches.....	42
<b>7. Conclusion</b> .....	<b>44</b>
<b>Liste de références</b> .....	<b>45</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>77</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>78</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : PICO.....	18
Tableau 2 : Critères d'inclusion et d'exclusion .....	21
Tableau 3 : Équation de recherche sur Medline (Pubmed) effectuée le 6 mars 2024 .....	21
Tableau 4 : Résultats de l'évaluation de la qualité méthodologique avec JBI-Critical Appraisal Checklist for randomised controlled trials.....	25
Tableau 5 : Résultats de l'évaluation de la qualité méthodologique de Mendiguchia 2020 à l'aide de la JBI-Critical Appraisal Checklist for Quasi-Experimental Studies .....	26
Tableau 6 : Tableau synthétique des études incluses .....	27

## Liste des figures

Figure 1 : Le Nordic Hamstring Exercise.....	12
Figure 2 : Cycle de course .....	12
Figure 3 : Structure et niveaux d'organisation d'un muscle squelettique .....	15
Figure 4 : Image par ultrasons du BF décrivant les paramètres d'architecture.....	17
Figure 5 : Diagramme de flux PRISMA de notre processus de sélection d'articles .....	24
Figure 6 : Évolution force excentrique mesurée avec "Nordboard" (Freeman et al. ; Ripley et al.) .....	33
Figure 7 : Évolution force excentrique mesurée à l'isocinétisme (Sancese et al.) .....	33
Figure 8 : Évolution force excentrique en pourcentage (Freeman et al. ; Ripley et al. ; Sancese et al.) .....	34
Figure 9 : Évolution longueur du fascicule mesurée à l'échographie (Mendiguchia et al. ; Ripley et al.) .....	35
Figure 10 : Évolution longueur du fascicule en pourcentage (Mendiguchia et al. ; Ripley et al.) .....	35

# 1. Introduction

Les lésions des ischio-jambiers (HSI) sont les blessures les plus fréquentes dans les sports de course à haute vitesse ou de changements de direction (Paton et al., 2023).

Dans le football professionnel européen (UEFA), elles représentent actuellement 24% de toutes les blessures (Ekstrand et al., 2022). En comparaison avec les autres blessures rencontrées dans le football professionnel, spécifiquement entre 2001 et 2008, le sous-type de blessure le plus fréquent était le claquage au niveau de la cuisse (17%), dont 12% des atteintes étaient postérieures (ischio-jambiers) et 5% antérieures (quadriceps). Les HSI se classaient par conséquent en tête et représentaient 12% de toutes les blessures devant les lésions aux adducteurs (9%), les entorses de cheville (7%), les atteintes du ligament collatéral médial du genou (5%) ainsi que celles mentionnées au quadriceps (5%), entre autres (Ekstrand et al., 2011b). La proportion des HSI est encore plus importante aujourd'hui. Le taux d'incidence des HSI a augmenté ces dernières années, passant de 12% à 24% entre les saisons UEFA 2001/02 et 2021/22 (Ekstrand et al., 2022).

Chez les footballeurs amateurs, elles représentent 12% des lésions générales (Whalan et al., 2019). Dans les autres sports à risque, les données sont sensiblement similaires. En compétition d'athlétisme par exemple, la proportion des blessures aux ischio-jambiers par rapport à toutes les blessures est de 11,4% (Edouard et al., 2014). Chez les joueurs de Rugby Union, ce chiffre serait de 15% (Chavarro-Nieto et al., 2023).

Les HSI sont les lésions dont le joueur de football rechute le plus fréquemment (Ekstrand et al., 2022). Il existe un risque de re-blessure de 3.6 fois plus élevé chez les professionnels (Lee et al., 2018). Ces récurrences surviennent dans 18% des HSI et généralement au même endroit. De plus, pour plus des deux tiers des footballeurs ces rechutes se produisent dans les deux mois qui suivent le retour au sport (Ekstrand et al., 2022). Ce même constat est fait au sein d'une population d'athlètes pratiquant une variété de sports avec des récurrences qui surviennent dans 50% du temps dans les premières semaines et sur le même site lésionnel (Wangenstein et al., 2016). De plus, les impacts liés à cette pathologie sont nombreux : coût financier, perte de temps de compétition de l'athlète sur le terrain, influence négative sur la performance de l'équipe (Eliakim et al., 2020; Hickey et al., 2014, 2019; Martin et al., 2022). En conséquence, il apparaît nécessaire de poursuivre la recherche afin de réduire ces impacts négatifs.

Dans ce contexte, il est primordial de trouver des mesures efficaces dans le but de diminuer ces récurrences en comprenant les mécanismes lésionnels et les facteurs de risque des HSI. Ces connaissances permettent, entre autre, d'identifier la localisation et la gravité de la lésion dans le but d'établir un pronostic précis, mais également de concevoir de meilleurs programmes de rééducation et de prévention (Jokela et al., 2023). Le sprint est le mécanisme lésionnel principal et représente à lui seul 62% des atteintes structurelles aux ischio-jambiers (Ekstrand et al., 2022; Paton et al., 2023). Plus précisément, la longue portion du biceps fémoral (BFlh) est la plus souvent atteinte et représente entre 79 et 84 % des lésions, devant le semi-membraneux environ 11% et le semi-tendineux environ 9% (Ekstrand et al., 2022; Ekstrand et al., 2012; Wangenstein et al., 2016).

Les facteurs de risque des HSI sont divisés en facteurs de risque modifiables et non-modifiables. La force en excentrique des ischio-jambiers et la longueur du fascicule (FL) de la BFIh sont deux des facteurs de risque modifiables (Rudisill et al., 2023; Timmins, Bourne, et al., 2016). Les interventions efficaces pour augmenter la force en excentrique se focalisent sur les entraînements en excentrique, la plyométrie et également l'entraînement en concentrique (C. Askling et al., 2003; Iga et al., 2012; Krishna et al., 2019; Mendiguchia et al., 2015; Ribeiro-Alvares et al., 2018; Rudisill et al., 2023; Timmins, Ruddy, et al., 2016). En ce qui concerne l'architecture du fascicule, il a été démontré dans plusieurs études que l'exercice excentrique permettait un allongement de ce dernier (Rudisill et al., 2023). Cette modalité d'exercice offre un potentiel notable afin de modifier favorablement ces deux facteurs de risque.

Dans la littérature, l'exercice excentrique considéré comme le « gold standard » est le Nordic Hamstring Exercice (McCall et al., 2014). Il a été très largement étudié et de nombreuses études ont démontré ses bienfaits sur l'augmentation de la force en excentrique et la FL (Bourne, Duhig, et al., 2017; Opar et al., 2015; van der Horst et al., 2015). Néanmoins, le NHE ne serait pas adopté par de nombreux athlètes en raison des inconforts ressentis liés aux "delayed onset muscle soreness" (DOMS) et les difficultés à le mettre en place dans des programmes d'entraînement (Ekstrand, Bengtsson, Walden, et al., 2022; Morgan & Proske, 2004; Ripley et al., 2021).

En plus de la controverse entourant le NHE, le London International Hamstring Injury consensus group chargé de définir les éléments clés de la prise en charge des HSI, suggérerait que le sprint n'avait pas été suffisamment priorisé en rééducation et que des recherches futures étaient nécessaires (Paton et al., 2023).

Du fait que le sprint représente le mécanisme lésionnel principal, celui-ci est souvent délaissé lors de la rééducation ou moins effectué en pratique sportive. Ce lien direct entre la survenue de la blessure et lui crée logiquement un syndrome d'évitement (Edouard et al., 2019). Cela est toutefois contre-productif, car le sprint permet à la fois d'améliorer les performances de l'athlète et agit en prévention des blessures en améliorant la capacité des ischio-jambiers à supporter la charge qu'il représente (Edouard et al., 2019).

Le sprint est le seul exercice connu qui permet d'induire une activation des ischio-jambiers spécifique à celle que l'on retrouve lors de celui-ci, que ce soit en termes de timing ou d'intensité. Les exercices de renforcement habituels n'atteignent qu'au mieux 75 % de l'activité EMG induite par le sprint (van den Tillaar et al., 2017). Il a été démontré que lorsqu'il est effectué avec le bon dosage, il peut diminuer le risque de blessure (Malone et al., 2017). En conséquence, le sprint semblerait plus largement accepté tant par les athlètes que par les entraîneurs, ce qui facilite son implémentation à un programme d'entraînement ou de prévention. Les données récentes autour du sprint offrent des pistes prometteuses qu'il convient d'explorer. Nous mesurons le potentiel de cette recherche à faire émerger des solutions nouvelles et à enrichir nos connaissances dans le domaine des HSI.

Cette revue systématique vise à comparer l'efficacité du NHE et du sprint sur les facteurs de risque modifiables des HSI. À ce jour, il n'existe aucune revue systématique portant sur ce sujet. Le sprint pourrait être une alternative efficace au NHE pour améliorer la force et la longueur du fascicule de la BFIh, tout en palliant les inconvénients de ce dernier lors de HSI.

## 2. Cadre théorique

### 2.1 Les ischio-jambiers

#### 2.1.1 Anatomie

Les ischio-jambiers forment un groupe musculaire situé dans le compartiment postérieur de la cuisse. Il est constitué de trois muscles : Le biceps fémoral (BF), comprenant une longue portion (BF<sub>lh</sub>) et une portion courte (BF<sub>sh</sub>), le semi-tendineux (ST) et le semi-membraneux (SM) (Stępień et al., 2018). À la différence de la BF<sub>sh</sub>, tous les ischio-jambiers sont des muscles bi-articulaires s'insérant proximale sur la tubérosité ischiatique et traversant les articulations de la hanche et du genou (Iatropoulos & Wheeler, 2024). Cette configuration complexe est à l'origine de la variabilité anatomique inhérente aux muscles ischio-jambiers. Les muscles BF<sub>lh</sub> et SM présentent des angles de pennation plus grands, une section transversale physiologique plus grande et des fascicules plus courts, en comparaison au BF<sub>sh</sub> et ST (Kellis, 2018). Ces différences pourraient jouer un rôle important dans la répartition de la contrainte lors d'une action excentrique du groupe musculaire et pourraient expliquer en partie l'incidence plus élevée de blessure du BF<sub>lh</sub> (70%) et du SM (19%) par rapport au ST (4%) et au BF<sub>sh</sub> (2%) (Pollock et al., 2022). De plus, comparés à leurs antagonistes, les muscles du quadriceps, les ischio-jambiers sont anatomiquement optimisés pour des contractions moins fortes, mais plus rapides, grâce à leur section transversale plus petite et leurs fascicules plus longs. Cela est conforme à leur rôle principalement excentrique, mais contribue éventuellement à un risque de blessure plus élevé que leurs antagonistes (Kellis, 2018).

#### 2.1.2 Biomécanique

Les fonctions principales des ischio-jambiers sont la flexion de l'articulation du genou, l'extension de hanche (Poudel & Pandey, 2024), ainsi que la stabilisation du genou (Stępień et al., 2018). Chaque ischio-jambiers possède des propriétés mécaniques spécifiques et la survenue des blessures varie également en fonction de l'activité réalisée. Une analyse spécifique, dans le cadre du sprint, sera fournie ultérieurement dans ce travail.

### 2.2 Les blessures aux ischio-jambiers

#### 2.2.1 Épidémiologie

Parmi les nombreux modèles de prévention des blessures présentés dans la littérature sur les blessures sportives (Finch, 2006; van Mechelen et al., 1992), tous conviennent que la compréhension de l'épidémiologie est une étape essentielle pour minimiser le risque de blessure (Maniar et al., 2023).

Les HSI sont une pathologie musculosquelettique courante qui touche les personnes actives et les athlètes (Silvers-Granelli et al., 2021). Elles représentent plus de 39% de toutes les blessures sportives signalées, ce qui justifie amplement des études et des propositions d'amélioration des interventions thérapeutiques (Camp et al., 2018; Ekstrand et al., 2012; Jones et al., 2019; Roe, Murphy, et al., 2018b; Woods et al., 2004). De plus, 12% à 63% des personnes qui subissent une HSI sont sujets à une récurrence (Camp et al., 2018; Croisier et al., 2002; de Visser et al., 2012; Ekstrand et al., 2012, 2020; Elliott et al., 2011; Langhout et al., 2019; J. W. Orchard et al., 2017; Roe, Murphy, et al., 2018b; Whalan et al., 2019; Woods et

al., 2004). Environ un tiers de ces récurrences ont lieu dans un délai d'un an après la blessure initiale et sont souvent plus graves (Erickson & Sherry, 2017). Les athlètes masculins sont 64% plus susceptibles de subir une HSI que les athlètes féminines (Cross et al., 2010, 2013; Dalton et al., 2015; Opar et al., 2014).

Il existe un risque accru de HSI dans les sports qui impliquent des sprints, des coups de pieds ou des mouvements techniques à haute vitesse tels que le football, le football américain, le rugby et l'athlétisme (Cross et al., 2010, 2013; Dalton et al., 2015; Ekstrand et al., 2011a; Feeley et al., 2008; Heiderscheit et al., 2010; Opar et al., 2014; M. Sherry, 2012; M. Sherry et al., 2011; M. A. Sherry & Best, 2004; Silder et al., 2013) ainsi que dans les sports impliquant des mouvements d'étirement importants comme la danse par exemple (Heiderscheit et al., 2010; M. Sherry, 2012; M. Sherry et al., 2011). Les HSI sont aussi plus fréquentes dans les sports de terrain (football, football américain) que dans les sports de court (basketball, volleyball) (Cross et al., 2010; Dalton et al., 2015; M. Sherry et al., 2011).

L'incidence et la prévalence des HSI a été bien étudiées, en particulier dans les sports tels que le football, le football américain, l'athlétisme, le rugby, le cricket et le football gaélique (Ahmad et al., 2014; Elliott et al., 2011; Feeley et al., 2008; Fitzpatrick et al., 2018; Hootman et al., 2007; J. Orchard & Seward, 2002; J. W. Orchard et al., 2017; Roe, Murphy, et al., 2018b). Elles surviennent plus fréquemment lors des compétitions que lors des entraînements (Dalton et al., 2015; Ekstrand et al., 2011b, 2011a; Viviers et al., 2018).

Dans la ligue australienne de football, le taux de HSI (IR : incidence rate) lors des matchs est de 4.3/1000 (blessures/heures d'exposition), 2.2/1000 en entraînement et 0.8/1000 en pré-saison avec un taux de récurrence de 34% (J. Orchard & Seward, 2002). Dans le football professionnel, l'incidence des HSI a augmenté au cours des deux dernières décennies au rythme de 2.3% par année (Ekstrand et al., 2016) et représente 12% de toutes les blessures dans une équipe de football (Ekstrand et al., 2011b). Une équipe composée de 25 joueurs peut s'attendre à environ 7 HSI chaque saison (Ekstrand et al., 2011b).

En athlétisme, les HSI représentent 24.1% de toutes les blessures et plus de 75% des blessures aux membres inférieurs (Opar et al., 2014), mais aussi 50% des blessures musculaires chez les sprinters et constituent la blessure la plus fréquemment signalée en sprint avec haies (C. M. Askling et al., 2007; Chu & Rho, 2016; Tokutake et al., 2018).

Chez les joueurs professionnels de rugby à 15, l'IR signalé est de 5.6/1000 en match et 0.6/1000 à l'entraînement, avec un taux de blessure 4x plus élevé chez les joueurs ayant un historique de HSI (Bourne et al., 2015; Brooks et al., 2006).

Dans le baseball professionnel, 62% des HSI surviennent lors de la course vers la première base et représentent 6% de toutes les blessures signalées au cours d'une saison. Le IR est de 0.7/1000 en Ligue majeure et également de 0.7/1000 en Ligue mineure.

Maniar et al. (2023) ont réalisé une revue systématique avec méta-analyse ayant pour objectif de déterminer l'incidence et la prévalence des HSI dans les sports d'équipe sur terrain. Leur conclusion est la suivante : L'incidence des HSI est de 0.81/1000h, ce qui représente 10% des blessures des sports d'équipe sur terrain. L'incidence augmente avec l'âge des athlètes, lors des scénarios de match (par rapport à l'entraînement) et sur le gazon (par rapport au gazon artificiel). L'incidence n'a pas été modérée par la masse corporelle ou la stature, et surtout, n'a

pas changé au cours des 30 dernières années (Maniar et al., 2023). Leurs résultats suggèrent que des travaux supplémentaires sont nécessaires pour pouvoir réduire l'incidence des HSI dans les sports d'équipe sur le terrain (Maniar et al., 2023).

### 2.2.2 Mécanismes lésionnels

Définir le mécanisme lésionnel est d'une importance capitale, car cela permet de développer de nouvelles stratégies préventives afin de réduire le nombre d'HSI et de récives chez les athlètes et patients (Danielsson et al., 2020). De plus, le mécanisme lésionnel est un facteur pronostic important lorsqu'il s'agit de déterminer des protocoles de réadaptation appropriés dans le but de permettre le retour au sport (Silvers-Granelli et al., 2021).

Askling et al. ont initialement proposé en 2012 deux scénarios dans lesquels une blessure aux ischio-jambiers peut survenir : pendant la course à grande vitesse, ou bien lors d'un mouvement d'étirement. En 2013, Askling et al. ont nommé ces deux mécanismes « sprinting type » et « stretching type », et Jokela et al. ont rajouté un nouveau mécanisme en 2023 qui combine les deux, le « mixed-type ». Les blessures de type sprint s'expliquent par le fait que lors de la course à grande vitesse, les mouvements combinés de flexion de hanche, d'extension de genou et de flexion du tronc augmentent considérablement la charge en excentrique sur les ischio-jambiers (Jokela et al., 2023), certains auteurs parlent même d'une contraction excentrique maximale couplée à un étirement du BF<sub>lh</sub> (Ahmad et al., 2013; C. M. Askling et al., 2007, 2012). Quant au mécanisme de type étirement, il peut se produire lors d'un étirement excessif des ischio-jambiers produit par un mouvement combiné de flexion de hanche et d'extension de genou, par exemple lors de la danse (Silvers-Granelli et al., 2021). Dans la littérature, ces deux mécanismes portent aussi le nom de « type 1 » pour la course à haute vitesse et « type 2 » pour l'étirement (Silvers-Granelli et al., 2021).

Les blessures causées par la course à grande vitesse affectent généralement la BF<sub>lh</sub>, et sont généralement localisées au niveau de la jonction myotendineuse, l'aponévrose et les fibres adjacentes à ces structures. (Heiderscheit et al., 2010), tandis que les blessures causées par un étirement excessif impliquent habituellement le semi-membraneux au niveau de son tendon proximal (Chu & Rho, 2016; Heiderscheit et al., 2010).

Les blessures de type « sprinting-type » sont les plus fréquentes. (Verrall et al., 2003; Woods et al., 2004), elles représentent 81% des blessures aux ischio-jambiers dans le football australien, versus 19% pour les blessures de type stretching, qui surviennent par exemple lors d'un shoot. (Hagel, 2005). Parmi ces blessures, entre 79% et 84% touchent le BF (Wangensteen et al., 2016, Ekstrand., 2012, Ekstrand., 2022). Les blessures de type sprinting type ont généralement un temps de récupération plus court que le « stretching-type » (C. Askling et al., 2006; C. M. Askling et al., 2007).

Plus précisément, il existe dans la littérature deux théories cherchant à expliquer le mécanisme lésionnel du sprinting-type. La première relève que les ischio-jambiers seraient le plus susceptible aux blessures lors de l'allongement actif, généralement observé lors de la fin de la phase oscillante du cycle de course (Chumanov et al., 2012; Garrett, 1996; Lieber & Fridén, 1993). La deuxième théorie relève que les HSI se produiraient plutôt lors de la phase d'appui initiale en raison de grandes forces dans des directions opposées qui s'appliquent lorsque le corps est propulsé vers l'avant au-dessus du point d'atterrissage (Mann & Sprague, 1980).

Aujourd'hui, malgré plusieurs décennies de recherche supplémentaire depuis les théories initiales de Garret, Lieber et al. et Mann et Sprague, il n'existe pas de consensus sur les mécanismes lésionnels des HSI. Danielsson et al. ont publié en 2020 une revue systématique de la littérature ayant pour but de répertorier les différents mécanismes lésionnels des HSI et sont arrivés à des conclusions mitigées. D'une part selon certaines études, les blessures aux ischio-jambiers sont susceptibles de se produire lors de la fin de la phase oscillante, car c'est lors de cette phase que l'on observe la plus grande activité musculaire des ischio-jambiers, ce qui pourrait expliquer le risque de blessure (van den Tillaar et al., 2017). D'une autre part, selon d'autres études, les forces qui s'appliquent lors de la phase oscillante seraient plus importantes au niveau du ST, tandis que lors de la phase d'appui, les forces seraient plus élevées au niveau du BFlh (C. Askling et al., 2003). Étant donné que le BFlh est le muscle le plus fréquemment atteint, certains auteurs suggèrent que la blessure survient plutôt lors de la phase d'appui (C. M. Askling et al., 2007). Danielsson et al. affirment cependant qu'une majorité des études sont de l'avis que c'est lors de la fin de la phase oscillante, en raison d'une surcharge en excentrique, que la blessure peut se produire. Toutefois, des recherches supplémentaires sont nécessaires afin de confirmer ces propos (Danielsson et al., 2020).

### 2.2.3 Impacts

Les blessures aux ischio-jambiers ont un impact négatif à la fois financier et sur la performance en compromettant la réussite de l'équipe (Brooks et al., 2006; Dalton et al., 2015; Ekstrand et al., 2011a; Häggglund et al., 2013; Hickey et al., 2014, 2019). Dans les équipes de football professionnel, elles représentent à elles seules 25% des causes d'absence sur le terrain (Biz et al., 2021). Les HSI restent la blessure avec la perte de temps sur le terrain la plus importante dans le football et les sports de course à haute intensité (Edouard et al., 2016; Ekstrand et al., 2011b), avec des coûts financiers, physiques et émotionnels importants (Paton et al., 2023). Les HSI entraînent souvent un arrêt de compétition de 3 à 28 jours, ou plus, selon la gravité de la blessure (Martin et al., 2022). La perte de temps moyenne est de 24 jours (Ahmad et al., 2014), entraînant des coûts élevés pour les athlètes et les équipes professionnelles (Hickey et al., 2014). Dans les cas graves, l'indisponibilité peut atteindre 90 jours, ce qui nécessite un approfondissement des interventions thérapeutiques (Camp et al., 2018; Ekstrand et al., 2012; Jones et al., 2019; Roe, Murphy, et al., 2018b; Woods et al., 2004).

Entre les saisons UEFA 2001 et 2022, le pourcentage de tous les jours d'absence pour cause de blessures aux ischio-jambiers est passé de 10 % à 20 % (Ekstrand, Bengtsson, Waldén, et al., 2022). Ces données sont intimement liées aux performances sportives de l'équipe. Deux études ont démontré qu'une incidence plus faible des blessures et une plus grande disponibilité aux matches étaient associées à un meilleur classement final et à une augmentation des points par match dans le football européen (Eliakim et al., 2020; Häggglund et al., 2013). Les blessures aux ischio-jambiers constituent un problème majeur dans le monde du sport, que ce soit au niveau amateur ou professionnel (Silvers-Granelli et al., 2021).

D'un point de vue financier, Hickey et al. ont réalisé en 2014 une étude ayant pour but d'estimer les coûts financiers des matchs manqués en raison d'une blessure aux ischio-jambiers dans la ligue de football australien (AFL) au cours des 10 dernières saisons (2003-2012). Ils sont arrivés aux conclusions suivantes : Sur la période observée, les coûts financiers liés aux blessures aux ischio-jambiers ont augmenté de 71% en regard d'une augmentation de 43% du salaire annuel moyen des athlètes (Hickey et al., 2014). Au cours de la même période, le

coût financier moyen d'une seule blessure aux ischio-jambiers est passé de 25'603 dollar australien en 2003 à 40'021 dollar australien en 2012, ce qui représente une augmentation de 56%, malgré peu de changement dans les taux d'incidence sur la période. (Hickey et al., 2014). Depuis, il n'y a pas eu de nouvelles études ayant calculé aussi précisément l'impact financier que Hickey et al. ont réalisé en 2014. Cependant, le taux de blessure n'ayant pas diminué depuis deux décennies (Paton et al., 2023), nous pouvons hypothétiser que les coûts financiers liés au HSI sont toujours très importants aujourd'hui, voire encore plus en absolu, même en tenant compte de l'inflation.

#### 2.2.4 Facteurs de risque

En raison de leurs différents impacts, la recherche scientifique dans le domaine du sport s'intéresse aux différents moyens de prévention de ces blessures (Hickey et al., 2019). Avoir conscience des différents facteurs de risque des blessures aux ischio-jambiers est un élément important dans la gestion de la charge des athlètes, mais aussi dans la prévention des blessures et dans la prise de décision quant au retour au sport des athlètes (Arden et al., 2016; Wollin et al., 2018)

Les facteurs de risque des blessures aux ischio-jambiers se composent de deux groupes principaux : les facteurs de risque intrinsèques, (par exemple : âge, historique de blessure, qualité physique) et extrinsèques (par exemple : environnement, calendrier des compétitions). Ces facteurs de risque peuvent être modifiables ou non modifiables (Green et al., 2020). Les facteurs de risque classés comme modifiables sont considérés comme des facteurs avec lesquels le risque peut être réduit grâce à une intervention thérapeutique ciblée (par exemple, augmenter la force d'un athlète) (Wing & Bishop, 2020). Les facteurs de risque non modifiables sont ceux qui échappent au contrôle de l'athlète et du praticien (par exemple l'âge de l'athlète)(Wing & Bishop, 2020). Ces facteurs de risque peuvent être spécifiques à chaque sport. Par exemple, les charges de courses à haute vitesse sont probablement un facteur de risque dans le football, contrairement à la lutte, alors que certains peuvent être généraux pour tous les athlètes (Wing & Bishop, 2020).

##### 2.2.4.1 Les facteurs de risque non modifiables

Les facteurs de risque non modifiables sont des facteurs sur lesquelles nous n'exerçons aucune influence. Dans le cadre des blessures aux ischio-jambiers, les principaux sont les suivants :

Premièrement, d'après une méta-analyse de 19 études, un âge plus avancé est associé à un risque plus élevé de HSI (Green et al., 2020). Deuxièmement, avoir un antécédent de blessure aux ischio-jambiers représente, après l'âge avancé, le facteur de risque le plus important (RR = 2.7), ce risque est d'autant plus augmenté (RR = 4.8) si la blessure précédente a eu lieu lors de la même saison (Bourne et al., 2015; Gabbe et al., 2006; Opar et al., 2015; J. W. Orchard, 2001; J. W. Orchard et al., 2012, 2017; Roe, Murphy, et al., 2018a; Ruddy et al., 2018; Timmins, Bourne, et al., 2016; Warren et al., 2010). Troisièmement, avoir subi une rupture du ligament croisé antérieur par le passé augmente le risque de subir une HSI (RR = 1.7), il en est de même pour toutes blessures au genou, au mollet (RR = 1.5), ainsi que les blessures ligamentaires de cheville (Bourne et al., 2015; Freckleton et al., 2014; Malliaropoulos et al., 2018; Opar et al., 2015; J. W. Orchard et al., 2012, 2012; Ruddy et al., 2018; Timmins, Bourne, et al., 2016; Verrall et al., 2001).

Nous ne développerons pas davantage ce paragraphe, car dans le cadre de ce travail, nous nous intéresserons principalement aux facteurs de risque modifiables.

#### 2.2.4.2 Les facteurs de risque modifiables

D'après la revue systématique de Green et al. (2020), l'influence des facteurs de risque non-modifiables n'était pas cohérente dans toutes les études, mettant en évidence la modulation potentielle du risque par d'autres facteurs, les facteurs de risque modifiables, tels que les caractéristiques physiques de l'athlète ou bien l'exposition à la charge (Duhig et al., 2016; Freckleton et al., 2014; Goossens et al., 2015; Green et al., 2020; Opar et al., 2015; J. Orchard et al., 2020; J. W. Orchard et al., 2012; Ruddy et al., 2018; Suchomel et al., 2016). Dans le cadre de ce travail, nous nous intéresserons uniquement aux facteurs de risque modifiables intrinsèques, dont les principaux sont les suivants :

##### 2.2.4.2.1 *La longueur du fascicule*

Le fascicule est un des composants actifs de l'architecture d'un muscle, tout comme le sont l'épaisseur musculaire (MT), l'angle de pennation (PA) et la surface de section transversale (CSA). Ces différents éléments peuvent définir le potentiel de génération de force d'un muscle (Timmins, Shield, et al., 2016). Une description plus précise du fascicule ainsi que les méthodes à disposition pour mesurer sa longueur sont expliquées dans ce travail au chapitre 2.6. Dans ce paragraphe, nous parlerons de la FL du BF en tant que facteur de risque des HSI.

Timmins et al. (2016) ont identifié la longueur des fascicules du BF comme un facteur de risque important d'HSI chez les joueurs de football. En effet, selon leur recherche prospective, les footballeurs ayant une FL du BF inférieure à 10.56 cm auraient un risque d'HSI augmenté de 4.1 fois (Timmins, Bourne, et al., 2016), ce risque serait d'autant plus important s'il est couplé à une faiblesse des ischio-jambiers en excentrique (Bourne, Duhig, et al., 2017; Timmins, Bourne, et al., 2016). De plus, il semblerait que la longueur des fascicules du BF soit significativement réduite ( $p < 0.001$ ) à la suite d'une HSI (Timmins et al., 2015). Selon Timmins et al. (2016), chaque augmentation de 0.5cm de la FL du BF représenterait une diminution du risque de blessure de 74%.

L'hypothèse principale qui expliquerait ce phénomène résiderait dans le manque de sarcomères en série. Ce manque de sarcomères en série rendrait le fascicule plus court, ce qui conduirait à ce qu'il soit plus susceptible aux allongements excessifs lors de contractions excentriques (Behan et al., 2019; Timmins, Bourne, et al., 2016). De plus, il paraîtrait que ce phénomène soit amplifié à la suite d'une première HSI en raison de la présence de tissu cicatriciel participant lui aussi à l'augmentation de la charge sur les fascicules lors d'un allongement excessif (Fyfe et al., 2013; Kääriäinen et al., 2000; Silder et al., 2010).

En conclusion, nous constatons qu'une FL du BF plus courte peut jouer un rôle autant dans l'apparition d'une première HSI que dans les récives, ce qui nous pousse en tant que clinicien à prendre ce paramètre en compte dans les programmes de prévention des blessures et de réadaptation (Wing & Bishop, 2020).

##### 2.2.4.2.2 *La force*

Concentrique :

D'après les dernières informations publiées dans la littérature, la force concentrique ne semble pas être un facteur de risque de blessure aux ischio-jambiers. En effet, selon Green et al. (2018, 2020), de nombreuses preuves soulignent le fait que les qualités de force en concentrique à toutes les vitesses isocinétiques (60-300°/s) n'ont aucun effet sur l'apparition des HSI. Ces mêmes auteurs ont confirmé leur propos deux ans plus tard avec une nouvelle méta-analyse qui arrive à la conclusion que les évaluations concentriques n'ont pas de validité prédictive des HSI (Green et al., 2018, 2020). Ces propos peuvent paraître contradictoires avec le fait que des muscles plus forts offrent une plus grande protection contre les blessures (Suchomel et al., 2016), mais il y a une explication potentielle de la raison pour laquelle les évaluations concentriques pourraient ne pas avoir de validité prédictive des HSI. Cela résiderait dans le fait que la force concentrique des ischio-jambiers ne semble pas être affectée à la suite d'une HSI, les athlètes présentant des profils de force isocinétique similaires entre les membres blessés et sains (Bennell et al., 1998; Sugiura et al., 2008; van Dyk et al., 2016).

#### Excentrique :

Au niveau du mécanisme lésionnel, il semblerait que la plupart des HSI se produisent lors la fin de la phase oscillante en raison d'une surcharge excentrique des ischio-jambiers (Danielsson et al., 2020). Il paraîtrait donc logique qu'une faiblesse des ischio-jambiers en excentrique représente un facteur de risque des HSI, car ceux-ci, s'ils sont faibles, ne seraient pas capables de supporter cette surcharge.

La force excentrique est un facteur de risque modifiable important des blessures aux ischio-jambiers selon de nombreux auteurs (Goossens et al., 2015; Opar et al., 2015; J. Orchard et al., 1997; Schuermans et al., 2016; Timmins, Bourne, et al., 2016). Selon la méta-analyse de Green et al. (2020), un manque de force excentrique est associé à un risque de HSI. Cependant, les preuves rapportées par Green et al. (2020) qu'une faiblesse excentrique des ischio-jambiers représente un facteur de risque des HSI sont limitées. Ces résultats sont potentiellement influencés par la méthode et le moment de la mesure (Martin et al., 2022).

De plus, il semblerait que ce facteur de risque soit amplifié s'il est associé à de la fatigue musculaire. En effet, la fatigue semble avoir un impact négatif plus important sur les mesures isométriques et excentriques par rapport aux mesures concentriques (Carmona et al., 2018; Greig, 2008; Kilduff et al., 2008; Lord et al., 2018; Lovell et al., 2016; Pinto et al., 2018), ce qui est un point crucial à prendre en compte, car si la force excentrique a une plus grande influence sur l'incidence des lésions musculosquelettiques comme décrit par Opar et al. (2012), alors on peut s'attendre à ce que le risque de blessure soit accru dans des conditions de fatigue (Ripley, 2021), cela en raison de la capacité de la fatigue musculaire à réduire l'énergie nécessaire pour provoquer une défaillance structurelle (Opar et al., 2012).

La force excentrique des ischio-jambiers est l'outcome principal évalué dans cette revue systématique. Des explications relatives aux outils de mesure de celle-ci ainsi que leur validité prédictive vont être données dans un prochain chapitre de ce travail.

#### Isométrique :

À ce jour, il n'existe qu'un nombre limité de preuves sur la relation de la force isométrique avec l'occurrence des HSI. D'après le peu de littérature disponible à ce sujet, il semblerait tout de même qu'une amélioration de la force isométrique offrirait un effet protecteur sur l'apparition

des HSI (Charlton et al., 2018a, 2018b; Green et al., 2020). Ripley (2021) hypothétise que des muscles plus forts devraient subir moins fréquemment de blessure.

#### 2.2.4.2.3 *Les autres facteurs de risque modifiables*

Il existe d'autres facteurs de risque modifiables pour les HSI. Par exemple, le manque de contrôle moteur du tronc et des ischio-jambiers (Green et al., 2020). On peut également mentionner les déficits de puissance et de fonction balistique lors des sauts ainsi que le manque d'activité électromyographique des muscles du tronc lors de la phase oscillante du sprint qui sont également des facteurs importants (Green et al., 2020). Toutefois, nous n'approfondirons pas ces aspects dans ce cadre théorique, car ils ne constituent pas une priorité pour la suite de ce travail.

### 2.3 L'exercice du Nordic Hamstring

Les blessures aux ischio-jambiers sont endémiques dans les sports de course à haute vitesse et plus de 80% des blessures concernent le BFH. (Bourne et al., 2015; Koulouris et al., 2007; Opar et al., 2015; Verrall et al., 2003). Ces résultats soulignent la nécessité d'améliorer les programmes de prévention des blessures aux ischio-jambiers tout en suggérant également la possibilité que ces programmes ciblent spécifiquement la BFH. (Bourne, Duhig, et al., 2017).

Dans cette optique-là, le Nordic Hamstring Exercise (NHE) a été largement recommandé ces dernières années. (Llurda-Almuzara et al., 2021). Le NHE est un exercice en chaîne cinétique fermée permettant un travail excentrique des ischio-jambiers (Launay, 2020), il se réalise habituellement avec un tempo lent ce qui permet d'obtenir un temps sous tension musculaire élevé avec des courses musculaires relativement longues (Alt et al., 2018). De par les charges excentriques supra-maximales qu'il impose aux ischio-jambiers, il permet d'améliorer leur force de manière sélective et d'améliorer l'équilibre des muscles de la cuisse en équilibrant le rapport de force entre les extenseurs et les fléchisseurs de genou (Delahunt et al., 2016; Ditroilo et al., 2013; Guex & Millet, 2013). Sa première utilisation en recherche clinique remonte à 2004 lorsque Mjølnes et al. ont évalué son efficacité sur la force excentrique.

Aujourd'hui, après les publications de nombreuses études sur le sujet (B. W. Freeman et al., 2019; Ribeiro-Alvares et al., 2018; Seymore et al., 2017), ainsi que des revues et méta-analyses telles que celle de Meideros et al. en 2020, nous pouvons affirmer que l'utilisation du NHE pour augmenter la force excentrique des ischio-jambiers est avérée. (Llurda-Almuzara et al., 2021). De plus, en raison de sa capacité à augmenter la force excentrique des ischio-jambiers, d'autres méta-analyses sont arrivées à la conclusion qu'inclure le NHE comme exercice de prévention des blessures permettrait de réduire le risque de blessure aux ischio-jambiers jusqu'à 51%. (Al Attar & Alshehri, 2019; van Dyk et al., 2019).

Certains auteurs ont remis en question son utilisation par le passé (Tyler et al., 2017) en raison du désaccord présent dans la littérature quant au muscle le plus actif pendant cet exercice (Bourne et al., 2016; Bourne, Williams, et al., 2017; Ditroilo et al., 2013; Mendiguchia et al., 2013). Il a été mis en évidence par Bourne et al. en 2015 et en 2016 que le NHE active préférentiellement le semi-tendineux. Selon Van den Tillar et al. (2017) l'activation musculaire du semi-tendineux lors du NHE atteint presque 70% contre 40% pour le BF par rapport aux valeurs observées pendant le sprint (van den Tillaar et al., 2017). Cependant, Bourne et al. (2016) affirment aussi qu'ils ont observé un taux d'activation important de la BFH lors de cet

exercice, ce qui suggère que le NHE pourrait tout de même fournir un stimulus assez puissant d'adaptation au sein du muscle (Bourne et al., 2015; Koulouris et al., 2007; Opar et al., 2015; Verrall et al., 2003).

La revue systématique de Llurda-Almuzara et al. (2021), ayant pour but d'évaluer l'activité de la BF<sub>lh</sub>, est arrivée à une conclusion allant dans le même sens car, elle assure que le NHE est associé à la plus grande activité musculaire de la BF<sub>lh</sub>. (Llurda-Almuzara et al., 2021). De plus, le NHE n'est pas intéressant uniquement parce qu'il permet des niveaux d'activation élevés des ischio-jambiers, mais aussi car il permet ceux-ci à des angles articulaires similaires aux angles auxquels l'activation maximale des ischio-jambiers se produit pendant le sprint, ce qui pourrait expliquer son potentiel de prévention des HSI (van den Tillaar et al., 2017). Cependant, une revue systématique publiée en 2021 a signalé la présence de certains problèmes méthodologiques dans d'autres revues systématiques publiées sur le sujet, telle que celle de Van Dick et al. (2019), ce qui amènerait à une surestimation des bénéfices du NHE (Impellizzeri et al., 2021). De plus, cet exercice ne vient pas sans ses inconvénients.

Premièrement, une des limites du NHE est qu'il est un exercice monoarticulaire ne sollicitant que l'articulation du genou, ce qui n'est pas représentatif du mécanisme lésionnel des HSI résultant d'une extension de genou et d'une flexion de hanche simultanée (Chumanov et al., 2007, 2011; Schache et al., 2009, , 2013). Cet élément suggère que le NHE doit être couplé avec d'autres exercices pour combler ce manque (Owen et al., 2014).

Deuxièmement, un des problèmes principaux lié au NHE est son manque de compliance. Malgré le fait que les équipes européennes de football UEFA qui utilisaient le NHE dans leurs programmes avaient un taux d'incidence de blessures aux ischio-jambiers moindre, uniquement 13% d'entre elles l'ont intégré à leur programme lors de la saison 2020/21 (Ekstrand et al., 2022). Le NHE ne serait pas adopté par de nombreux athlètes en raison des inconforts ressentis liés aux "delayed onset muscle soreness" (DOMS) et les difficultés à le mettre en place dans des programmes d'entraînement (Ekstrand et al., 2022, Morgan & Proske, 2004 et Ripley et al., 2021). En effet, plus de 125 clubs ne l'utilisaient pas et cela représente 83,3 % des équipes sondées (Bahr et al., 2015). Or, une grande partie de l'efficacité de l'entraînement en excentrique dans le temps repose sur la compliance des athlètes à le suivre (Goode et al., 2015). Bahr et al., en analysant l'utilisation du NHE par les équipes de l'UEFA Champions League au cours des saisons 2012-2013 et 2013-2014, ont démontré que si le NHE était insuffisamment utilisé, il se révélait en définitive inefficace. Ripley et al. (2021) arrivent à des conclusions similaires dans leur méta-analyse en affirmant que c'est avec une compliance de 75.1% que l'on peut augmenter l'effet préventif d'une intervention de 139%.

À ce jour, le NHE reste une intervention qui ne fait pas l'unanimité en se basant sur les données présentes dans la littérature. En raison de son efficacité à réduire le risque de blessures qui a récemment été remise en cause et de sa faible compliance, il est pertinent d'explorer d'autres options. Une nouvelle piste de prévention a fait son apparition dans la littérature dernièrement, celle-ci suggère que le sprint, du fait qu'il active les ischio-jambiers de manière maximale (Higashihara et al., 2015; Yu et al., 2008) pourrait éventuellement fournir des adaptations spécifiques telles qu'une augmentation de la force excentrique des ischio-jambiers et potentiellement protéger les ischio-jambiers contre les blessures (B. W. Freeman et al., 2019).

De plus le London International Hamstring Injury consensus group chargé de définir les éléments clés de la prise en charge des HSI, suggérait que le sprint n'avait pas été suffisamment priorisé en rééducation et que des recherches futures étaient nécessaires (Paton et al., 2023).

La réalisation du NHE, de sa position initiale à finale, est illustrée en *figure 1*.

Figure 1 : Le Nordic Hamstring Exercise

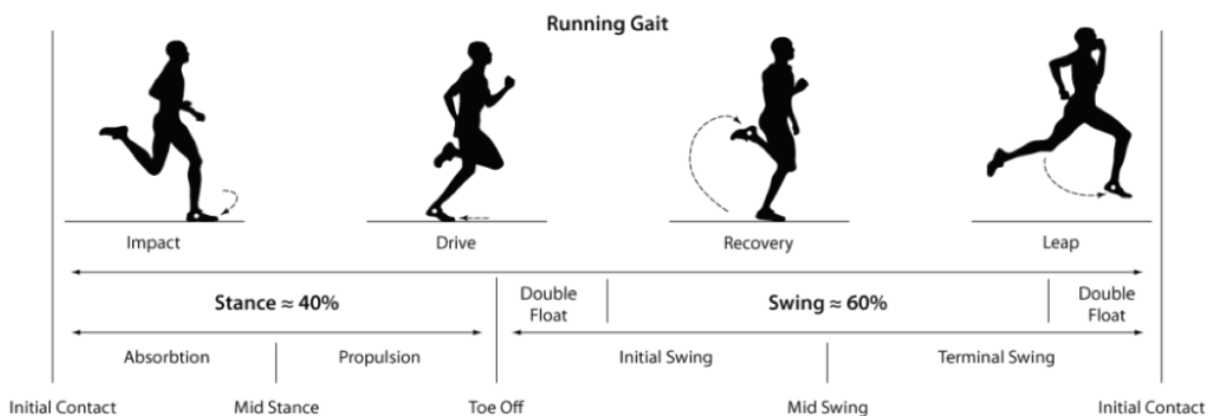


Photos réalisées par L. Chabot & J. Rothenbuhler (2024)

## 2.4 Le sprint

La biomécanique du sprint comporte deux phases distinctes : *stance or support phase* (phase d'appui) et *swing or recovery phase* (phase oscillante) (Higashihara et al., 2015; Kapri et al., 2021). La phase d'appui est subdivisée en trois parties. Elle débute par l'amorti d'un seul pied sur le sol, se poursuit avec le passage du bassin en avant de cet appui et se termine avec le décolllement des orteils. Sa première partie passe par une phase d'absorption de l'énergie et la deuxième partie par une phase de propulsion (Kapri et al., 2021). En suivant la même logique, la phase oscillante débute lorsque le pied quitte le sol et se termine avec l'attaque du pied. Entre ces deux phases, se trouve le milieu de la phase aérienne (Higashihara et al., 2015; Kapri et al., 2021). La *figure 2* ci-dessous illustre ces propos.

Figure 2 : Cycle de course



Tiré de : The Run Centre : 4-Point Run Analysis Kintec

Une foulée complète représente le décolllement d'un pied et la reprise de contact de ce même pied avec le sol (Kapri et al., 2021). La *stand phase* correspond à environ 40% du cycle de course et la *swing phase* à environ 60% (Higashihara et al., 2015). Ces pourcentages sont bien évidemment variables d'un individu à l'autre et dépendent des caractéristiques inhérentes au coureur et à sa vitesse de course (Kapri et al., 2021). Chez Yu et al. (2008), lors d'un examen de sprint, la proportion de la *stance phase* lors du cycle était de 26,6% et donc d'une *swing phase* plus considérable.

Le travail des IJ est présent durant toute l'étendue de ce cycle, mais comporte entre eux des différences notables. Les IJ produisent une force excentrique lors de la phase tardive de la *swing phase* et de la *stance phase*, ce pic est visible sur les trois IJ bi-articulaires (Yu et al., 2008). Les données présentes dans la littérature montrent une vitesse de contraction excentrique significativement plus importante lors de la phase tardive de la *swing phase* que lors de la phase tardive de la *stance phase*, et à l'inverse, une vitesse d'allongement de la portion muscle-tendon plus rapide lors de la phase tardive de cette dernière (Yu et al., 2008). En revanche, le SM et le BF atteignent le plus grand allongement lors de la fin de la *swing phase* (Yu et al., 2008). C'est à ce moment que la hanche atteint une flexion maximale et que le genou se tend, le muscle se retrouve ainsi dans la course la plus externe possible (Kenneally-Dabrowski et al., 2019).

En résumé, d'un point de vue biomécanique, le BFIh a le pic d'allongement le plus grand avec un changement de 12% par rapport à la position de repos, le ST a la plus grande vitesse d'allongement et le SM produit la force la plus élevée en absorbant l'énergie et générant le plus de puissance (Schache et al., 2012).

Quant à l'activation musculaire des IJ, celle-ci est maximale lors de la phase précoce de l'appui au sol et lors de la phase tardive de la phase oscillante (Yu et al., 2008). Le BF, spécifiquement, montre une activation importante durant le début de la phase de contact avec le sol et lors de la fin, avec une différence significative en faveur de la phase initiale (Higashihara et al., 2015). À l'inverse, le ST et le SM, les IJ situés plus médialement ont une activation plus conséquente lors de la phase tardive de la *stance phase* et du milieu de la phase oscillante en comparaison à celle retrouvée avec le BF (Higashihara et al., 2015). De plus, le BF est significativement le moins actif lors de la première partie de la phase oscillante (Higashihara et al., 2015). Ces résultats suggèrent une demande sur le BF relativement conséquente avant et après le contact du pied au sol, lors de cette phase critique incriminée dans les HSI (Higashihara et al., 2015).

Van den Tillar et al. (2017), en analysant l'activation des IJ lors de divers exercices recrutant ces muscles, montrent que l'activation musculaire du SM et du BF est la plus élevée à vitesse de sprint maximale en comparaison aux autres interventions. Des résultats similaires ont été obtenus dans une autre étude et les auteurs indiquent que le sprint semble être l'unique solution afin d'obtenir une activation musculaire importante (Prince et al., 2020).

Dans le contexte de la mécanique du sprint, il est établi que les IJ constituent un élément essentiel à la production de force horizontale, laquelle permet la propulsion (Morin et al., 2015). Cette action est réalisée par les extenseurs de hanche, dont les fessiers et les IJ (Morin et al., 2011, 2012). Les recherches approfondies de Morin et al., en 2015, révèlent que la capacité d'un athlète à générer une force excentrique conséquente lors de la phase terminale de la phase oscillante est directement liée à l'activation efficace du BFIh. Une lésion des IJ peut

impacter négativement cette production de force et de surcroît la performance au sprint. Par ailleurs, les observations réalisées chez les athlètes pourraient servir d'indicateurs prédictifs de blessures futures aux IJ et représentent donc un outil de dépistage prometteur pour les HSI (Edouard et al., 2019). Il convient dès lors, de prendre en compte ces spécificités lors de la prescription d'exercices, en cherchant notamment des exercices des IJ qui ciblent la production de force horizontale et qui atteignent une activation musculaire la plus haute possible afin d'être le plus proche des conditions que l'on retrouve lors du sprint (Prince et al., 2020). Ces exercices offriraient une approche de qualité dans la prévention secondaire des HSI et seraient également bénéfiques dans le cadre d'une recherche de performance chez l'athlète (Prince et al., 2020).

## 2.5 La force excentrique

Différents outils existent pour évaluer les trois types d'action musculaire (Ripley, 2021). L'évaluation de la force concentrique et isométrique ne sera pas abordée dans ce travail en raison de leur faible association avec les HSI (Green et al., 2018, 2020). En revanche, réaliser des évaluations de force excentrique semble plus pertinent, car elles sont plus représentatives du mécanisme lésionnel et pourrait posséder une validité prédictive des HSI plus grande, tout en permettant à l'athlète de retrouver l'action musculaire ressentie lors de la fin de la phase oscillante du sprint (Ripley, 2021).

Le premier outil de mesure utilisé est l'appareil isocinétique. Selon Green et al. (2018), les évaluations isocinétiques excentriques à 60°/s ont un effet prédictif des HSI. Cependant, certaines études ont remis en question cette validité prédictive (Bennell et al., 1998; Green et al., 2018; Lee et al., 2018; van Dyk et al., 2016; van Dyk, Witvrouw, et al., 2018; Yeung et al., 2009). Ripley, en 2021, suggère tout de même que nous devrions considérer les évaluations isocinétiques excentriques avec plus d'attention, car elles ont une validité prédictive et une association avec les HSI plus élevées. Les avis dans la littérature restent donc partagés.

Malgré que les mesures de force excentriques à l'isocinétisme n'aient pas été concluantes, de par leurs limitations à prédire une future HSI avec validité (Ripley, 2021), cet outil de mesure reste la méthode de référence en laboratoire pour mesurer la force d'une articulation individuelle (Aagaard et al., 1998; Bennell et al., 1998; Croisier et al., 2008; van Dyk, Bahr, et al., 2018; van Dyk, Witvrouw, et al., 2018; Zakas, 2006; Zvijac et al., 2013). Ce « gold standard » permet d'examiner avec la plus haute précision la force excentrique qui est la mesure d'intérêt principale et recommandée par la littérature dans le cadre des HSI (Green et al., 2018; Opar et al., 2015; Opar, Piatkowski, et al., 2013; Timmins, Bourne, et al., 2016). En revanche, cet outil est coûteux et demande une expertise, du temps et est donc difficile à appliquer à un grand groupe d'athlètes (Opar et al., 2013).

C'est pourquoi, un dispositif alternatif applicable sur le terrain, le « NordBord » a récemment été créé et étudié (Opar et al., 2015; Opar, Piatkowski, et al., 2013). Cet outil utilise des plaques de force pour mesurer la force excentrique des ischio-jambiers lors d'exercices comme le NHE, en évaluant la force verticale produite au niveau des chevilles (Opar, Piatkowski, et al., 2013). Le « NordBord » s'est avéré être une méthode fiable pour évaluer la force excentrique des IJ (Opar, Piatkowski, et al., 2013; Opar, Williams, et al., 2013). Les performances typiques enregistrées varient de 200N pour les jeunes à 700N pour les athlètes seniors de sport d'équipe d'élite (Bourne et al., 2015; Buchheit et al., 2016; Franchi et al., 2019;

Opar et al., 2015; Roe et al., 2020; Roe, Malone, et al., 2018; Timmins, Bourne, et al., 2016; van Dyk, Witvrouw, et al., 2018). Selon plusieurs auteurs, une force de 350N lors du NHE serait le minimum fonctionnel pour réduire le risque de HSI chez les footballeurs de haut niveau (Bourne et al., 2018; Opar et al., 2015; Timmins, Bourne, et al., 2016). Cependant, une méta-analyse récente n'a pas trouvé de lien significatif entre les valeurs de force excentrique évaluées sur le « Noordbord » et l'incidence des HSI (Green et al., 2020). Ils recommandent, pour être plus efficace, de ne pas se focaliser sur un seul test, mais de réaliser un suivi continu (Green et al., 2020). En somme, ces deux outils peuvent être utilisés pour évaluer la force excentrique des IJ avec une certaine capacité à prédire le risque de HSI (Ripley, 2021).

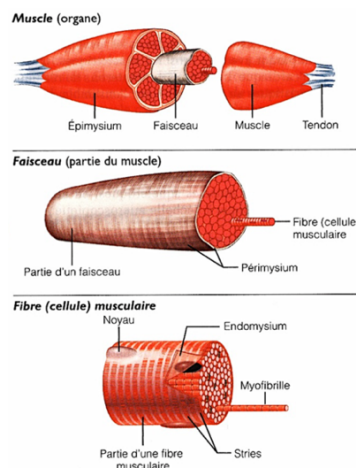
Ces deux méthodes devraient être considérées séparément et comme des méthodes alternatives d'évaluation, car elles ne révèlent pas les mêmes variabilités de force-longueur durant l'examen des IJ (Wiesinger et al., 2020). Ces auteurs ont comparé ces deux outils et ont trouvé une faible corrélation entre eux ( $r = 0.58$ ).

Une troisième méthode de mesure est présente dans la littérature. Celle-ci consiste à effectuer une analyse vidéo du NHE. Cela permettrait d'évaluer la force excentrique en fonction de l'angle du point de rupture obtenu lors du NHE (Lee et al., 2017, 2018). Cette méthode semble prometteuse, car elle est étayée dans la littérature avec des associations significatives allant d'importantes à très importantes entre l'angle du point de rupture et le pic de couple excentrique des ischio-jambiers à 30 et 60°/s (Lee et al., 2017, 2018; Sconce et al., 2015). Cependant, étant récente et moins étudiée que l'isocinétisme et le « Noordbord », d'autres recherches sont nécessaires pour déterminer si cette méthode est suffisamment sensible pour mettre en évidence le risque potentiel d'HSI (Ripley, 2021).

## 2.6 La longueur du fascicule

La composition d'un muscle est représentée en *Figure 3* ci-dessous. Le muscle est composé de plusieurs fascicules, contenant jusqu'à 50 fibres musculaires. À l'intérieur de ces fibres, nous retrouvons une multitude de myofibrilles, elles-mêmes formées de millions de sarcomères, la plus petite unité contractile (Bonnel, 2013; Marieb Elaine N, 1999). En résumé, le fascicule est une chaîne de plusieurs sarcomères assemblés en série (Timmins, Bourne, et al., 2016).

Figure 3 : Structure et niveaux d'organisation d'un muscle squelettique



Tiré de : Marieb, E. N. (1999). Anatomie et physiologie humaine

Le fascicule est une structure plastique, car elle a la capacité de s'adapter à la suite de divers stimuli. Notamment, les exercices de renforcement en excentrique ont démontré des gains plus importants que ceux en concentrique dans l'allongement du fascicule. (Potier et al., 2009; Seynnes et al., 2007). Les entraînements plus conventionnels, mêlant ces deux phases de contractions offrirait des résultats positifs nets en ce sens. Ceux réalisés en isométrique n'apporteraient aucun changement (Ripley, 2021). En revanche, il n'y a pas de consensus clair sur le type de contraction à appliquer préférentiellement, néanmoins la plupart des études s'accordent sur le fait que l'entraînement en excentrique accroîtrait la FL, à l'inverse du concentrique qui la diminuerait (Ripley, 2021; Timmins, Bourne, et al., 2016).

Plusieurs causes ont été incriminées dans la perturbation de l'architecture du muscle, telles que l'immobilisation prolongée ou une lésion (Campbell et al., 2013; Narici et al., 2003; Raj et al., 2010; Timmins et al., 2015; Timmins, Ruddy, et al., 2016). Timmins et al. (2015) ont décrit une diminution significative de la BFlh après un arrêt de seulement 28 jours chez des sujets ayant au préalable augmenté la BFlh à la suite d'un entraînement en excentrique. Les athlètes ayant subi une HSI durant les dix-huit derniers mois avaient une FL de la BFlh réduite comparée à leur membre sain (Timmins et al., 2015).

Par ailleurs, la FL influence grandement la fonction musculaire, notamment le profil force-vitesse et force-longueur (Timmins, Shield, et al., 2016). Un muscle long aura une présence de sarcomères en son sein plus élevée qu'un muscle plus court (Bonnell, 2013). Il a été démontré, par exemple, qu'un muscle comprenant un nombre de sarcomères en série plus important avait la capacité de se raccourcir encore plus rapidement. De plus, un muscle plus long serait capable de produire plus de force également (Bonnell, 2013).

Finalement, lorsque le stress mécanique génère une tension supra-physiologique, il en résulte une rupture à l'intérieur des sarcomères, précisément, des ponts actine-myosine (Fridén & Lieber, 2001). Un nombre plus important de sarcomères, et donc de liaisons entre eux, améliore la capacité du muscle à générer des forces actives-passives à des amplitudes plus extrêmes et réduirait ainsi le risque de HSI survenant dans ces amplitudes notamment lors du sprint durant la phase tardive de la phase oscillante (Morgan & Proske, 2004; Timmins, Shield, et al., 2016). La sarcomerogenesis, l'addition de sarcomères en série, serait le mécanisme d'adaptation clé survenant après un entraînement en excentrique (Morgan & Proske, 2004).

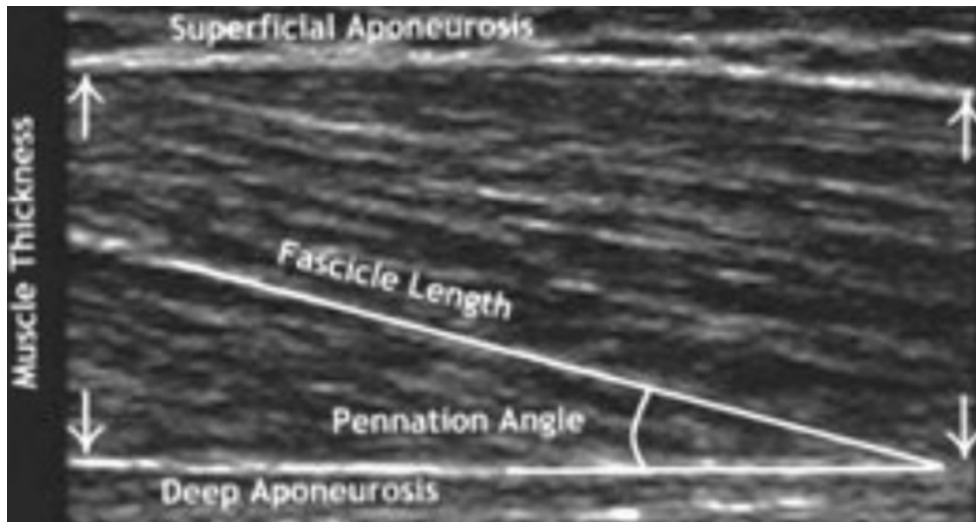
De ce fait, en raison de son rôle mécanique, il est crucial de connaître sa taille. Nous allons, dès lors, expliquer les méthodes existantes dans la littérature pour évaluer les paramètres d'architecture d'un muscle.

Aujourd'hui, l'IRM est le « gold standard » afin d'accéder à une image de qualité et de définir avec précision les différentes structures, notamment, le fascicule musculaire (Timmins, Shield, et al., 2016). Sa limitation est le coût élevé et la durée relativement longue de l'examen (Timmins, Shield, et al., 2016).

En clinique, l'imagerie par ultrasons se révèle être une excellente alternative, offrant la possibilité à l'examineur d'accéder à des images in vivo, de façon rapide et à un coût nettement inférieur (Timmins et al., 2015; Timmins, Ruddy, et al., 2016; Timmins, Shield, et al., 2016). Ces images en 2D permettent de déterminer les paramètres de l'architecture du muscle dont la FL, qui est la longueur du point d'attache sur l'aponévrose profonde à la

superficielle (Blazevich et al., 2006; Timmins, Ruddy, et al., 2016; Timmins, Shield, et al., 2016). L'aponévrose est un tissu conjonctif reliant les deux points d'attache du muscle et sur lequel viennent se fixer les fascicules (Bonnell, 2013). La *figure 4* ci-dessous représente une image obtenue par ultrason d'un BF.

Figure 4 : Image par ultrasons du BF décrivant les paramètres d'architecture



Tiré de : de Oliveira et al., (2016)

Généralement, le FOV (field of view) d'une sonde échographique varie entre 3,8 et 10 cm, ce qui ne permet pas, dans certains cas, une visualisation complète du fascicule (Narici et al., 2003; Timmins, Shield, et al., 2016). Cette problématique peut se présenter lorsque la longueur du fascicule est supérieure à 10 cm. Il existe alors des équations afin d'estimer celle-ci (Pimenta et al., 2018; Ripley, 2021). Ces méthodes utilisent des règles de trigonométrie à l'aide de l'épaisseur du muscle et de l'angle de pennation pour déterminer la FL. La méthode la plus récente cherche à estimer uniquement la portion du fascicule non visible (Freitas et al., 2018; Pimenta et al., 2018). Elle permet de diminuer le risque de sur ou sous évaluer la longueur totale en s'intéressant à une portion d'intérêt moindre ce qui conduit à une marge d'erreur plus réduite (Ripley, 2021).

Cependant, l'échographie présente des risques de mesure et des difficultés de reproductibilité. Les compétences de l'examineur influencent grandement la reproductibilité des résultats (Kurihara et al., 2005). Par exemple, l'orientation de la sonde est susceptible de les changer (Klimstra et al., 2007). Il est donc recommandé d'utiliser un seul examineur lors d'une étude qui détermine la FL, afin de réduire les risques de biais (Kwah et al., 2013). Les athlètes ont généralement des FL plus longs et donc lors de la mesure, le risque d'erreur est plus élevé (Ripley, 2021). Finalement, un FOV plus important aiderait à estimer avec une meilleure fiabilité la longueur réelle du BFih (Ripley, 2021).

### 3. Problématique et objectif de notre travail

Considérant la difficulté d'application et de compliance dans l'exercice Nordic Hamstring Exercice (NHE), il semblerait important d'explorer de nouvelles pistes dans la prise en charge des ischio-jambiers.

Le Nordic Hamstring Exercice (NHE) est largement reconnu comme une intervention préventive efficace, améliorant la force et la longueur du fascicule du long chef du biceps fémoral, principal muscle impliqué dans les HSI (Bourne, Duhig, et al., 2017; Opar et al., 2015; van der Horst et al., 2015). Cependant, il présente des limitations (Ekstrand, Bengtsson, Walden, et al., 2022; Goode et al., 2015; Ripley et al., 2021). De plus, son efficacité a été remise en cause dans une méta-analyse récente (Impellizzeri et al., 2021).

Pour cela, il semble pertinent de chercher d'autres alternatives. Par ailleurs, le sprint, en raison de sa haute charge excentrique sur le biceps fémoral, suscite l'intérêt comme alternative potentielle au NHE dans la prévention des HSI (Edouard et al., 2019; Oakley et al., 2018). En outre, étant donné que le sprint est souvent le mécanisme lésionnel des HSI, il pourrait être utilisé en rééducation en se rapprochant au plus près de la pratique du patient.

Notre revue contribuera à explorer le manque de recherches sur les effets préventifs du sprint dans ce domaine. Cette comparaison permettra de déterminer si le sprint pourrait constituer une alternative viable au NHE, offrant potentiellement une meilleure compliance tout en préservant l'efficacité dans la prévention des HSI.

En tant que futurs professionnels, les résultats de cette revue aideront à guider nos pratiques de rééducation et de prévention des blessures aux ischio-jambiers, en nous permettant d'acquérir les meilleures connaissances existantes à ce jour sur le sujet.

Nous souhaitons répondre à cette problématique au travers de la question de recherche suivante et décrite dans le *tableau 1* sous forme de PICO :

*Quelle intervention a le meilleur impact entre le NHE et le sprint sur les facteurs de risque modifiables des blessures aux ischio-jambiers, tels que la force en excentrique et la longueur du fascicule du long chef du biceps fémoral chez les athlètes ?*

Tableau 1 : PICO

Population	Athlètes
Intervention	Nordic Hamstring Exercise
Comparateur	Entraînement basé sur le sprint
Outcomes	Force en excentrique des ischio-jambiers et la longueur du fascicule du long chef du biceps fémoral

L'objectif de notre travail est de comparer les effets du NHE au sprint sur les facteurs de risque modifiables des blessures aux ischio-jambiers, tels que la force en excentrique des ischios et la longueur du fascicule du biceps fémoral chez des athlètes. Notre hypothèse serait que le sprint apporte des bénéfices similaires au NHE sur ces deux facteurs de risque modifiables.

## 4. Méthodologie

### 4.1 Design de l'étude

Afin de répondre au mieux à notre problématique, nous avons décidé de mener une revue systématique d'efficacité de type quantitative, qui est l'approche la plus pertinente selon notre question de recherche et nos critères d'inclusion, en nous basant sur le guide proposé par Munn (2020). Dans un souci de qualité scientifique, nous avons suivi les recommandations du guide méthodologique "JBI Manual for Evidence Synthesis. Chapter 3 : systematic reviews of effectiveness" présent en annexe I (Tufanaru C, Munn Z, Aromataris E, Campbell J, Hopp L., 2024). L'objectif est de respecter cette méthodologie afin de non seulement diminuer les risques d'erreurs et de biais durant le processus de recherche, mais aussi de pallier ainsi à notre manque d'expérience.

### 4.2 Stratégie de recherche

Nos recherches ont été réalisées sur les quatre bases de données suivantes : Medline (PubMed), the Cochrane Library, Embase et PEDro. Ces différentes bases de données offrent du contenu littéraire en médecine, en sciences humaines, biologiques et physiques, mais également des informations qui ont trait à la physiothérapie spécifiquement. Leur contenu est basé sur des preuves scientifiques et est actualisé très fréquemment. Nous avons par ailleurs utilisé le site de recherche scientifique sémantique ResearchGate et les moteurs de recherche Google Scholar et Semantic Scholar dans le but de retrouver nos articles en texte entier sous format PDF, d'étoffer la recherche et pour le suivi de citations. Nos recherches ont débuté le 22 janvier 2024 et les dernières ont été effectuées le 6 mars 2024. Afin d'être le plus transparent possible dans la transmission de notre recherche, nous avons suivi les conseils du guide décrit par Aromataris and Riitano (2014) recommandé par le JBI. Notre équation de recherche a été examinée par un bibliothécaire expérimenté en recherche.

### 4.3 Critères d'inclusion et d'exclusion

#### Critères d'inclusions :

#### *Population*

Ce sujet étant encore peu étudié dans la littérature, nous avons décidé d'inclure une population assez large regroupant des athlètes, autant amateurs que professionnels. Pour ce qui est du sexe de notre population, nous avons inclus les genres masculin et féminin.

Bien que les blessures aux ischio-jambiers soient le plus fréquentes dans les sports de pivots et de course à haute vitesse (Paton, Read, Van Dyk, et al., 2023), nous avons décidé de ne pas limiter notre recherche à des sports particuliers, cela afin de maximiser le nombre de résultats.

#### *Intervention/comparaison*

Les études devaient comparer un programme d'entraînement incluant le NHE à un programme d'entraînement basé sur le sprint spécifiquement ou de façon additionnelle à un programme de base. Le NHE devait être effectué selon des protocoles décrits dans la littérature ayant apporté au moins une amélioration de l'un de nos deux outcomes, à savoir entre 2 et 3 séries

de 4 à 12 répétitions avec 3 min de pause entre les séries (Delextrat et al., 2020; Petersen et al., 2011; Presland et al., 2018; Seagrave et al., 2014). L'entraînement au sprint devait se rapprocher le plus possible des protocoles existants pour améliorer l'un de nos deux outcomes au minimum, à savoir entre 6 et 10 séries sur 20-40 mètres au minimum avec 5 min de pause entre les séries (Duhig et al., 2016; B. W. Freeman et al., 2019). La durée des programmes devait être de quatre semaines au minimum, à raison de deux séances par semaine, afin que l'intervention puisse apporter des changements mesurables et selon les données des protocoles existants. Le temps de repos entre les séances devait être de 24h au minimum pour ne pas polluer les résultats avec une variable de fatigue. D'autres activités pouvaient être pratiquées par les différents groupes tant que celles-ci étaient similaires entre elles, que ce soit en termes de fréquence, de durée et d'intensité.

### *Outcomes*

Les outcomes recherchés étaient la force en excentrique des ischio-jambiers ainsi que l'architecture du BF. La force devait représenter tout type de force, tels que, la force maximale, la force relative et le couple maximal, mesurés à l'aide d'outils appropriés (plaques de force, dynamomètre, isocinétisme) lors de la phase excentrique spécifiquement.

L'architecture du BF devait évaluer la FL de la BFIh avec l'outil de mesure approprié (ultrason). En utilisant une équation pour en estimer la taille lorsque le FOV ne permettait pas de le faire directement.

### *Types d'études*

Nous avons cherché à inclure principalement des études randomisées contrôlées (RCT) en raison de leur haut niveau de preuves et à minima d'études ayant réalisé une randomisation des deux groupes lorsque celles-ci n'étaient pas décrites directement en tant que RCT.

### Critères d'exclusions :

Nous avons exclu les études qui traitaient la rééducation des blessures aux ischio-jambiers ainsi que les articles ayant pour population des athlètes ayant subi une blessure aux ischio-jambiers spécifiquement ou plus généralement sur les membres inférieurs dans les six derniers mois, car, elles ne rentraient pas dans le cadre de ce travail. L'impact que peuvent avoir ces lésions sur les performances musculaires est variable d'un sportif à l'autre. Cette hétérogénéité potentielle diminue la possibilité d'avoir des groupes comparables afin d'interpréter les résultats avec confiance.

Afin que nous puissions répondre à notre question de recherche, nous avons exclu les articles qui évaluaient l'impact du NHE ou bien du sprint uniquement, notre but étant de comparer ces deux interventions.

Nous avons aussi exclu les études de cas, en raison de leur faible niveau de preuve.

De plus, pour des raisons de bonne qualité de compréhension, les articles écrits dans d'autres langues que le français et l'anglais n'ont pas été pris en compte.

Nos critères d'inclusion et d'exclusion sont résumés dans le *tableau 2* suivant :

Tableau 2 : Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Athlètes</li> <li>▪ Femmes et hommes</li> <li>▪ Comparaison entre le sprint et le NHE</li> <li>▪ RCT</li> <li>▪ Études interventionnelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Blessure récente (&lt; 6 mois)</li> <li>▪ Intervention NHE seule</li> <li>▪ Intervention sprint seule</li> <li>▪ Études de cas</li> <li>▪ Langues autres que français et anglais</li> </ul>

#### 4.4 Équations de recherche et mots clés utilisés

Nous avons commencé à étudier la littérature autour des ischios-jambiers en novembre 2023. Ce premier contact nous a permis de nous familiariser avec la terminologie utilisée et d'avoir une question de recherche plus ciblée. Nous détaillons les différentes recherches effectuées dans les quatre bases de données. En annexe, sont présents les tableaux de nos équations de recherche.

##### Medline (Pubmed) :

La dernière recherche a été effectuée le 6 mars 2024.

Nous avons d'abord passé en revue la littérature globale sur les ischios-jambiers afin de nous familiariser avec les termes utilisés. Diverses petites pré-recherches avec les mots « hamstring » et « hamstring strain injury » ont été faites. La lecture des titres/abstract ainsi que des MeSH terms utilisés dans les études a été utile pour déterminer notre équation de recherche plus spécifique selon notre PICO. Nous avons intégré les MeSH de la base de données de PubMed quand ceux-ci étaient présents. Nous avons par la suite rajouté des mots-clés afin d'obtenir des résultats de recherche plus exhaustifs. Lorsque c'était nécessaire, des termes ont été traduits à l'aide du thésaurus HeTOP. Nous avons utilisé les opérateurs booléens de la façon suivante : l'élément « OR » pour connecter les mots-clés des différentes catégories ci-dessous et l'élément « AND » pour assembler les quatre catégories dans une même équation de recherche. Nous avons obtenu **225** résultats avec l'équation décrite dans le *tableau 3* suivant.

Tableau 3 : Équation de recherche sur Medline (Pubmed) effectuée le 6 mars 2024

Base de données	Équations booléennes		Résultat
<b>Medline (PubMed)</b>	<b>Ischio-jambiers</b>	(hamstring* OR hamstring OR Hamstring muscle OR hamstring muscles OR "biceps femoris" OR "posterior thigh")	15'255
	<b>Population</b>	(athlete* OR sprint* OR play* OR run*)	1'622'589
	<b>Intervention</b>	(Nordic hamstring exercise OR NHE OR eccentric exercise OR knee exercise OR knee dominant)	11'731

	<b>Comparateur</b>	(sprint* OR sprint training OR run OR runn* OR velocity OR accel* OR speed* OR agility)	1'035'976
	<b>Equation finale</b>	((athlete* OR sprint* OR play* OR run*) AND (Nordic hamstring exercise OR NHE OR eccentric exercise OR knee exercise OR knee dominant)) AND (sprint* OR sprint training OR run OR run* OR velocity OR accel* OR speed* OR agility) AND (hamstring* OR hamstring OR Hamstring muscle OR hamstring muscles OR "biceps femoris" OR "posterior thigh")	225

Nous avons aussi activé une alerte hebdomadaire avec l'équation suivante : « hamstring NHE sprint ».

Les autres recherches effectuées sur les bases de données suivantes : Embase, The Cochrane Library et Pedro sont détaillées en Annexe II, III, IV. Nous transmettons ci-dessous uniquement leurs résultats respectifs :

Embase : **89** résultats, après modification de l'équation **270** résultats / The Cochrane Library : **113** résultats / PEDro : **4** résultats

Quant à la recherche manuelle, elle est également détaillée en annexe V et ses résultats sont transmis dès à présent :

ResearchGate : 0 résultat / Google Scholar : 0 résultat / Semantic Scholar : 0 résultat

Nous avons analysé l'ensemble des quatre bibliographies de nos articles retenus. **Aucun** article n'a pu être intégré dans notre travail à la suite de ce procédé.

#### 4.5 Processus de sélection des études

Nous avons d'abord effectué des recherches dans les différentes bases de données susmentionnées. L'ensemble des résultats a ensuite été collecté et transféré sur Zotero sous format RIS. Chaque examinateur avait sa propre collection et donc chacun a procédé à une analyse individuelle.

Tout au long du processus, nous avons analysé les articles afin qu'ils respectent nos critères d'inclusion et d'exclusion préalablement établis. Nous avons procédé de la façon suivante : Premièrement, chaque doublon a été directement supprimé. Deuxièmement, le tri a été fait à partir de la lecture du titre/abstract seulement. Les raisons devaient être claires afin d'exclure un article sur cette base. Finalement, les derniers articles ont été lus en intégralité afin d'être certains qu'ils répondaient à notre problématique.

À la fin de chaque étape de sélection, à savoir la lecture du titre/abstract puis de l'intégralité des articles, les deux examinateurs ont pris soin de discuter de leurs désaccords avant de passer à l'étape suivante. Si un consensus n'était pas clairement établi, le directeur de ce travail était consulté. Pour ne pas passer à côté d'un article intéressant, une lecture des bibliographies de nos articles sélectionnés a été menée. De plus, nous avons terminé par une recherche manuelle sur Google Scholar, Semantic Scholar et ResearchGate en utilisant les

mots-clés « hamstring », « NHE » et « sprint ». Les données relatives au produit de la recherche pourront être appréciées dans le chapitre résultats sous la forme d'un flow-chart PRISMA 2020 (Page, 2021).

## 4.6 Évaluation de la qualité méthodologique des articles

La qualité méthodologique de trois des articles retenus a été évaluée à l'aide de l'outil Checklist for Randomized Controlled Trials présenté et recommandé par le JBI, détaillé en annexe VI.

Nous avons également utilisé l'échelle PEDro (Physiotherapy Evidence Database) en annexe VII à laquelle nous sommes habitués, car elle est utilisée régulièrement dans le cadre de nos études. Celle-ci est validée pour évaluer la validité interne d'études RCT spécifiquement (de Morton, 2009). Nous avons utilisé la version franco-canadienne traduite par souci de praticité. Cette version est aussi valide selon une étude réalisée pour vérifier la validité de son contenu (Brosseau et al., 2015). Cette échelle, détaillée en annexe, comporte 11 critères différents, dont uniquement 10 sont comptabilisés pour obtenir une note sur 10.

Afin d'évaluer la qualité méthodologique de Mendiguchia 2020, qui est une étude prospective de contrôle interventionnel, nous avons utilisé l'outil Checklist for Quasi-Experimental Studies présenté et recommandé par le JBI, détaillé en annexe VIII.

Chaque examinateur a effectué l'analyse des quatre études de son côté avant d'effectuer une mise en commun des résultats.

## 4.7 Méthodes d'extraction des données

Un tableau d'extraction de données personnalisé a été développé en se basant sur les recommandations du Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions (Cumpston et al., 2019). Il s'agit d'un guide pour établir notre propre tableau d'extraction de données en intégrant les sections que nous jugeons pertinentes. Le JBI Summary est normalement celui présent dans le guide méthodologique "JBI Manual for Evidence Synthesis. Chapter 3 : "systematic reviews of effectiveness" (Tufanaru C, Munn Z, Aromataris E, Campbell J, Hopp L., 2024). Néanmoins, celui-ci étant payant, nous avons cherché une alternative. Les données collectées étaient relatives aux informations suivantes (liste non exhaustive) : lieu de l'étude, design, la population, les méthodes, les objectifs, les interventions/comparateurs et les mesures des résultats sur la force en excentrique et la FL du BF. Un seul examinateur a procédé à la collecte des données. Le deuxième examinateur a vérifié par la suite l'exactitude des informations et les a complétées au besoin. Ce tableau est présent en annexe IX.

## 4.8 Méthodes de synthèse

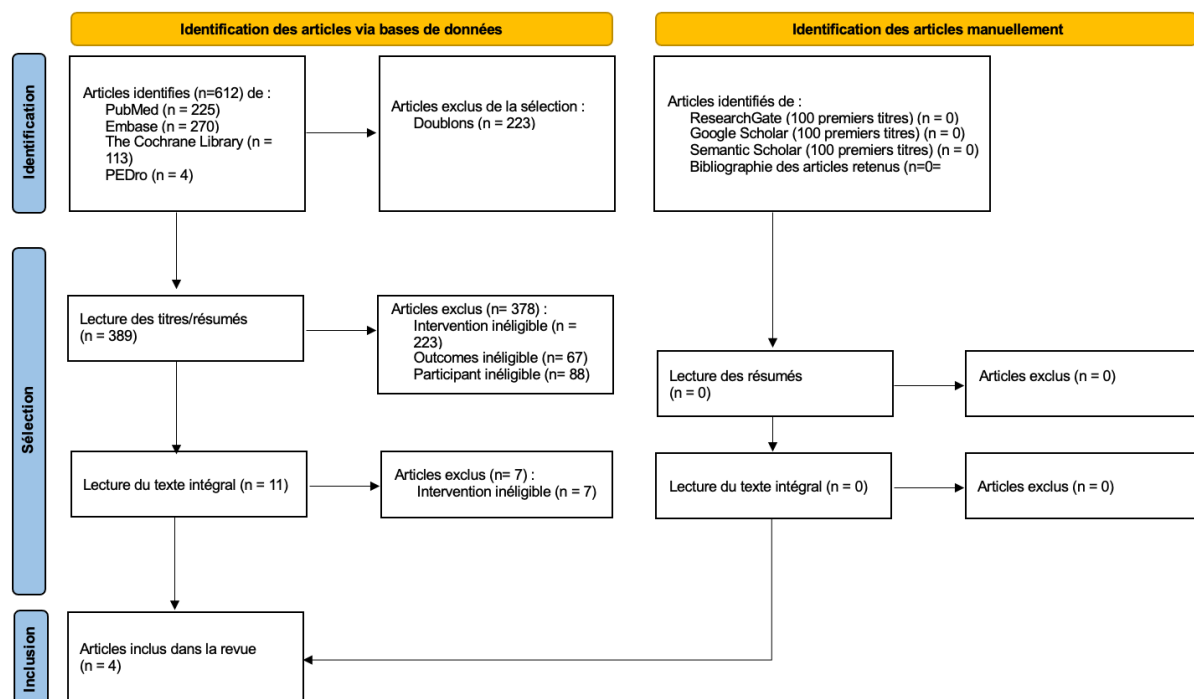
L'ensemble des données sera transmis sous forme d'une synthèse narrative. L'évaluation de l'évolution de la force en excentrique et de la FL du BF intragroupe et intergroupe avant et après intervention sera quantifiée à l'aide de statistiques descriptives (moyenne, écart-type, pourcentage de changement, IC à 95%, valeur p). (Une valeur  $P < 0,05$  a été utilisée pour déterminer la significativité statistique). Nous utiliserons des tableaux, des graphiques de type histogramme et boîte à moustache pour faciliter la lecture des données pré vs post interventions.

## 5. Résultats

### 5.1 Études incluses

La recherche sur les différentes bases de données a permis d'obtenir 612 articles. Aucun article n'a pu être ajouté à l'aide de la recherche manuelle. Après élimination des doublons, 389 articles ont été triés en fonction du titre/abstract dans un premier temps. Les 11 études restantes ont été lues en intégralité, 7 d'entre elles ont été exclues, car elles ne répondaient pas aux critères d'inclusion. Dans le cadre de notre recherche, nous avons donc finalement retenu 4 études. Le processus complet de la sélection des articles ainsi que les raisons d'exclusion sont détaillés dans la *figure 5*.

Figure 5 : Diagramme de flux PRISMA de notre processus de sélection d'articles



### 5.2 Qualité méthodologique

Premièrement, nos trois études randomisées contrôlées, à savoir Freeman et al. (2019), Ripley et al. (2023) et Sancese et al. (2023) ont été évaluées à l'aide de l'outil JBI Checklist for Randomized Controlled Trials.

L'étude qui obtient le meilleur score (11/13) est l'étude de Ripley et al., (2023). Les deux autres études ont le même score (8/13). L'évaluation de la qualité méthodologie a été réalisée par les deux évaluateurs qui ont obtenu les mêmes résultats. L'étude de Ripley et al. (2023) se démarque, car elle n'a eu aucun participant qui a quitté l'étude, ce qui lui octroie les points des questions 8 et 9 qui portent sur le suivi des participants ainsi que de l'analyse des mesures de ceux ayant cessé l'étude. De plus, elle a utilisé un générateur de nombre pour attribuer les sujets à un groupe. Freeman et al. (2019) et Sancese et al. (2023) n'ont donné aucune information à ce propos et il manque des précisions quant à l'allocation des sujets à un groupe.

Freeman et al. (2019) n'expliquent pas les raisons pour lesquelles sept participants ont quitté l'étude et ne transmet pas de données des pourcentages que ces drop-outs représentent dans les différents groupes. Sancese et al. (2023) expliquent que deux de leurs participants ont quitté l'étude en raison de blessures à la cheville et à l'épaule. Néanmoins, ils ne fournissent aucune information sur les effets que cela peut avoir sur leur étude. Pour les trois études, en dehors de leurs interventions respectives, les différents groupes ont respecté les mêmes conditions relatives à leur activité sportive dans le but de diminuer les biais quant à l'efficacité du traitement. Le *tableau 4* ci-dessous montre ces résultats :

Tableau 4 : Résultats de l'évaluation de la qualité méthodologique avec JBI-Critical Appraisal Checklist for randomised controlled trials

Études	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Score
Freeman et al. (2019)	O	N	O	O	N	N	O	N	N	O	O	O	O	8/13
Ripley et al. (2023)	O	O	O	O	N	N	O	O	O	O	O	O	O	11/13
Sancese et al. (2023)	O	N	O	O	N	N	O	N	N	O	O	O	O	8/13

O = OUI ; N = NON

Nous avons également réalisé une évaluation de la qualité méthodologique à l'aide de l'échelle PEDro, détaillée en annexe X.

À la suite de cette évaluation, chaque examinateur a obtenu les mêmes résultats. L'étude de Ripley et al., (2023) obtient donc une qualité haute (score > 7) et Freeman et al. (2019) et Sancese et al., (2023) une qualité moyenne (score 4-5). L'étude de Ripley et al. (2023) se différencie en ayant répondu positivement aux critères « assignation secrète », « en intention de traiter » et en ayant obtenu une mesure chez plus de 85 % des sujets. Le texte fait mention de l'utilisation de générateur de nombres aléatoires pour la répartition des groupes. Elle présente également des mesures chez tous les sujets, car aucun sujet présent au départ de l'étude ne l'a quitté durant le déroulement. Ces critères n'ont pas été respectés chez Sancese et al. (2023) et Freeman et al. (2019). Ce dernier, n'a récolté les mesures que chez 80 % des sujets préalablement inclus dans l'étude. Chez Sancese et al. (2023), ce critère n'est tout juste pas atteint avec un pourcentage de 84,4 %. L'intention de traiter n'est pas spécifiée dans ces deux études, ni l'assignation secrète. Chaque étude a réparti aléatoirement les sujets dans des groupes similaires et comparables au début de l'étude. Les résultats ont également été présentés avec des mesures statistiques adéquates.

La dernière étude, Mendiguchia et al. (2020), qui n'était pas une RCT, a été analysée à l'aide de l'outil « JBI Checklist for Quasi-Experimental Studies ». Mendiguchia et al. (2020) obtient un résultat de 7/9. Le programme de chaque groupe est bien détaillé avec une description claire des mesures d'intérêt calculées avant et après l'intervention. Cependant, il n'y a aucune information sur les variables des différents groupes afin de connaître avec précision la possibilité de les comparer. Les auteurs ont attribué les participants de façon proportionnelle parmi deux équipes évoluant dans le même niveau régional avec des programmes d'entraînement et de matchs très proches. On peut donc confirmer que la charge de travail en dehors des interventions était la même. De plus, nous pouvons noter la présence d'un groupe contrôle effectuant uniquement les entraînements de football pour avoir une interprétation plus ciblée de l'intervention, celui-ci permettant de mettre en évidence les gains dus à la reprise des entraînements en pré-saison. Pour évaluer la FL du BF, chaque athlète a été évalué par le même examinateur qui ne savait pas dans quel groupe évoluait le sujet.

Finalement, il est fait mention des neuf participants qui ont arrêté l'étude en donnant les raisons de ces départs ainsi que le groupe dont ils faisaient partie. Le groupe « football » a perdu deux de ces sujets : l'un qui a changé de club et l'autre qui a pris sa retraite. Le groupe sprint, deux, en raison de blessures aux adducteurs et au genou. Dans le dernier groupe, le NHE, cinq athlètes ont dû cesser le programme, car ils avaient un taux de compliance inférieur à 80%. Le *tableau 5* ci-dessous montre ces résultats :

Tableau 5 : Résultats de l'évaluation de la qualité méthodologique de Mendiguchia 2020 à l'aide de la JBI-Critical Appraisal Checklist for Quasi-Experimental Studies

Étude	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Score
<b>Mendiguchia et al. (2020)</b>	O	?	O	O	O	N	O	O	O	<b>7/9</b>

O = OUI ; N = NON ; ? =pas clair

Nous avons listé les principaux éléments positifs et négatifs du processus méthodologique de nos quatre études dans le tableau présent en annexe XI.

### 5.3 Caractéristiques des études incluses

Ce *tableau 6*, permet d'avoir un aperçu rapide et global des principales données relatives à nos quatre études. Un tableau d'extraction des données plus exhaustif est présent en annexe.

Tableau 6 : Tableau synthétique des études incluses

Études	Freeman et al. (2019)	Mendiguchia et al. (2020)	Ripley et al. (2023)	Sancese et al. (2023)
Lieu, date	Ballarat, Australie,	Porto, Portugal,	Salford, Royaume-Uni,	Oxford, Royaume-Uni
Durée	4 semaines	6 semaines	7 semaines	4 semaines
Design	RCT	Prospective interventional control study	RCT	RCT
Population et drop-outs	28 élèves-athlètes (23H/5F, 14-18 ans), 7 drop-outs	32 joueurs de foot (>18 ans) 5 drop-outs	38 élèves-athlètes (uni/semi-pro) (25H/13F, 18-25 ans), aucun drop-out	18 footballeurs universitaires (18-25 ans) 2 drop-outs
Intervention	« NHE » + 2 sessions ER + 2 ES à leurs sports	« NHE » + EF	« NHE » + PES	« NHE »
Comparateur	« Sprint » + ER	« Sprint » + EF	« Sprint » + PES	« Sprint »
Groupe contrôle	∅	« Football » : entraînement classique	PES des MI	∅
Outcomes	Force excentrique des IJ	Architecture du BF	Force excentrique des IJ Architecture du BF	Force excentrique des IJ

RCT, randomized controlled trial ; NHE, Nordic Hamstring exercise ; ER, entraînement de renforcement ; ES, entraînement spécifique ; EF, entraînement de football ; PES, programme d'entraînement standardisé ; IJ, ischio-jambiers ; BF, biceps fémoral

#### Population

Ces quatre études comptent au total 116 sujets avec 16 drop-outs. Freeman et al., (2019), ont recruté des jeunes athlètes âgés entre 14 et 18 ans participant à un programme d'étude spécialisé dans les sports suivants : football australien, football, cricket, baseball et hockey sur gazon. Aucun autre critère d'inclusion n'est mentionné, ni d'exclusion.

L'étude de Mendiguchia et al. (2020) ne comporte que des sujets masculins provenant de deux équipes de football évoluant dans la même division élite à Porto. Les sujets étaient âgés de plus de 18 ans et avaient plus de trois ans d'expérience en compétition de football. Aucun des participants ne devait suivre un autre programme de renforcement en complément et ne devaient présenter aucune blessure actuelle ou datant de moins de trois ans à la hanche, au

genou et au bassin. Les sujets présentant des problèmes neurologiques, cardio-respiratoires et systémiques ont aussi été exclus.

Chez Ripley et al. (2023), les athlètes sont tous des collégiens âgés entre 18-25 ans pratiquant des sports d'équipe tels que le football, le futsal, le rugby, le hockey sur glace, le football américain, le basketball et le netball. Ils évoluent tous à un niveau universitaire et semi-pro. Chacun avait l'habitude de pratiquer un entraînement de renforcement incluant le NHE, en raison d'une fois par semaine minimum et ce, depuis au moins six mois. Tous les sujets avaient entre un et deux ans d'expérience d'entraînement technique basé sur la course et le sprint, dispensé durant leur formation sportive. Ils ne devaient également souffrir d'aucune lésion aux ischio-jambiers actuellement ou dans les six mois précédents.

Finalement, Sancese et al. (2023) ont intégré 18 footballeurs universitaires masculins sans blessure aux ischio-jambiers durant les 12 mois précédents, au minimum. Ils ne devaient pas avoir de suivi médical ou prendre des compléments alimentaires pouvant modifier les performances musculaires.

Les quatre études présentent des sujets similaires, tous sont des adolescents et jeunes adultes en bonne santé générale pratiquant des sports d'équipe tels que le football, le hockey, le rugby entre autres. En plus, aucun participant ne présentait de blessure aux membres inférieurs. La différence notable est l'étude de Freeman et al. (2019) qui a comme population des athlètes relativement plus jeunes et évoluant à un niveau inférieur. Des athlètes féminines ne sont présentes que dans deux de nos études, chez Freeman et al. (2019) et Ripley et al. (2023).

#### *Intervention/comparateur*

##### **Freeman et al. (2019)**

Tous les sujets suivaient, outre l'entraînement associé à l'étude, deux séances de renforcement et deux séances de travail technique et tactique spécifiques à leur sport, par semaine. Les exercices qui constituaient le programme de renforcement comprenaient un relâchement auto-myofascial, des squats divers, des tirages aux haltères, des Romanian Dead Lift (RDL) ainsi que des exercices de stabilisation du tronc en décubitus ventral et dorsal. Ces exercices étaient effectués en supplément et après les exercices réalisés dans le cadre de l'étude, à savoir le sprint ou le NHE. Ils pouvaient également être réalisés un autre jour, en faisant toujours attention de laisser un temps de repos supérieur à 24h avant la réalisation du programme prévu. L'intervention a été effectuée à raison de deux séances par semaine et pendant quatre semaines, sans jamais être effectuée durant deux jours consécutifs.

Le programme NHE évoluait progressivement sur quatre semaines, les modalités étaient basées sur des études précédentes et étaient décrites comme suit, première semaine 2X5, deuxième semaine 3X4, troisième semaine 3X5 et la dernière 3X6. Les participants avaient trois minutes de repos entre les séries.

Quant au programme sprint, celui-ci, a également été construit de sorte à intensifier la charge de travail au fil des semaines. Durant les deux premières, le nombre de séries est passé de 6 à 7 sur une distance allant de 30 à 40 mètres et les deux dernières de 8 à 10 séries avec toujours ce même intervalle. Le temps de repos entre les séries était identique au groupe NHE.

### **Mendiguchia et al. (2020)**

Cette étude était constituée de trois groupes différents, dont deux groupes d'intervention : un NHE et un sprint et d'un groupe contrôle. Tous les sujets de l'étude suivaient un programme d'entraînement de football, qui constituait le programme du groupe contrôle. Les deux groupes d'intervention effectuaient additionnellement leurs programmes respectifs.

Le programme NHE a été pratiqué durant six semaines après les séances d'entraînement de football, avec un temps de 48h minimum entre celles-ci. Le programme était basé sur celui de *Petersen et al. (2015)*, avec une durée de six semaines seulement au lieu de dix décrit préalablement. La progressivité était la suivante : semaine 1, 2X5, semaine 2, 2X6, semaine 3, 3X6-8, semaine 4, 3X8-10 et finalement les semaines 5 et 6 avec respectivement 3 séries de 8-10-12 répétitions.

Le programme sprint a également été planifié sur six semaines en raison de deux séances hebdomadaires séparées, cette fois-ci, de trois jours. Il y avait deux séances distinctes par semaine. Chacune durait environ une trentaine de minutes. Les différents exercices étaient exécutés au cours de l'entraînement avec un échauffement au préalable. La première séance comprenait divers types de sprint qui visaient à stimuler l'ensemble du spectre force-vitesse des athlètes. Il y avait des sprints normaux sur 30 mètres qui ont évolué dégressivement au fil des semaines en passant de 5 séries à seulement 2 à la fin du programme. À l'inverse, des sprints chargés de 70% du poids de corps, qui sont passés d'une unique série à 4 séries avec une distance de 10 mètres inchangée. Le troisième exercice de sprint se composait de sprints avec une course libre 20 mètres puis d'une accélération sur les 20 mètres suivants. La modalité pour cet exercice est restée identique tout le long des 4 séries. La seconde séance était clairement différente. Il y avait des montées de mollets chargées entre 50 et 70% du poids corporel, des sauts unilatéraux, de la plyométrie et des exercices d'accélération sur de courtes distances et d'athlétisme. Les modalités étaient différentes chaque semaine et suivaient également une intensification de la charge de travail.

Le groupe contrôle effectuait un programme d'entraînement de football sur six semaines en raison de quatre séances par semaine de 90 min chacune. Une séance comprenait un échauffement, des mises en situation tactique, du travail de possession de balle et des jeux et se terminait par des étirements des fléchisseurs de hanche, des ischios-jambiers, des quadriceps et des mollets. Ils faisaient aussi une vingtaine de minutes, deux fois par semaine, de sessions de travail aérobique.

Aucun entraînement supplémentaire de force ou de sprint n'était autorisé dans les trois différents groupes.

### **Ripley et al. (2023)**

Il y avait pareillement deux groupes d'intervention accompagnés d'un groupe contrôle qui suivait un entraînement de renforcement des membres inférieurs. Tous les groupes effectuaient ce même entraînement deux fois par semaine. Le groupe NHE ou sprint suivait en plus un programme additionnel réalisé à la suite du programme de base. La durée de l'intervention était de sept semaines pour les trois groupes.

Le programme de renforcement des membres inférieurs était construit sur la base de deux séances distinctes par semaine comprenant chacune trois exercices qui leur étaient propres. Lors de l'une des séances, les sujets réalisaient des power clean, des back squat et des reverse lunge et durant l'autre des mid-thigh pulls, des romanian dead lift et également des reverse lunge. Le volume d'entraînement est resté le même durant l'ensemble de ce programme, uniquement l'intensité a été adaptée en fonction de la 1 RM prédite sur 3-5 RM de chaque sujet de façon individuelle.

Les deux interventions ont été faites soit avant soit à la suite du programme de renforcement.

Le groupe NHE a réalisé 2 séries de 4 répétitions sur les deux séances hebdomadaires durant l'ensemble des 7 semaines.

Le groupe sprint a augmenté son nombre de séries de 4 pour la première semaine, à 5 pour la deuxième et à 6 pour la troisième. Les quatre semaines suivantes, les participants ont maintenu un nombre de 7 séries. La distance de sprint était de 25 mètres sur l'ensemble du programme. Un jour dans la semaine, le départ était arrêté et l'autre jour le départ était lancé suivi d'une accélération. Cela suivait la prescription effectuée durant l'étude Freeman et al. (2019).

Durant toutes les séances d'entraînement, un entraîneur spécialisé en musculation et condition physique guidait les participants.

### **Sancese et al. (2023)**

Les participants étaient divisés en deux groupes, un NHE et un sprint. Les interventions étaient réalisées deux fois par semaine sur 4 semaines. Chacune d'entre elles, avaient lieu après les sessions d'entraînement de football.

Le programme NHE évoluait sur 4 semaines comme suit, semaine 1 : 2X5, semaine 2 : 2X6, semaine 3 : 3X5 et semaine 4 : 3X6.

Le programme sprint était également construit selon une progression. La première semaine l'athlète effectuait uniquement 2 séries de 5 répétitions avec une distance de 30 mètres. La semaine suivante, il y avait une série supplémentaire. Les troisième et quatrième semaines, la distance passait à 40 mètres et le nombre de séries étaient de 5 et 6 respectivement.

### *Outcomes*

#### *Force excentrique*

Freeman et al. (2019), Ripley et al. (2023) et Sancese et al. (2023) sont les trois études qui ont étudié la force excentrique des fléchisseurs de genou.

Freeman et al. (2019) ont évalué deux outcomes différents : la force excentrique des ischio-jambiers et la performance au sprint. Tous les tests ont été effectués le même jour et dans les mêmes conditions climatiques. Les tests de sprint sur 40 mètres ont été réalisés avant les tests de force pour prévenir l'impact de la fatigue des ischios sur les performances au sprint. Après cinq minutes de pause, les participants ont réalisé 3 séries de préparation de NHE avec une intensité croissante 70-80-90% avant de réaliser 3 répétitions à un effort maximal. Il y avait une minute de pause entre chaque série. La force excentrique a été mesurée avec une

plaque de force « NordBord » (Vald Performance, QLD) lors de la réalisation du NHE. L'outil était fixé aux chevilles et permettait d'avoir une valeur individuelle en Newton pour chaque jambe. Le meilleur essai pour chaque jambe était retenu et une moyenne des deux a été calculée pour obtenir un score global.

Ripley et al. (2023), ont également évalué la force excentrique avec le même outil, le « NordBord ». Les modalités étaient similaires. Les participants ont reçu comme instruction de maintenir le dos et les hanches en position neutre tout en descendant le plus lentement et de réaliser trois répétitions maximales. L'essai était validé lorsqu'un pic de force distinct en Newton était clairement visible, suivi d'une chute drastique de la force signifiant que la force maximale du sujet était atteinte. Ils ont aussi analysé d'autres outcomes comme les performances au saut et au sprint, la force maximale de l'ensemble des membres inférieurs et aussi la mesure d'intérêt que nous traiterons par la suite : l'architecture du BF.

Finalement, Sancese et al. (2023) ont évalué les performances au sprint et la force en excentrique. La force a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre isocinétique (Biodex system 4 ; Biodex, Shirley, NY). Les mesures ont été prises pour les deux jambes à deux vitesses angulaires différentes, l'une à  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$  (3 répétitions) et l'autre à  $180^{\circ}\cdot s^{-1}$  (5 répétitions). Une réalisation consistait en une extension complète du genou et d'un retour à  $90^{\circ}$  de flexion dans les conditions propres à un test d'isocinétisme. Les sujets étaient assis avec une hanche fléchie à environ  $90^{\circ}$  comme décrit au préalable chez Delextrat et al. (2020). Les valeurs mesurées spécifiques aux ischio-jambiers étaient : le couple maximal excentrique des ischio-jambiers (N.m) à la vitesse de  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$  et  $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ . Ils ont calculé la moyenne des deux meilleures valeurs obtenues à la vitesse de  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$  et la moyenne des trois meilleures à la vitesse de  $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ .

#### *Architecture du biceps fémoral*

Mendiguchia et al. (2020) et Ripley et al. (2023) sont les deux uniques études à s'être intéressées à l'architecture du BF et particulièrement à la FL de BF<sub>lh</sub> de celui-ci.

Mendiguchia et al. (2020) ont évalué les caractéristiques architecturales de la BF<sub>lh</sub> suivantes : l'épaisseur du muscle (cm), l'angle de pennation ( $^{\circ}$ ) et l'estimation de la FL (cm). Les valeurs ont été déterminées à partir d'images échographiques obtenues à l'aide d'un appareil échographe « 2D en mode B » (GE Healthcare Loniq S7, Wauwatosa, USA). Les images ont été prises à mi-chemin le long du BF entre la tubérosité et le pli du genou. Le sujet devait être inactif depuis au moins cinq minutes avant de prendre la mesure. Après le scan, une analyse approfondie a permis d'obtenir les valeurs de la FL et de l'épaisseur du muscle en extrapolant linéairement selon les parties visibles. De plus, l'angle de pennation a été déterminé en suivant le fascicule et l'aponévrose superficielle.

Ripley et al. (2023) ont aussi collecté leurs images avec un appareil échographe « 2D en mode B » (MyLab 70 xVision, Essote, Gênes, Italie). Ils ont également pris le même point situé entre la tubérosité ischiatique et le pli articulaire du genou, le long de la ligne du BF dans les mêmes conditions que l'étude de Mendiguchia et al. (2020). À la suite de l'analyse des images, les auteurs ont récolté les mesures d'intérêt relatives à l'architecture du BF telles que la FL (cm), l'épaisseur du muscle (cm) et l'angle de pennation ( $^{\circ}$ ). Une équation linéaire a permis ensuite d'estimer de la façon la plus fiable possible celles-ci.

## 5.4 Résultats des études

### 5.4.1 Force en excentrique des fléchisseurs du genou

Nous observons dans nos trois études qui évaluait la force excentrique, à savoir Freeman et al. (2019), Ripley et al. (2023) et Sancese et al. (2023) des améliorations intragroupes significatives. La *figure 6* met en évidence l'amélioration intragroupe de la force excentrique en newton, grâce au différentiel pré-intervention et post-intervention des deux articles ayant utilisé le « Nordboard » comme outils de mesure, et la *figure 7* en fait de même pour Sancese et al. (2023) qui ont utilisé l'isocinétisme avec des valeurs en newton par mètre.

Plus précisément, Freeman et al. (2019) indiquent une amélioration intragroupe de la force excentrique significative dans les deux groupes d'intervention après un programme de 4 semaines. L'amélioration du groupe NHE se chiffre à 9,8% (TE = 0,39,  $p < 0,05$ ), celle du groupe sprint à 6,2% (TE = 0,29,  $p < 0,05$ ). Pour ce qui est de Ripley et al. (2023), nous observons des résultats similaires avec des améliorations intragroupes significatives quant au pic de force dans les deux groupes d'intervention. L'amélioration du groupe NHE se chiffre à 35,75% ( $p < 0,001$ , TE = 1.84), celle du groupe sprint à 30,49% ( $p < 0,001$ , TE = 1.38). Dernièrement, les résultats de Sancese et al. (2023) ont démontré également des améliorations intragroupes de la force excentrique selon les différentes mesures prises. Pour le groupe NHE, la force excentrique de la jambe dominante à 60° a augmenté de 8.4% ( $p < 0.05$ ). De même, la force excentrique de la jambe non-dominante à 60° a augmenté de 12.7% ( $p < 0.05$ ). Pour le groupe Sprint, la force excentrique de la jambe dominante à 60° a augmenté de 7.8% ( $p < 0.05$ ), et celle de la jambe non-dominante de 7.2% ( $p < 0.05$ ). Cependant, pour les mesures à 180°, les résultats étaient moins cohérents. Le groupe NHE a montré une augmentation de 2.9% pour la jambe dominante (non significatif), tandis que le groupe Sprint a montré une diminution de 7.5% (non significatif). La force excentrique de la jambe non-dominante pour le groupe NHE a augmenté de 24.4% ( $p < 0.05$ ), tandis que celle du groupe Sprint a diminué de 7.7% (non significatif). L'ensemble de ces améliorations, en pourcentages, est résumé dans la *figure 8*.

Pour ce qui est des comparaisons intergroupes, nous observons chez Freeman et al. (2019) une amélioration plus conséquente pour le groupe NHE, qui est 3,6% plus grande que celle du groupe sprint. Il en est de même chez Ripley et al. (2023) où le groupe NHE obtient une amélioration 5,26% plus importante que celle du groupe sprint. Finalement, Sancese et al. (2023) arrivent à des conclusions semblables, car l'amélioration du pic de couple excentrique est aussi en faveur du groupe NHE avec une amélioration supérieure de 1% pour la jambe dominante à 60°·s<sup>-1</sup> et de 5,5% pour la jambe non dominante à 60°·s<sup>-1</sup>. Ces résultats sont aussi résumés dans la *figure 8* grâce à une troisième colonne qui montre par sa couleur quel groupe a eu la plus grande amélioration et la quantifie.

Les études montrent globalement une augmentation significative de la force excentrique pour les deux types d'entraînement, bien que les augmentations soient généralement plus prononcées pour le groupe NHE. Les tailles d'effet varient, indiquant des augmentations modérées à importantes de la force excentrique selon les études et les groupes. Les résultats de Sancese et al. (2023) montrent une variabilité en fonction des mesures spécifiques (angle de 60° vs 180°). Les données suggèrent que les programmes d'entraînement NHE et Sprint

peuvent être efficaces pour améliorer la force excentrique des ischio-jambiers, avec une efficacité potentiellement supérieure pour le NHE.

Un tableau récapitulatif des résultats de force excentrique se trouve en annexe XII.

Figure 6 : Évolution force excentrique mesurée avec "Nordboard" (Freeman et al. ; Ripley et al.)

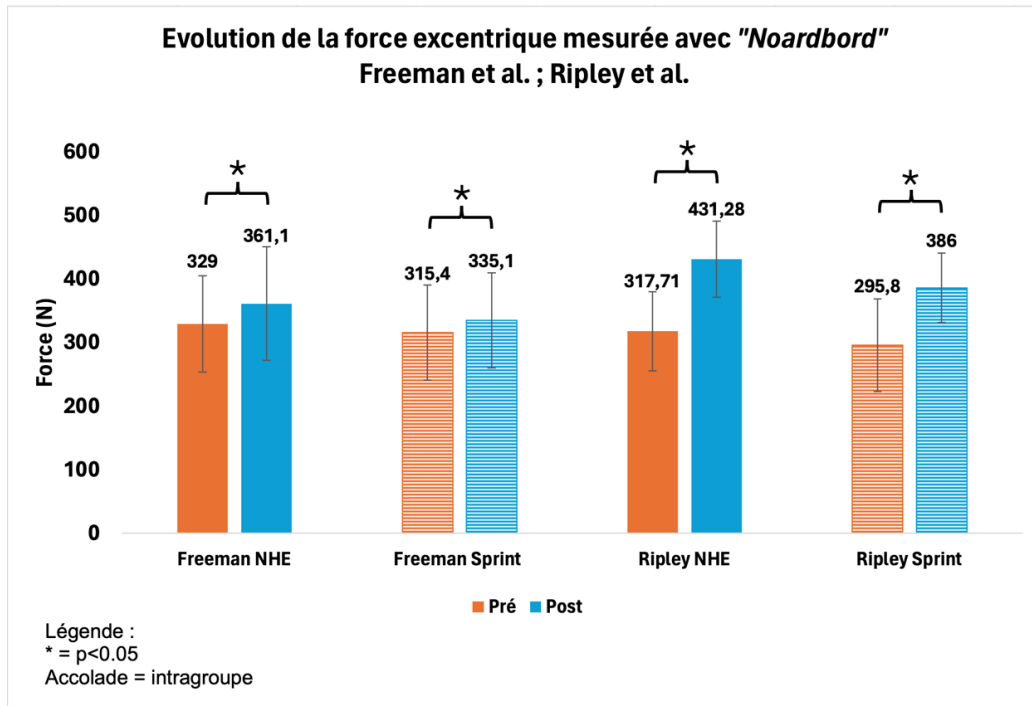


Figure 7 : Évolution force excentrique mesurée à l'isocinétisme (Sancese et al.)

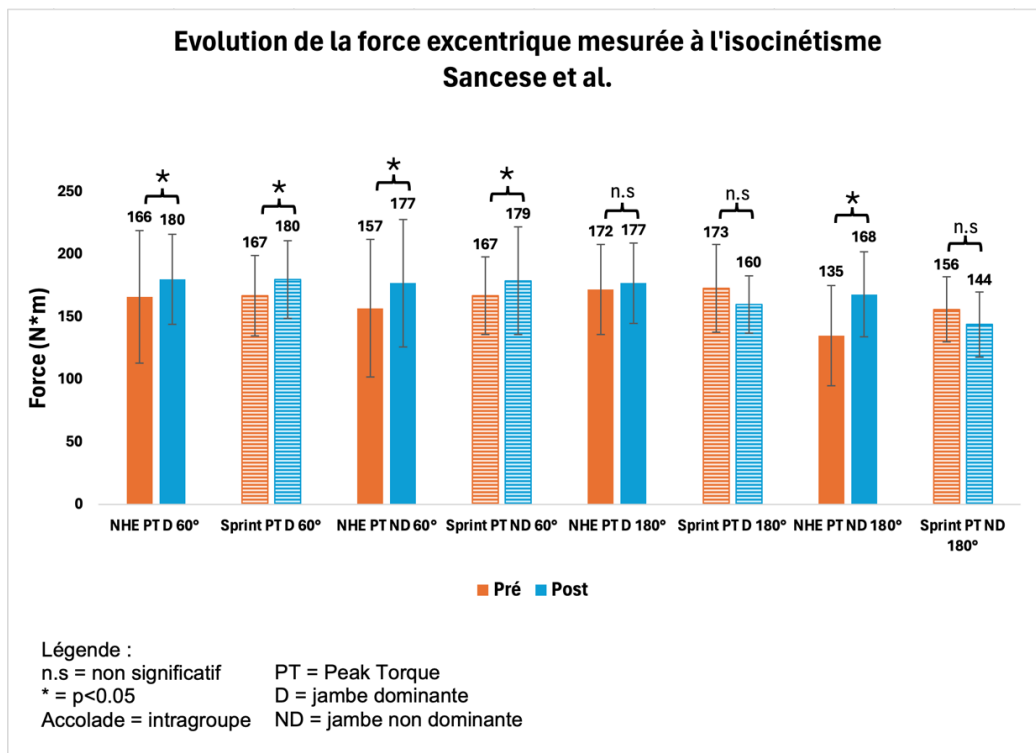
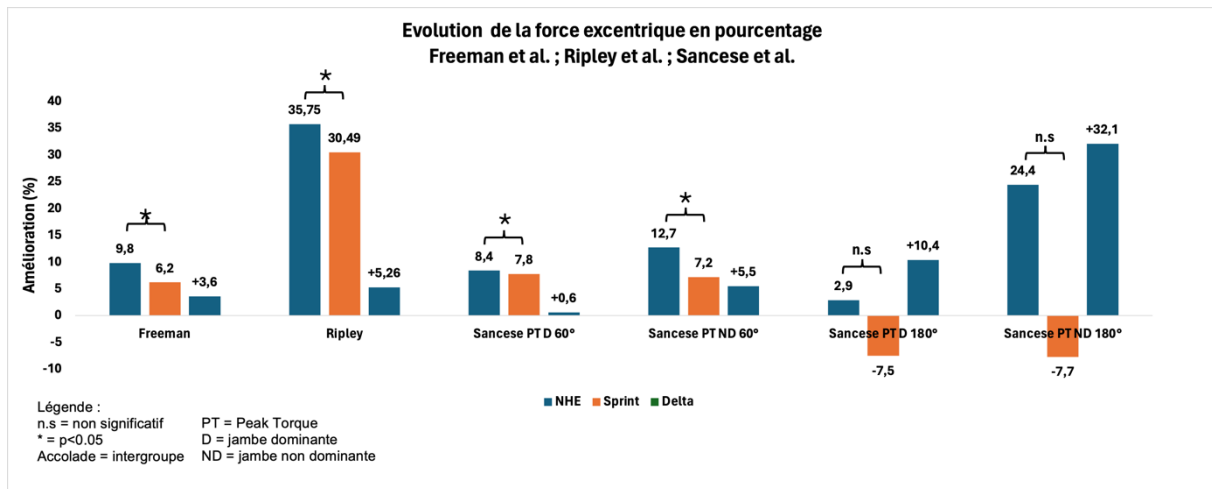


Figure 8 : Évolution force excentrique en pourcentage (Freeman et al. ; Ripley et al. ; Sancese et al.)



#### 5.4.2 Longueur du fascicule de la longue portion du biceps fémoral

Nous observons dans les deux études qui évaluait la FL du BF, à savoir Mendiguchia et al. (2020) et Ripley et al. (2023), des améliorations entre les valeurs pré-intervention et post-intervention dans les deux groupes. Ces améliorations sont mises en évidence dans la *figure 9*.

Plus précisément, Mendiguchia et al. (2020) ont obtenu des résultats intragroupes positifs pour les deux interventions. En effet, les participants du groupe NHE ont obtenu une faible augmentation de 7,38% (TE = 0,58) de la FL du BF et les participants du groupe sprint ont eu une amélioration modérée de 16,38% (TE = 0,77). Les valeurs de  $p$  ne sont pas précisées pour ces comparaisons. Ripley et al. (2023) ont obtenu des augmentations intragroupes significatives ( $p < 0,001$ ) pour les deux groupes, avec des augmentations modérées de 12,83% dans le groupe NHE (TE = 1,19) et 9,67% (TE = 1,16) dans le groupe sprint. Ces résultats sont mis en évidence dans la *figure 10*.

Pour ce qui est des comparaisons intergroupes, nous constatons chez Mendiguchia et al. (2020) des valeurs en faveur du groupe sprint. En effet, l'amélioration de la FL est de 8,83% supérieure à celle du groupe NHE. En revanche, dans l'étude de Ripley et al. (2023), nous observons des résultats inverses avec cette fois-ci une comparaison intergroupe en faveur du groupe NHE qui a obtenu une amélioration de 3,16% supérieure à celle du groupe sprint. Ces comparaisons intergroupes sont aussi représentées dans la *figure 10* grâce à une troisième colonne qui montre par sa couleur quel groupe a eu la plus grande amélioration et la quantifie.

Ces données montrent que les deux types d'entraînement augmentent la longueur du fascicule du biceps fémoral, avec des résultats légèrement meilleurs pour le groupe Sprint dans l'étude de Mendiguchia et al. (2020) et des résultats meilleurs pour le groupe NHE dans l'étude de Ripley et al. (2023). Les valeurs de  $p$  fournies dans l'étude de Ripley et al. (2023) indiquent que les augmentations sont statistiquement significatives. Chez Mendiguchia et al. (2020), Les valeurs de  $p$  ne sont pas fournies dans les informations disponibles, ce qui nous empêche de conclure sur la significativité statistique sans ces données.

Les résultats sont ici présentés de manière synthétique, nous aborderons les facteurs ayant pu les influencer dans le chapitre discussion. Un tableau récapitulatif des résultats de longueur du fascicule se trouve en annexe XIII.

Figure 9 : Évolution longueur du fascicule mesurée à l'échographie (Mendiguchia et al. ; Ripley et al.)

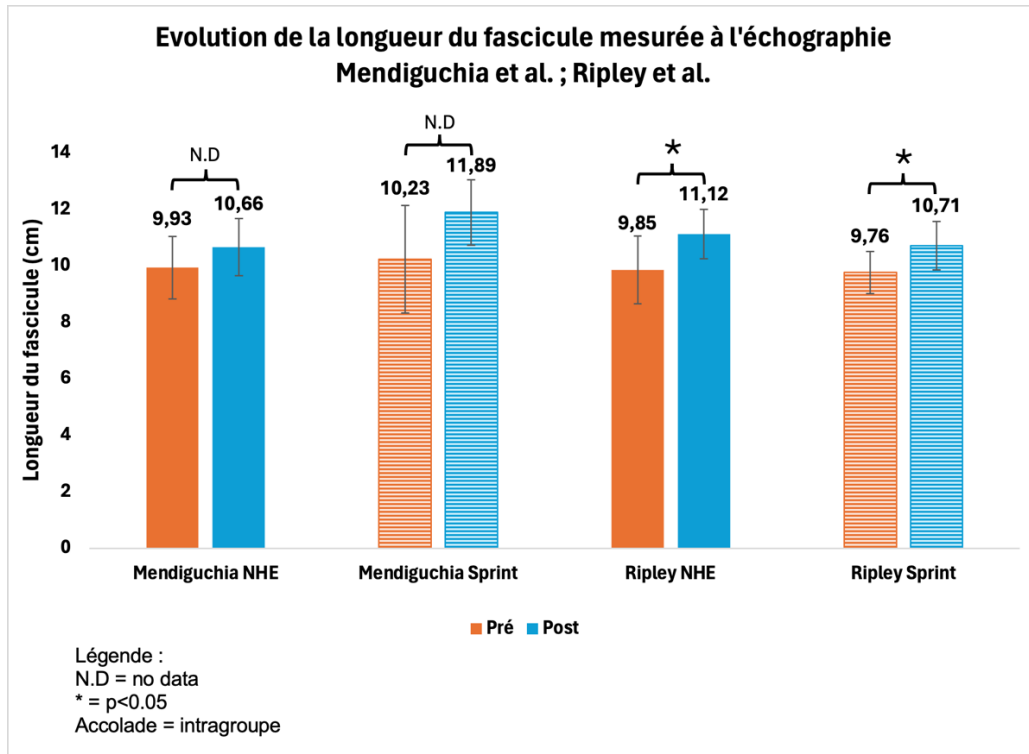
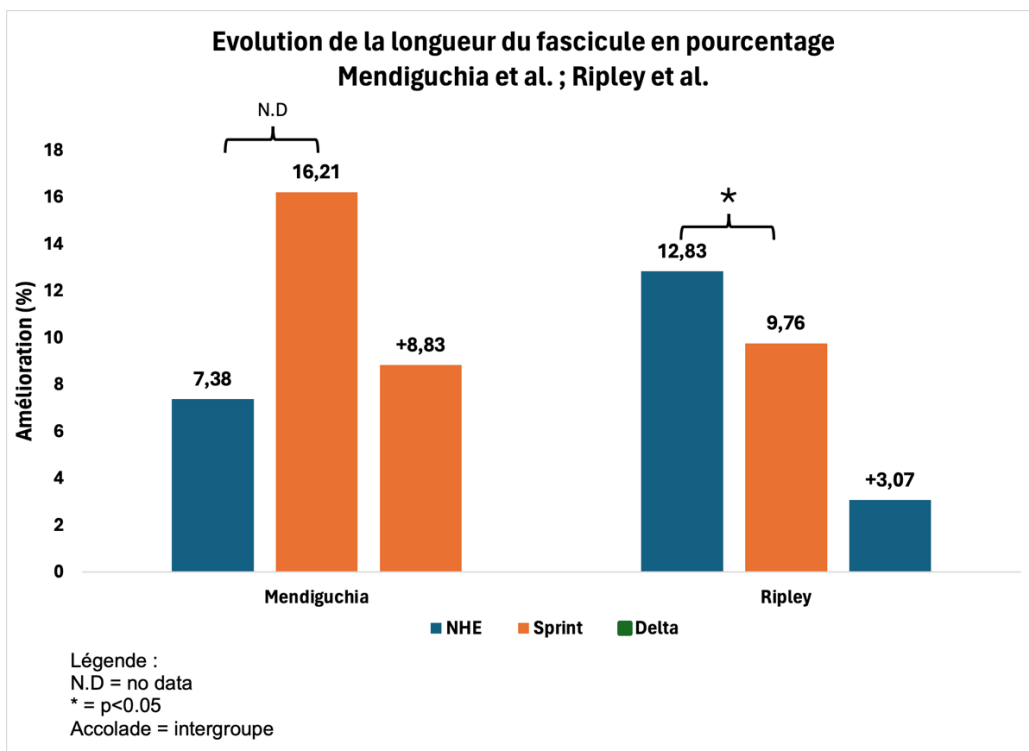


Figure 10 : Évolution longueur du fascicule en pourcentage (Mendiguchia et al. ; Ripley et al.)



## 6. Discussion

Dans le cadre de notre revue systématique, notre objectif était de comparer l'efficacité de deux interventions, le NHE et le sprint, sur les facteurs de risque modifiables des HSI.

Nous avons porté notre intérêt particulièrement sur la force en excentrique des fléchisseurs de genou et la FL du BFlh. L'absence de revue systématique existante sur ce sujet constituait une raison supplémentaire pour nous questionner sur cette problématique.

Les résultats présentés dans les études ayant analysé la force montrent une amélioration intragroupe significative de la force en excentrique dans les deux interventions avec une tendance en faveur du groupe NHE. Quant aux résultats de deux études portant sur la FL, un changement intragroupe significatif a également été mis en évidence dans les deux interventions sans qu'une nette supériorité de l'efficacité de l'une ou de l'autre ne soit établie.

Néanmoins, la présence de divers biais et de disparités au sein des études complique l'interprétation définitive de nos conclusions. De plus, le nombre limité d'études portant sur ce thème rend cette tâche encore plus compliquée. Dès à présent, nous allons discuter de la qualité des études incluses, des mesures d'intérêt et de leurs limitations. Nous aborderons ensuite les limitations de notre revue et nous terminerons avec les recommandations pour la pratique clinique ainsi que des propositions de pistes pour de futures recherches.

### 6.1 Qualités des études incluses

À la suite de l'analyse de nos quatre études, nous trouvons des disparités évidentes entre leurs processus méthodologiques. Les différents scores sont détaillés au point 5.2, dans les *tableaux 4 et 5* et ceux présents en annexe X, XI. Premièrement, trois de nos études sont des RCTs et ont obtenu, selon la classification de « GRADE », un niveau de preuve le plus élevé de 4 (Schünemann et al., 2013).

À contrario, l'étude de Mendiguchia et al. (2020) est d'un niveau de preuve inférieur, malgré qu'elle ait procédé à une randomisation. Celle-ci ne se qualifie pas en tant que RCT mais selon une étude prospective contrôlée interventionnelle. Généralement, ce type d'étude obtient une qualité allant de moyenne à élevée.

En observant l'ensemble des études retenues, celle qui se démarque par une validité interne plus importante est l'étude de Ripley et al. (2023). Cela permet d'avoir une confiance entre la relation de cause à effet dans les deux groupes d'intervention. Nous pouvons avoir également confiance en la précision de leurs mesures, car celle-ci a été vérifiée et il a été démontré qu'elle était très fiable. Leur taux de compliance de 100% dans les deux groupes explique en partie les résultats très concluants. L'impact du non-respect des critères, comme l'absence de sujets, de thérapeutes et d'examineurs « en aveugle » reste négligeable. Ces critères ne sont d'ailleurs validés dans aucune des études retenues.

Nos deux autres RCTs, très similaires dans leur construction méthodologique, ont malheureusement une qualité relativement inférieure. Ce score inférieur en comparaison avec l'étude de Ripley et al. (2023) s'explique par le non-respect des critères 3-8-9 « assignation secrète », « 85% de mesures obtenues » et « intention de traiter » de l'échelle PEDro ainsi que des critères relatifs aux questions 3-8-9 « traitement aveugle », « analyse du suivi » et

« analyse par groupes » 2-8-9 de l'échelle JBI. Néanmoins, il est important de garder à l'esprit une certaine nuance quant aux scores obtenus car, selon PEDro, il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique physiothérapeutique. Les trois études RCTs retenues sont concernées, puisqu'étant donné la nature des interventions, les critères 5-6-7 « en aveugle » sont très compliqués à réaliser.

L'interprétation des résultats des études de Freeman et al. (2019) et Sancese et al. (2023) est fortement biaisée en raison du manque de statistiques en « intention de traiter » ainsi que de l'analyse des drop-outs. Leurs points positifs étant le calcul de l'échantillon en fonction de la puissance recherchée ainsi que la validité des outils de mesures. Ils ont également comparé leurs groupes à T0. Ces différents points positifs améliorent tout de même la validité interne malgré les points négatifs précédemment décrits.

La dernière étude, celle de Mendiguchia et al. (2020) évaluée selon l'échelle JBI Checklist for Quasi-Experimental Studies, obtient un score de qualité élevé. Cependant elle comporte un manque d'analyse en « intention de traiter » ainsi qu'un manque de statistiques comparant les groupes à T0 ce qui limite la comparaison intergroupe. Le risque de biais que représentent les drop-outs n'est pas considéré. De plus, l'absence de calcul de l'échantillon en fonction de la puissance rend la détection d'une différence significative entre les groupes expérimentaux plus compliquée. Le manque de calcul de la significativité est crucial, car cela empêche de déterminer si les différences observées sont dues au hasard ou à l'intervention en elle-même. En revanche, elle comporte des points positifs tels que la vérification de la validité des outils de mesure ainsi que la présence d'un examinateur « en aveugle » lors de l'évaluation de la FL.

La validité interne élevée de l'étude Ripley et al. (2023) offre plus de poids quant à la confiance qu'on peut avoir en leurs résultats et influence. Par conséquent celle-ci a plus d'influence dans notre revue. De plus, cette étude étant l'unique qui fournit des résultats concernant nos deux mesures d'intérêt, cela est bénéfique pour répondre à notre problématique. Il convient de rester prudent envers ceux présentés par Freeman et al. (2019) et Sancese et al. (2023) et ce, en raison de leurs divers biais. Nous devons en tenir compte lors de l'analyse de l'évaluation de la force en excentrique. Finalement, Mendiguchia et al. (2020) offrent une validité interne également élevée, mais un niveau de preuve plus faible et des biais qui peuvent influencer la valeur de leurs résultats. Nous devons aussi rester prudents lors de l'interprétation des résultats sur l'évaluation de la FL du BFH.

## 6.2 Force excentrique

Nos résultats obtenus après analyse des études traitant de la force excentrique des fléchisseurs du genou ont démontré une différence significative dans les deux interventions avec une tendance plus marquée en faveur du groupe NHE. Nous observons néanmoins qu'en absolu, les pourcentages de changement dans les deux groupes sont supérieurs chez Ripley et al. (2023). Cette différence peut s'expliquer en partie par la durée d'intervention quasiment deux fois plus longue chez Ripley et al. (2023), de 7 semaines en comparaison aux 4 semaines dans les deux autres études. Cependant, il semble que les interventions soient plus intenses chez Freeman et al. (2019) que chez Ripley et al. (2023). On ne peut pas expliquer ces différences de résultats par une population nettement distincte, car les valeurs à T0 de la force sont relativement similaires entre les sujets des deux études. En l'occurrence, les modalités

d'intervention entre l'étude de Freeman et al. (2019) et l'étude de Sancese et al. (2023) se rejoignent. Le dernier élément qui est pertinent à explorer est la différence qui peut résider entre les différents programmes de renforcement suivis conjointement aux interventions. Chez Ripley et al. (2023), ils effectuaient des exercices spécifiques aux membres inférieurs (*power clean, back squat, reverse lunge, mid-thigh pulls et romanian dead lift*) avec des modalités très claires, ce qui pourrait amener une potentielle amélioration conséquente sur l'outcome de force.

En revanche, chez Freeman et al. (2019) les modalités de leur programme de renforcement additionnel ne sont pas précisément établies. Nous savons uniquement qu'ils ont effectué les exercices suivants : *squat, barbell rows, romanian dead lift, single leg squat* ainsi que des exercices de gainage. Nous pouvons uniquement supposer que celui-ci a été moins important en terme de charge de travail.

Dans l'étude de Sancese et al. (2023), il n'y a aucun autre programme additionnel, si ce n'est une demande des auteurs que les sujets poursuivent leurs activités sportives habituelles. Il est important de prendre en compte que certains des exercices présents dans ces programmes additionnels, en particulier le RDL, peuvent potentiellement apporter des améliorations de force excentrique (Crawford et al., 2023). Une méta-analyse de 2022 confirme cette hypothèse en montrant des améliorations sur la force en excentrique lors de divers exercices en excentrique dont le RDL (Rudisill et al., 2023). Ces deux éléments de la littérature nous amènent à nous questionner sur l'efficacité propre du NHE et du sprint sur la force excentrique.

En outre, il existe des erreurs potentielles qui auraient pu être commises lors de l'évaluation de la force à l'aide du « NordBord ». Il a été démontré que le pic du couple pourrait ne pas être déterminé précisément lors de cet examen. C'est le cas si les sujets ne sont pas capables d'effectuer le NHE dans l'amplitude complète, le couple maximal ne sera ainsi pas mesurable. En conséquence, la force sur les sujets pouvait être de ce fait sous-estimée (Wiesinger et al., 2020).

On peut dès lors se poser la question si l'exécution du geste des participants lors de la mesure du NHE étaient la même lors des études de Freeman et al. (2019) et Ripley et al. (2023). Un autre élément qui peut expliquer les valeurs de force plus importantes obtenues chez Ripley et al. (2023) est que des encouragements très actifs étaient transmis aux participants pour produire la force la plus maximale possible. Or, l'on sait que lors d'un effort supramaximal cela peut influencer les niveaux de force produits. De plus, un biais important à prendre en compte est que les participants du groupe NHE sont susceptibles d'obtenir de meilleurs résultats sur la NordBoard que ceux du groupe sprint à mesure qu'ils apprennent le mouvement, au fil des séances d'intervention. Finalement, chez Freeman et al. (2019), les tests de performance au sprint ont été effectués avant les tests de force, ce qui peut amener une fatigue plus importante et, potentiellement, des productions de force moindre.

Notre dernière étude, Sancese et al. (2023), obtient des résultats semblables aux deux études précédentes dans le sens où nous observons une nouvelle fois une amélioration de la force plus marquée en faveur du groupe NHE. Les résultats obtenus sont moins cohérents à 180°. Ces données semblent cependant moins importantes, car selon la méta-analyse de Green et

al. (2018) les évaluations de forces à  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$  avaient un effet prédictif de future HSI plus important qu'à  $180^{\circ}\cdot s^{-1}$  (Green et al., 2018).

Les résultats démontrés par ces trois études pour le groupe NHE semblent cohérents avec ceux obtenus dans la méta-analyse de Cuthbert et al. en 2019 avec des tailles d'effet relatives à la force en excentrique allant de modérées à élevées. Les modalités des interventions du NHE variaient considérablement. Cependant, les auteurs ont conclu que des volumes réduits n'affectaient pas négativement les adaptations en force excentrique des sujets en comparaison aux volumes plus conséquents. Une autre méta-analyse, plus récente de Medeiros et al., a publié en 2021 des résultats similaires à ceux obtenus dans notre revue. Les études incluses montraient des améliorations allant de 10 à 15 % pour les valeurs mesurées à l'isocinétisme en lien avec le couple maximal et de 16 à 26% pour les valeurs de force maximale prises lors de la réalisation du NHE. Nous pouvons donc fermement considérer que le NHE est efficace pour augmenter la force excentrique et que les résultats de nos trois études sont en lien avec ce qui apparaît dans la littérature.

Quant au sprint, nous n'avons pas trouvé de revue systématique en lien avec ses effets sur la force en excentrique. Néanmoins, une autre étude de Freeman et al. en 2024 tâchant de comparer l'effet de deux modalités de sprint différentes, à savoir l'une accélération et l'autre vitesse maximale a démontré que les deux modalités ont amélioré la force en excentrique après six semaines d'interventions, avec des résultats en faveur des accélérations. Les deux groupes avaient des tailles d'effet faibles, tout comme la précédente étude de Freeman et al. (2019).

En conclusion, ces éléments répondent aux objectifs de cette revue en montrant que le NHE et le sprint se révèlent être des interventions efficaces pour augmenter la force en excentrique des fléchisseurs du genou, avec des résultats confirmés par la littérature. Cependant, l'impact du sprint sur la force en excentrique nécessite d'autres études supplémentaires pour mieux comprendre son efficacité.

### 6.3 Longueur du fascicule du biceps fémoral

Nos résultats obtenus après analyse des études traitant de la longueur du fascicule du biceps fémoral ont démontré une différence dans les deux interventions, avec une tendance plus marquée en faveur du groupe sprint dans l'étude de Mendiguchia et al. (2020) et en faveur du groupe NHE dans l'étude de Ripley et al. (2023).

Nous constatons donc que dans chaque étude, un groupe différent montre une amélioration plus marquée, ce qui peut sembler surprenant à première vue. Cependant, nous pouvons apporter des explications à cela. Tout d'abord, concernant la plus grande amélioration observée, c'est-à-dire celle du groupe sprint de Mendiguchia et al. (2020), elle peut être expliquée par le fait que ce groupe a suivi un programme de course plus conséquent que le groupe sprint de Ripley et al. (2023) avec des distances et des charges plus grandes (cf. 5.3 pour plus de détail). Ce programme pourrait aussi expliquer le fait que le groupe sprint de Mendiguchia et al. (2020) a eu un stimulus plus important que le groupe NHE qui était réalisé sans progression chez Ripley et al. (2023).

De plus, les athlètes de Mendiguchia et al. (2020) étaient en période de pré-saison après une période d'arrêt d'activité prolongée, ce qui est plus propice aux améliorations, tandis que dans

l'étude de Ripley et al. (2023), les athlètes pratiquent différents sports et ne se situent pas tous à la même période de leur saison respective. La dernière comparaison concerne les deux groupes NHE. Nous constatons que le groupe NHE de Ripley et al. (2023) a eu une plus grande amélioration que le groupe NHE de Mendiguchia et al. (2020) malgré le fait que le programme NHE de ce dernier était plus conséquent. Nous pouvons hypothétiser que le programme d'entraînement standardisé complet réalisé en parallèle au NHE chez les sujets de Ripley et al. (2023) aurait pu avoir un impact sur l'augmentation de la FL en comparaison au groupe NHE de Mendiguchia et al. (2020) qui ne participait pas à un autre programme de force en dehors du NHE.

De manière générale, un autre élément qui aurait pu impacter les résultats est le manque de précision de la méthode statique utilisée pour mesurer la longueur des fascicules. En effet, l'échographie ne fait pas l'unanimité dans la littérature en raison du champ de vision réduit et des inexactitudes potentielles dans l'extrapolation linéaire des fascicules musculaires. Cette méthode de calcul basée sur une estimation représente une limite (Franchi et al., 2018; Pimenta et al., 2018). Des recherches futures devraient se concentrer sur des techniques de mesure dynamiques pour mieux comprendre les adaptations de la longueur des fascicules lors des mouvements réels.

De plus, l'étude de Mendiguchia et al. (2020) n'avait pas réalisé de calcul de la taille de l'échantillon, possède un nombre conséquent de drop-outs et ne présente pas d'analyse en intention de traiter, ce qui représente une perte de puissance statistique, une diminution de la validité interne de l'étude et affaiblit la capacité de généraliser les résultats.

Tout de même, les résultats de ces deux études correspondent à ceux présents dans la littérature actuelle. En effet, selon une méta-analyse réalisée en 2023, ayant pour but d'évaluer quantitativement l'efficacité des programmes d'entraînement pour réduire l'incidence des HSI et gérer les facteurs de risque de blessure, le travail excentrique ainsi que le sprint sont efficaces pour améliorer la FL du BF (Rudisill et al., 2023). Une autre étude fraîchement publiée a obtenu comme résultat que les accélérations ainsi que le sprint étaient efficaces pour améliorer la FL du BF (B. Freeman et al., 2024).

En conclusion, ces éléments répondent aux objectifs de cette revue en montrant que le sprint et le NHE se révèlent être des interventions efficaces pour augmenter la longueur du fascicule du biceps fémoral, avec des résultats confirmés par la littérature. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires afin de définir avec plus de précision l'impact du sprint sur la FL, encore peu connu à ce jour.

## 6.4 Limitations des études

Dans l'ensemble des études examinées, une limite importante déjà décrite précédemment est le manque d'uniformité quant à leur qualité méthodologique. Ces lacunes entraînent une validité interne plus faible et limitent la capacité à généraliser les résultats. De plus, nous retrouvons des différences dans la durée, la temporalité, l'intensité et la progressivité des interventions. L'influence des programmes additionnels de renforcement sur les mesures d'intérêt est à prendre en compte, car elle biaise l'interprétation des résultats du NHE et du sprint. De ce fait, les participants à l'entraînement au sprint et au NHE ne peuvent pas attribuer leurs gains de force excentrique exclusivement à l'intervention.

Une autre limitation importante réside dans les différences quant aux méthodes de mesure de la force excentrique et à l'expression des résultats. Le choix d'outils de mesure différents rend la comparaison entre les études plus compliquée. Par ailleurs, il existe encore des questions sur l'interprétation des valeurs de force obtenues par les deux méthodes différentes, à savoir le « NordBord » et l'isocinétisme (Wiesinger et al., 2020). De même, pour l'évaluation de la FL qui peut souffrir de risque d'erreur de mesure lors de l'utilisation d'un FOV réduit (Klimstra et al., 2007; Kurihara et al., 2005; Kwah et al., 2013; Oliveira et al., 2016; Ripley, 2021).

Finalement, le manque de transmission de données visibles clairement, notamment sous forme de graphiques chez Freeman et al. (2019) et Sancese et al. (2023) rend la compréhension et l'analyse des résultats plus difficiles. Cette absence de clarté est à prendre en considération et constitue une limitation importante lors de l'interprétation des résultats.

## 6.5 Limitations de notre revue

Tout d'abord, il est important de souligner notre manque d'expérience dans la réalisation d'une revue systématique. En effet, chaque étape était une première pour nous et nous avons déployé tous les efforts pour être le plus transparents possible durant celles-ci. Afin de réduire les éventuels risques de biais, nous avons suivi un guide méthodologique recommandé par le JBI, néanmoins notre inexpérience pourrait avoir influencé la qualité de notre travail. De plus, nous avons aussi été soumis à une contrainte de temps. En effet, nous avons commencé la rédaction de ce travail début mars 2024 et ce temps limité a pu mener à certaines imprécisions. Nous avons bénéficié de moins de temps pour la relecture afin de vérifier nos erreurs éventuelles. Toutefois, nous avons commencé à nous intéresser sur la thématique des HSI en novembre 2023 et cette compréhension générale autour des multiples problématiques, dans un premier temps, nous a été très certainement bénéfique pour la réalisation de ce travail.

Par ailleurs, le nombre limité d'études pertinentes identifiées sur notre sujet nous a contraint d'inclure toutes ces études disponibles sans pouvoir effectuer un tri strict sur leur qualité potentielle. Il s'agit d'une limitation importante dans la sélection des articles en fonction de leur qualité méthodologique. Nous avons également cherché à quantifier l'effet du NHE et du sprint sur la FL du BF<sub>lh</sub> en nous basant sur uniquement deux études. Cela ne nous semble évidemment pas assez puissant pour avoir des certitudes sur l'effet réel, bien qu'il ne s'agisse que de notre outcome secondaire.

## 6.6 Recommandations pour la pratique clinique

Ces études ont permis de mettre en lumière des éléments intéressants pour notre future pratique. Les principaux éléments à considérer pour une rééducation optimale et individualisée sont relatifs à la nature de l'exercice et aux modalités telles que la quantité, la fréquence et la charge, entres autres.

Elles ont démontré qu'un entraînement de sprint, après seulement quatre semaines, était efficace pour augmenter la force excentrique. Bien que dans l'ensemble, le groupe NHE ait produit un gain supérieur, cette amélioration n'était pas significativement supérieure à celle du groupe sprint. De ce fait, le sprint serait bénéfique dans la prévention des HSI et constituerait un exercice alternatif intéressant. Il est cependant important de noter que le groupe sprint peut entraîner plus de DOMS que le groupe NHE et les auteurs affirment qu'un contrôle de la charge d'entraînement est nécessaire pour assurer ses effets bénéfiques sans accroître le risque de

blessures. Il faut prescrire des volumes de travail relativement faibles afin de maximiser le niveau de compliance. Les recommandations de la littérature sont d'atteindre au minimum 75% de compliance (Ripley et al., 2021). Il convient donc d'adapter la charge de travail au mieux en ce sens pour avoir des bénéfices sur la diminution d'incidence des HSI.

En lien avec l'amélioration de la FL du BF<sub>lh</sub>, les recherches soulignent l'importance de tenir compte de la spécificité de l'entraînement au sprint et ainsi d'adapter les programmes individuellement. Les auteurs mettent en évidence l'efficacité d'une approche multimodale en intégrant le sprint conjointement ou non au NHE dans un programme pour prévenir les blessures et également améliorer les performances de l'athlète.

Un autre point intéressant en pratique à retenir est que l'évaluation directe sur le terrain, au moyen du « NordBord », peut être intéressante pour identifier plus spécifiquement les besoins des patients et d'adapter en conséquence les programmes de rééducation. Cet outil de mesure offre une méthode fiable pour mesurer la force des fléchisseurs et détecter une faiblesse résiduelle chez des athlètes précédemment blessés (Opar, Piatkowski, et al., 2013).

En définitive, la littérature s'accorde sur l'efficacité du NHE pour augmenter la FL du BF<sub>lh</sub> et la force excentrique. Les auteurs expliquent que l'approche dans la prévention des HSI devrait être multimodale et contenir des exercices variés comme le NHE, d'autres à dominante de hanche, le RDL par exemple et finalement le sprint. Des recherches supplémentaires sur ce dernier sont toutefois nécessaires pour spécifier les charges d'entraînement optimales afin de ne pas compromettre la santé du patient.

Nous avons trouvé une étude récente de Freeman et al., publiée en 2024, qui cherche à apporter des éléments de réponse intéressants. Ils ont mené une étude pilote sur seulement 12 sujets en comparant deux types de sprint différents, l'accélération et la recherche de la vitesse maximale. Les deux ont amélioré la FL du BF<sub>lh</sub> mais pas la force en excentrique, après six semaines d'intervention. Il semblerait que le niveau sportif des athlètes au préalable très élevé explique le peu de changement de force. Néanmoins, cette future étude qui intégrerait plus de sujets pourrait offrir des connaissances sur les changements structurels apportés par le sprint.

Nous allons développer dès lors, les éléments qu'ils restent à définir, notamment dans l'optimisation de l'entraînement basé sur le sprint chez des sujets ayant des HSI.

## 6.7 Recommandations pour de futures recherches

Notre travail a pu mettre en évidence diverses lacunes entourant le NHE et le sprint ainsi que les besoins pour guider la prise en charge des HSI. Les études futures devront respecter une qualité méthodologique meilleure pour garantir la comparabilité des données.

De plus, les programmes devront être menés sur une durée plus longue pour évaluer les effets de l'intervention sur le long terme. Les exercices devront également suivre une progressivité avec évaluation des sujets pour adapter au mieux la charge et l'intensité. En outre, cette évaluation devra être faite pour la force avec deux outils de mesure si possible, à savoir le « gold standard » qu'est l'isocinétisme mais aussi avec les plaques de force lors du NHE, dans le but de faciliter la comparaison et l'interprétation des résultats.

De même, pour l'évaluation de la FL du Bflh avec des FOV les plus étendus possible ou des mesures tridimensionnelles pour minimiser les erreurs potentielles et comprendre les adaptations musculaires dans des conditions dynamiques.

Nous considérons qu'il est crucial de standardiser les programmes d'entraînement pour faciliter la comparaison entre les groupes et ainsi garantir la qualité des résultats. Il faudrait aussi suivre des protocoles d'entraînements clairs, sans programme de renforcement additionnel, également similaires concernant la dose d'entraînement et les modalités spécifiques de l'exercice. Par exemple, dans le cadre du sprint, il semblerait intéressant de connaître l'intensité et les vitesses à atteindre pour bénéficier des effets de celui-ci sur l'amélioration de la force et l'allongement du fascicule.

Finalement, en tant que futurs professionnels de santé, nous souhaiterions avoir à notre disposition des études menées sur des sujets souffrant de HSI afin de connaître les particularités entourant cette population et d'offrir ainsi une meilleure prise en charge.

## 7. Conclusion

Les blessures aux ischio-jambiers sont omniprésentes dans les sports de course à haute vitesse et de changement de direction et leur gestion, que ce soit la baisse de leur incidence ou les principes de leur rééducation, représente un défi pour les cliniciens depuis plusieurs décennies. Le but de notre revue était de comparer les effets d'un programme de NHE à un programme de sprint sur la force excentrique des ischio-jambiers et la FL du BF, qui sont deux facteurs de risque modifiables importants des HSI. Nos résultats ont montré une amélioration intragroupe significative de la force en excentrique pour les deux interventions, avec une tendance plus marquée pour le groupe NHE. Concernant la FL, les deux interventions ont également mis en évidence des améliorations, bien que les données ne soient pas toujours cohérentes entre les études en ce qui concerne le groupe présentant l'amélioration la plus significative. Cependant, nos conclusions sont tempérées par plusieurs biais et limites identifiés dans les études analysées, notamment le petit nombre d'études disponible, la qualité variable des méthodologies employées, le manque d'uniformité dans les interventions et les méthodes de mesure utilisées. En vue de futures recherches, il est essentiel de conduire des études avec une rigueur méthodologique accrue, incluant des analyses en intention de traiter et de tester les interventions sur des périodes plus étendues pour évaluer leurs effets à long terme. Il serait par ailleurs bénéfique d'élargir les recherches pour inclure des sujets avec des antécédents de HSI afin de mieux comprendre les spécificités de cette population. Notre revue systématique apporte des informations précieuses sur les interventions visant à améliorer les facteurs de risque des HSI, mais elle révèle aussi les défis persistants dans la recherche de solutions efficaces pour leur gestion.

## Liste de références

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B., & Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring : Quadriceps muscle strength ratio. *The American Journal of Sports Medicine*, 26(2), 231-237. <https://doi.org/10.1177/03635465980260021201>
- Ahmad, C. S., Dick, R. W., Snell, E., Kenney, N. D., Curriero, F. C., Pollack, K., Albright, J. P., & Mandelbaum, B. R. (2014). Major and Minor League Baseball Hamstring Injuries : Epidemiologic Findings From the Major League Baseball Injury Surveillance System. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(6), 1464-1470. <https://doi.org/10.1177/0363546514529083>
- Ahmad, C. S., Redler, L. H., Ciccotti, M. G., Maffulli, N., Longo, U. G., & Bradley, J. (2013). Evaluation and management of hamstring injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(12), 2933-2947. <https://doi.org/10.1177/0363546513487063>
- Al Attar, W. S. A., & Alshehri, M. A. (2019). A meta-analysis of meta-analyses of the effectiveness of FIFA injury prevention programs in soccer. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(12), 1846-1855. <https://doi.org/10.1111/sms.13535>
- Alt, T., Nodler, Y. T., Severin, J., Knicker, A. J., & Strüder, H. K. (2018). Velocity-specific and time-dependent adaptations following a standardized Nordic Hamstring Exercise training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(1), 65-76. <https://doi.org/10.1111/sms.12868>
- Arden, C. L., Glasgow, P., Schneiders, A., Witvrouw, E., Clarsen, B., Cools, A., Gojanovic, B., Griffin, S., Khan, K. M., Moksnes, H., Mutch, S. A., Phillips, N., Reurink, G., Sadler, R., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Wangensteen, A., Wilk, K. E., & Bizzini, M. (2016). 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports

- Physical Therapy, Bern. *British Journal of Sports Medicine*, 50(14), 853-864.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278>
- Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z, editors. *JBI Manual for Evidence Synthesis*. JBI; 2024. Available from: <https://synthesismanual.jbi.global>.
- Aromataris, E., & Riitano, D. (2014). Systematic Reviews : Constructing a Search Strategy and Searching for Evidence. *AJN The American Journal of Nursing*, 114(5), 49.  
<https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0000446779.99522.f6>
- Askling, C., Karlsson, J., & Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13(4), 244-250. Medline.  
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.00312.x>
- Askling, C. M., Malliaropoulos, N., & Karlsson, J. (2012). High-speed running type or stretching-type of hamstring injuries makes a difference to treatment and prognosis. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 86-87. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090534>
- Askling, C. M., Tengvar, M., Saartok, T., & Thorstensson, A. (2007). Acute first-time hamstring strains during high-speed running : A longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(2), 197-206.  
<https://doi.org/10.1177/0363546506294679>
- Askling, C., Saartok, T., & Thorstensson, A. (2006). Type of acute hamstring strain affects flexibility, strength, and time to return to pre-injury level. *British Journal of Sports Medicine*, 40(1), 40-44. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018879>
- Behan, W. F. P., Timmins, R. G., & Opar, D. A. (2019). *THE ARCHITECTURE OF A HAMSTRING STRAIN INJURY*.
- Bennell, K., Wajswelner, H., Lew, P., Schall-Riaucour, A., Leslie, S., Plant, D., & Cirone, J. (1998). Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules

- footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 32(4), 309-314.  
<https://doi.org/10.1136/bjism.32.4.309>
- Biz, C., Nicoletti, P., Baldin, G., Bragazzi, N. L., Crimi, A., & Ruggieri, P. (2021). Hamstring Strain Injury (HSI) Prevention in Professional and Semi-Professional Football Teams : A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8272. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168272>
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., & Zhou, S. (2006). Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of Anatomy*, 209(3), 289-310. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x>
- Bonnel, F. (2013). La pennation musculaire (sarcomères, fibres, fascicules musculaires et aponévroses) (1ère partie). *Le mensuel pratique et technique du kinésithérapeute*, 542. <https://www.ks-mag.com/article/892-la-pennation-musculaire-sarcomeres-fibres-fascicules-musculaires-et-aponevroses-1ere-partie>
- Bourne, M. N., Duhig, S. J., Timmins, R. G., Williams, M. D., Opar, D. A., Al Najjar, A., Kerr, G. K., & Shield, A. J. (2017). Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: Implications for injury prevention. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 469-477. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096130>
- Bourne, M. N., Opar, D. A., Williams, M. D., Al Najjar, A., & Shield, A. J. (2016). Muscle activation patterns in the Nordic hamstring exercise: Impact of prior strain injury. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(6), 666-674. <https://doi.org/10.1111/sms.12494>
- Bourne, M. N., Opar, D. A., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2015). Eccentric Knee Flexor Strength and Risk of Hamstring Injuries in Rugby Union: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2663-2670. <https://doi.org/10.1177/0363546515599633>
- Bourne, M. N., Timmins, R. G., Opar, D. A., Pizzari, T., Ruddy, J. D., Sims, C., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2018). An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercises

- to Prevent Hamstring Injury. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(2), 251-267.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-017-0796-x>
- Bourne, M. N., Williams, M. D., Opar, D. A., Al Najjar, A., Kerr, G. K., & Shield, A. J. (2017). Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *British Journal of Sports Medicine*, 51(13), 1021-1028. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095739>
- Brooks, J. H. M., Fuller, C. W., Kemp, S. P. T., & Reddin, D. B. (2006). Incidence, Risk, and Prevention of Hamstring Muscle Injuries in Professional Rugby Union. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(8), 1297-1306.  
<https://doi.org/10.1177/0363546505286022>
- Brosseau, L., Laroche, C., Sutton, A., Guitard, P., King, J., Poitras, S., Casimiro, L., Tremblay, M., Cardinal, D., Cavallo, S., Laferrière, L., Grisé, I., Marshall, L., Smith, J. R., Lagacé, J., Pharand, D., Galipeau, R., Toupin-April, K., Loew, L., ... Vaillancourt, V. (2015). Une version franco-canadienne de la Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale : L'Échelle PEDro. *Physiotherapy Canada*, 67(3), 232-239.  
<https://doi.org/10.3138/ptc.2014-37F>
- Buchheit, M., Cholley, Y., Nagel, M., & Poulos, N. (2016). The Effect of Body Mass on Eccentric Knee-Flexor Strength Assessed With an Instrumented Nordic Hamstring Device (Nordbord) in Football Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 721-726. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0513>
- Butterfield, T. A., Leonard, T. R., & Herzog, W. (2005). Differential serial sarcomere number adaptations in knee extensor muscles of rats is contraction type dependent. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 99(4), 1352-1358.  
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00481.2005>
- Camp, C. L., Dines, J. S., van der List, J. P., Conte, S., Conway, J., Altchek, D. W., Coleman, S. H., & Pearle, A. D. (2018). Summative Report on Time Out of Play for Major and Minor League Baseball : An Analysis of 49,955 Injuries From 2011 Through 2016. *The*

*American Journal of Sports Medicine*, 46(7), 1727-1732.

<https://doi.org/10.1177/0363546518765158>

Campbell, E. L., Seynnes, O. R., Bottinelli, R., McPhee, J. S., Atherton, P. J., Jones, D. A., Butler-Browne, G., & Narici, M. V. (2013). Skeletal muscle adaptations to physical inactivity and subsequent retraining in young men. *Biogerontology*, 14(3), 247-259.

<https://doi.org/10.1007/s10522-013-9427-6>

Carmona, G., Mendiguchía, J., Alomar, X., Padullés, J. M., Serrano, D., Nescolarde, L., Rodas, G., Cussó, R., Balius, R., & Cadefau, J. A. (2018). Time Course and Association of Functional and Biochemical Markers in Severe Semitendinosus Damage Following Intensive Eccentric Leg Curls : Differences between and within Subjects. *Frontiers in Physiology*, 9, 54.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00054>

Charlton, P. C., Raysmith, B., Wollin, M., Rice, S., Purdam, C., Clark, R. A., & Drew, M. K. (2018a). Knee flexion not hip extension strength is persistently reduced following hamstring strain injury in Australian Football athletes : Implications for Periodic Health Examinations. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(10), 999-1003.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.03.014>

Charlton, P. C., Raysmith, B., Wollin, M., Rice, S., Purdam, C., Clark, R. A., & Drew, M. K. (2018b). Knee flexion strength is significantly reduced following competition in semi-professional Australian Rules football athletes : Implications for injury prevention programs. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 31, 9-14.

<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.01.001>

Chavarro-Nieto, C., Beaven, M., Gill, N., & Hébert-Losier, K. (2023). Hamstrings injury incidence, risk factors, and prevention in Rugby Union players : A systematic review.

*The Physician and Sportsmedicine*, 51(1), 1-19.

<https://doi.org/10.1080/00913847.2021.1992601>

Chu, S. K., & Rho, M. E. (2016). Hamstring Injuries in the Athlete : Diagnosis, Treatment, and Return to Play. *Current Sports Medicine Reports*, 15(3), 184-190.

<https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000264>

Chumanov, E. S., Heiderscheit, B. C., & Thelen, D. G. (2007). The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *Journal of Biomechanics*, 40(16), 3555-3562.

<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.05.026>

Chumanov, E. S., Heiderscheit, B. C., & Thelen, D. G. (2011). Hamstring musculotendon dynamics during stance and swing phases of high-speed running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(3), 525-532.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181f23fe8>

Chumanov, E. S., Schache, A. G., Heiderscheit, B. C., & Thelen, D. G. (2012). Hamstrings are most susceptible to injury during the late swing phase of sprinting. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 90.

<https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090176>

Crawford, S. K., Hickey, J., Vlisides, J., Chambers, J. S., Mosiman, S. J., & Heiderscheit, B. C. (2023). The effects of hip- vs. knee-dominant hamstring exercise on biceps femoris morphology, strength, and sprint performance : A randomized intervention trial protocol. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 15(1), 72.

<https://doi.org/10.1186/s13102-023-00680-w>

Croisier, J.-L., Forthomme, B., Namurois, M.-H., Vanderthommen, M., & Crielaard, J.-M. (2002). Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *The American Journal of Sports Medicine*, 30(2), 199-203.

<https://doi.org/10.1177/03635465020300020901>

Croisier, J.-L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J.-M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players : A prospective study.

- The American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469-1475.  
<https://doi.org/10.1177/0363546508316764>
- Cross, K. M., Gurka, K. K., Conaway, M., & Ingersoll, C. D. (2010). Hamstring Strain Incidence Between Genders and Sports in NCAA Athletics. *Athletic Training & Sports Health Care*, 2(3), 124-130. <https://doi.org/10.3928/19425864-20100428-06>
- Cross, K. M., Gurka, K. K., Saliba, S., Conaway, M., & Hertel, J. (2013). Comparison of Hamstring Strain Injury Rates Between Male and Female Intercollegiate Soccer Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(4), 742-748.  
<https://doi.org/10.1177/0363546513475342>
- Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., Chandler, J., Welch, V. A., Higgins, J. P., & Thomas, J. (2019). Updated guidance for trusted systematic reviews: A new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 10(10), ED000142.  
<https://doi.org/10.1002/14651858.ED000142>
- Dalton, S. L., Kerr, Z. Y., & Dompier, T. P. (2015). Epidemiology of Hamstring Strains in 25 NCAA Sports in the 2009-2010 to 2013-2014 Academic Years. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2671-2679. <https://doi.org/10.1177/0363546515599631>
- Danielsson, A., Horvath, A., Senorski, C., Alentorn-Geli, E., Garrett, W. E., Cugat, R., Samuelsson, K., & Hamrin Senorski, E. (2020). The mechanism of hamstring injuries—A systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 641.  
<https://doi.org/10.1186/s12891-020-03658-8>
- Delahunt, E., McGroarty, M., De Vito, G., & Ditroilo, M. (2016). Nordic hamstring exercise training alters knee joint kinematics and hamstring activation patterns in young men. *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), 663-672.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3325-3>
- Delextrat, A., Bateman, J., Ross, C., Harman, J., Davis, L., Vanrenterghem, J., & Cohen, D. D. (2020). Changes in Torque-Angle Profiles of the Hamstrings and Hamstrings-to-Quadriceps Ratio After Two Hamstring Strengthening Exercise Interventions in Female

- Hockey Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(2), 396-405.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003309>
- de Morton, N. A. (2009). The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials : A demographic study. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 55(2), 129-133. [https://doi.org/10.1016/s0004-9514\(09\)70043-1](https://doi.org/10.1016/s0004-9514(09)70043-1)
- de Visser, H. M., Reijman, M., Heijboer, M. P., & Bos, P. K. (2012). Risk factors of recurrent hamstring injuries : A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 124-130. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090317>
- Ditroilo, M., De Vito, G., & Delahunt, E. (2013). Kinematic and electromyographic analysis of the Nordic Hamstring Exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 23(5), 1111-1118. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.05.008>
- Duhig, S., Shield, A. J., Opar, D., Gabbett, T. J., Ferguson, C., & Williams, M. (2016). Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1536-1540. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095679>
- Edouard, P., Branco, P., & Alonso, J.-M. (2016). Muscle injury is the principal injury type and hamstring muscle injury is the first injury diagnosis during top-level international athletics championships between 2007 and 2015. *British Journal of Sports Medicine*, 50(10), 619-630. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095559>
- Edouard, P., Depiesse, F., Branco, P., & Alonso, J.-M. (2014). Analyses of Helsinki 2012 European Athletics Championships injury and illness surveillance to discuss elite athletes risk factors. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 24(5), 409-415.  
<https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000052>
- Edouard, P., Mendiguchia, J., Guex, K., Lahti, J., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2019). *Sprinting : A potential vaccine for hamstring injury?*
- Ekstrand, J., Bengtsson, H., Walden, M., Davison, M., & Hagglund, M. (2022). Still poorly adopted in male professional football : But teams that used the Nordic Hamstring

Exercise in team training had fewer hamstring injuries - a retrospective survey of 17 teams of the UEFA Elite Club Injury Study during the 2020-2021 season. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 8(3), e001368. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2022-001368>

Ekstrand, J., Bengtsson, H., Waldén, M., Davison, M., Khan, K. M., & Hägglund, M. (2022). Hamstring injury rates have increased during recent seasons and now constitute 24% of all injuries in men's professional football: The UEFA Elite Club Injury Study from 2001/02 to 2021/22. *British Journal of Sports Medicine*, 57(5), 292-298. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105407>

Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011a). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *The American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1226-1232. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>

Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011b). Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(7), 553-558. <https://doi.org/10.1136/bjsem.2009.060582>

Ekstrand, J., Healy, J. C., Waldén, M., Lee, J. C., English, B., & Hägglund, M. (2012). Hamstring muscle injuries in professional football: The correlation of MRI findings with return to play. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 112-117. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090155>

Ekstrand, J., Krutsch, W., Spreco, A., van Zoest, W., Roberts, C., Meyer, T., & Bengtsson, H. (2020). Time before return to play for the most common injuries in professional football: A 16-year follow-up of the UEFA Elite Club Injury Study. *British Journal of Sports Medicine*, 54(7), 421-426. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100666>

Ekstrand, J., Waldén, M., & Hägglund, M. (2016). 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. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 731-737.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095359>
- Eliakim, E., Morgulev, E., Lidor, R., & Meckel, Y. (2020). Estimation of injury costs : Financial damage of English Premier League teams' underachievement due to injuries. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000675. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000675>
- Elliott, M. C. C. W., Zarins, B., Powell, J. W., & Kenyon, C. D. (2011). Hamstring muscle strains in professional football players : A 10-year review. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(4), 843-850. <https://doi.org/10.1177/0363546510394647>
- Erickson, L. N., & Sherry, M. A. (2017). Rehabilitation and return to sport after hamstring strain injury. *Journal of Sport and Health Science*, 6(3), 262-270.  
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.04.001>
- Feeley, B. T., Kennelly, S., Barnes, R. P., Muller, M. S., Kelly, B. T., Rodeo, S. A., & Warren, R. F. (2008). Epidemiology of National Football League training camp injuries from 1998 to 2007. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1597-1603.  
<https://doi.org/10.1177/0363546508316021>
- Finch, C. (2006). A new framework for research leading to sports injury prevention. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1), 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.02.009>
- Fitzpatrick, A. C., Naylor, A. S., Myler, P., & Robertson, C. (2018). A three-year epidemiological prospective cohort study of rugby league match injuries from the European Super League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(2), 160-165.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.08.012>
- Franchi, M. V., Ellenberger, L., Javet, M., Bruhin, B., Romann, M., Frey, W. O., & Spörri, J. (2019). Maximal Eccentric Hamstrings Strength in Competitive Alpine Skiers : Cross-Sectional Observations From Youth to Elite Level. *Frontiers in Physiology*, 10, 88.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00088>
- Franchi, M. V., Raiteri, B. J., Longo, S., Sinha, S., Narici, M. V., & Csapo, R. (2018). Muscle Architecture Assessment: Strengths, Shortcomings and New Frontiers of in Vivo

- Imaging Techniques. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 44(12), 2492-2504.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.010>
- Freckleton, G., Cook, J., & Pizzari, T. (2014). The predictive validity of a single leg bridge test for hamstring injuries in Australian Rules Football Players. *British Journal of Sports Medicine*, 48(8), 713-717. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092356>
- Freeman, B., Talpey, S., James, L., & Young, W. (2024). Acceleration versus maximum speed sprinting : A pilot study assessing sprint performance, eccentric knee flexor strength, and muscle architecture. *The Journal of Sport and Exercise Science*, 7, 19-30.  
<https://doi.org/10.36905/jses.2023.03.03>
- Freeman, B. W., Young, W. B., Talpey, S. W., Smyth, A. M., Pane, C. L., & Carlon, T. A. (2019). The effects of sprint training and the Nordic hamstring exercise on eccentric hamstring strength and sprint performance in adolescent athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(7). <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08703-0>
- Freitas, S. R., Marmeleira, J., Valamatos, M. J., Blazeovich, A., & Mil-Homens, P. (2018). Ultrasonographic Measurement of the Biceps Femoris Long-Head Muscle Architecture. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 37(4), 977-986. <https://doi.org/10.1002/jum.14436>
- Fridén, J., & Lieber, R. L. (2001). Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171(3), 321-326. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2001.00834.x>
- Fyfe, J. J., Opar, D. A., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2013). The role of neuromuscular inhibition in hamstring strain injury recurrence. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 23(3), 523-530. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.12.006>
- Gabbe, B. J., Bennell, K. L., Finch, C. F., Wajswelner, H., & Orchard, J. W. (2006). Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. *Scandinavian Journal of*

*Medicine & Science in Sports*, 16(1), 7-13. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00441.x>

Garrett, W. E. (1996). Muscle strain injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6 Suppl), S2-8.

Goode, A. P., Reiman, M. P., Harris, L., DeLisa, L., Kauffman, A., Beltramo, D., Poole, C., Ledbetter, L., & Taylor, A. B. (2015). Eccentric training for prevention of hamstring injuries may depend on intervention compliance : A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49(6), 349-356. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093466>

Goossens, L., Witvrouw, E., Vanden Bossche, L., & De Clercq, D. (2015). Lower eccentric hamstring strength and single leg hop for distance predict hamstring injury in PETE students. *European Journal of Sport Science*, 15(5), 436-442. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.955127>

Green, B., Bourne, M. N., & Pizzari, T. (2018). Isokinetic strength assessment offers limited predictive validity for detecting risk of future hamstring strain in sport : A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 52(5), 329-336. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098101>

Green, B., Bourne, M. N., van Dyk, N., & Pizzari, T. (2020). 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*, 54(18), 1081-1088. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100983>
- Greig, M. (2008). The influence of soccer-specific fatigue on peak isokinetic torque production of the knee flexors and extensors. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(7), 1403-1409. <https://doi.org/10.1177/0363546508314413>
- Gueux, K., & Millet, G. P. (2013). Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(12), 1207-1215. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0097-y>
- Hagel, B. (2005). Hamstring injuries in Australian football. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 15(5), 400. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000179227.01404.d3>
- Häggglund, M., Waldén, M., Magnusson, H., Kristenson, K., Bengtsson, H., & Ekstrand, J. (2013). Injuries affect team performance negatively in professional football : An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 738-742. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092215>
- Heiderscheit, B. C., Sherry, M. A., Silder, A., Chumanov, E. S., & Thelen, D. G. (2010). Hamstring strain injuries : Recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury

- prevention. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40(2), 67-81.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3047>
- Hickey, J., Opar, D., Timmins, R., Behan, F., Beerworth, K., & Hulm, S. (2019). Hamstring strain injury prevention, rehabilitation and sports performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22, S8. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.08.049>
- Hickey, J., Shield, A. J., Williams, M. D., & Opar, D. A. (2014). The financial cost of hamstring strain injuries in the Australian Football League. *British Journal of Sports Medicine*, 48(8), 729-730. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092884>
- Higashihara, A., Nagano, Y., Ono, T., & Fukubayashi, T. (2015). Differences in activation properties of the hamstring muscles during overground sprinting. *Gait & Posture*, 42(3), 360-364. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.07.002>
- Hootman, J. M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports : Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 311-319.
- Iatropoulos, S. A., & Wheeler, P. C. (2024). Hamstring muscle injuries in athletics. *The Physician and Sportsmedicine*, 52(2), 103-114.  
<https://doi.org/10.1080/00913847.2023.2188871>
- Iga, J., Fruer, C. S., Deighan, M., Croix, M. D. S., & James, D. V. B. (2012). « Nordic » hamstrings exercise—Engagement characteristics and training responses. *International Journal of Sports Medicine*, 33(12), 1000-1004. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1304591>
- Impellizzeri, F. M., McCall, A., & Van Smeden, M. (2021). Why methods matter in a meta-analysis: A reappraisal showed inconclusive injury preventive effect of Nordic hamstring exercise. *Journal of Clinical Epidemiology*, 140, 111-124.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.09.007>
- Jokela, A., Valle, X., Kosola, J., Rodas, G., Til, L., Burova, M., Pleshkov, P., Andersson, H., Pasta, G., Manetti, P., Lupón, G., Pruna, R., García-Romero-Pérez, A., & Lempainen, L. (2023). Mechanisms of Hamstring Injury in Professional Soccer Players: Video

- Analysis and Magnetic Resonance Imaging Findings. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 33(3), 217-224.  
<https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001109>
- Jones, A., Jones, G., Greig, N., Bower, P., Brown, J., Hind, K., & Francis, P. (2019). Epidemiology of injury in English Professional Football players: A cohort study. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 35, 18-22.  
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.10.011>
- Kääriäinen, M., Järvinen, T., Järvinen, M., Rantanen, J., & Kalimo, H. (2000). Relation between myofibers and connective tissue during muscle injury repair. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(6), 332-337. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2000.010006332.x>
- Kapri, E., Mehta, M., & S, K. (2021). Biomechanics of running: An overview on gait cycle. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, 1-9.  
<https://doi.org/10.34256/ijpefs2131>
- Kellis, E. (2018). Intra- and Inter-Muscular Variations in Hamstring Architecture and Mechanics and Their Implications for Injury: A Narrative Review. *Sports Medicine*, <https://rdcu.be/4EMN>. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0975-4>
- Kenneally-Dabrowski, C. J. B., Brown, N. A. T., Lai, A. K. M., Perriman, D., Spratford, W., & Serpell, B. G. (2019). Late swing or early stance? A narrative review of hamstring injury mechanisms during high-speed running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(8), 1083-1091. <https://doi.org/10.1111/sms.13437>
- Kilduff, L. P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M. I. C., & Cunningham, D. (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 26(8), 795-802.  
<https://doi.org/10.1080/02640410701784517>
- Klimstra, M., Dowling, J., Durkin, J. L., & MacDonald, M. (2007). The effect of ultrasound probe orientation on muscle architecture measurement. *Journal of Electromyography and*

*Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 17(4), 504-514. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.04.011>

Koulouris, G., Connell, D. A., Brukner, P., & Schneider-Kolsky, M. (2007). Magnetic resonance imaging parameters for assessing risk of recurrent hamstring injuries in elite athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(9), 1500-1506. <https://doi.org/10.1177/0363546507301258>

Krishna, S. A., Alwar, T. K., Sibeko, S., Ranjit, S., & Sivaraman, A. (2019). Plyometric-based Training for Isokinetic Knee Strength and Jump Performance in Cricket Fast Bowlers. *International Journal of Sports Medicine*, 40(11), 704-710. <https://doi.org/10.1055/a-0970-5564>

Kurihara, T., Oda, T., Chino, K., Kanehisa, H., Fukunaga, T., & Kawakami, Y. (2005). Use of Three-Dimensional Ultrasonography for the Analysis of the Fascicle Length of Human Gastrocnemius Muscle During Contractions. *International Journal of Sport and Health Science*, 3(Special\_Issue\_2005), 226-234. <https://doi.org/10.5432/ijshs.3.226>

Kwah, L. K., Pinto, R. Z., Diong, J., & Herbert, R. D. (2013). Reliability and validity of ultrasound measurements of muscle fascicle length and pennation in humans: A systematic review. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 114(6), 761-769. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01430.2011>

Langhout, R., Weir, A., Litjes, W., Gozeling, M., Stubbe, J. H., Kerkhoffs, G., & Tak, I. (2019). Hip and groin injury is the most common non-time-loss injury in female amateur football.

- Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 27(10), 3133-3141. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-4996-1>
- Launay, R. (2020). *INTÉRÊT DU NORDIC HAMSTRING DANS LA PRÉVENTION DES LÉSIONS MUSCULAIRES AUX ISCHIO-JAMBIERS CHEZ LES FOOTBALLEURS*.
- Lee, J. W. Y., Li, C., Yung, P. S. H., & Chan, K.-M. (2017). The reliability and validity of a video-based method for assessing hamstring strength in football players. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 15(1), 18-21. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2017.04.001>
- Lee, J. W. Y., Mok, K.-M., Chan, H. C. K., Yung, P. S. H., & Chan, K.-M. (2018). Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(8), 789-793. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.017>
- Lieber, R. L. (1997). Muscle fiber length and moment arm coordination during dorsi- and plantarflexion in the mouse hindlimb. *Acta Anatomica*, 159(2-3), 84-89. <https://doi.org/10.1159/000147970>
- Lieber, R. L., & Fridén, J. (1993). Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 74(2), 520-526. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.2.520>
- Llurda-Almuzara, L., Labata-Lezaun, N., López-de-Celis, C., Aiguadé-Aiguadé, R., Romani-Sánchez, S., Rodríguez-Sanz, J., Fernández-de-Las-Peñas, C., & Pérez-Bellmunt, A. (2021). Biceps Femoris Activation during Hamstring Strength Exercises: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8733. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168733>
- Lord, C., Ma'ayah, F., & Blazevich, A. J. (2018). Change in knee flexor torque after fatiguing exercise identifies previous hamstring injury in football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(3), 1235-1243. <https://doi.org/10.1111/sms.13007>
- Lovell, R., Siegler, J. C., Knox, M., Brennan, S., & Marshall, P. W. M. (2016). Acute neuromuscular and performance responses to Nordic hamstring exercises completed

- before or after football training. *Journal of Sports Sciences*, 34(24), 2286-2294.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1191661>
- Malliaropoulos, N., Bikos, G., Meke, M., Vasileios, K., Valle, X., Lohrer, H., Maffulli, N., & Padhiar, N. (2018). Higher frequency of hamstring injuries in elite track and field athletes who had a previous injury to the ankle—A 17 years observational cohort study. *Journal of Foot and Ankle Research*, 11(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0247-4>
- Malone, S., Roe, M., Doran, D. A., Gabbett, T. J., & Collins, K. (2017). High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(3), 250-254.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.005>
- Maniar, N., Carmichael, D. S., Hickey, J. T., Timmins, R. G., San Jose, A. J., Dickson, J., & Opar, D. (2023). Incidence and prevalence of hamstring injuries in field-based team sports : A systematic review and meta-analysis of 5952 injuries from over 7 million exposure hours. *British Journal of Sports Medicine*, 57(2), 109-116.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104936>
- Mann, R., & Sprague, P. (1980). A kinetic analysis of the ground leg during sprint running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(2), 334-348.  
<https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10605202>
- Marieb Elaine N. (1999). *Anatomie et physiologie humaines / Elaine N. Marieb,... ; Traduction de la 4e édition américaine par Jean-Pierre Artigau, France Boudreault, Annie Desbiens... [Et al.] adaptation française de René Lachaîne*. De Boeck université Éd. du Renouveau pédagogique.
- Martin, R. L., Cibulka, M. T., Bolgla, L. A., Koc, T. A., Loudon, J. K., Manske, R. C., Weiss, L., Christoforetti, J. J., & Heiderscheit, B. C. (2022). Hamstring Strain Injury in Athletes.

- The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 52(3), CPG1-CPG44.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2022.0301>
- McCall, A., Carling, C., Nedelec, M., Davison, M., Gall, F. L., Berthoin, S., & Dupont, G. (2014). Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football : Current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *British Journal of Sports Medicine*, 48(18), 1352-1357. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093439>
- Mendiguchia, J., Arcos, A. L., Garrues, M. A., Myer, G. D., Yanci, J., & Idoate, F. (2013). The use of MRI to evaluate posterior thigh muscle activity and damage during nordic hamstring exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(12), 3426-3435. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828fd3e7>
- Mendiguchia, J., Martinez-Ruiz, E., Morin, J. B., Samozino, P., Edouard, P., Alcaraz, P. E., Esparza-Ros, F., & Mendez-Villanueva, A. (2015). Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(6), e621-629. <https://doi.org/10.1111/sms.12388>
- Morgan, D. L., & Proske, U. (2004). Popping sarcomere hypothesis explains stretch-induced muscle damage. *Clinical and Experimental Pharmacology & Physiology*, 31(8), 541-545. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2004.04029.x>
- Morin, J.-B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J.-R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3921-3930. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2379-8>
- Morin, J.-B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical Ability of Force Application as a Determinant Factor of Sprint Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318216ea37>
- Morin, J.-B., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P., Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Mendiguchia, J. (2015). Sprint Acceleration Mechanics : The Major Role of

- Hamstrings in Horizontal Force Production. *Frontiers in Physiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00404>
- Munn, Z., Stern, C., Aromataris, E., Lockwood, C., & Jordan, Z. (2018). What kind of systematic review should I conduct? A proposed typology and guidance for systematic reviewers in the medical and health sciences. *BMC medical research methodology*, 18(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12874-017-0468-4>
- Narici, M. V., Maganaris, C. N., Reeves, N. D., & Capodaglio, P. (2003). Effect of aging on human muscle architecture. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 95(6), 2229-2234. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00433.2003>
- Oakley, A. J., Jennings, J., & Bishop, C. J. (2018). Holistic hamstring health : Not just the Nordic hamstring exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 52(13), 816-817. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097137>
- Oliveira, V. B. D., Carneiro, S. P., Oliveira, L. F. D., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil, & Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil. (2016). Reliability of biceps femoris and semitendinosus muscle architecture measurements obtained with ultrasonography. *Research on Biomedical Engineering*, 32(4), 365-371. <https://doi.org/10.1590/2446-4740.04115>
- Opar, D. A., Drezner, J., Shield, A., Williams, M., Webner, D., Sennett, B., Kapur, R., Cohen, M., Ulager, J., Cafengiu, A., & Cronholm, P. F. (2014). Acute hamstring strain injury in track-and-field athletes : A 3-year observational study at the Penn Relay Carnival. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(4), e254-e259. <https://doi.org/10.1111/sms.12159>
- Opar, D. A., Piatkowski, T., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2013). A novel device using the Nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength : A reliability and

- retrospective injury study. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 43(9), 636-640. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4837>
- Opar, D. A., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2012). Hamstring strain injuries : Factors that lead to injury and re-injury. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 42(3), 209-226. Medline. <https://doi.org/10.2165/11594800-000000000-00000>
- Opar, D. A., Williams, M. D., Timmins, R. G., Dear, N. M., & Shield, A. J. (2013). Knee flexor strength and bicep femoris electromyographical activity is lower in previously strained hamstrings. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 23(3), 696-703. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.11.004>
- Opar, D. A., Williams, M. D., Timmins, R. G., Hickey, J., Duhig, S. J., & Shield, A. J. (2015). Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(4), 857-865. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000465>
- Orchard, J., Marsden, J., Lord, S., & Garlick, D. (1997). Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *The*

- American Journal of Sports Medicine*, 25(1), 81-85.  
<https://doi.org/10.1177/036354659702500116>
- Orchard, J., & Seward, H. (2002). Epidemiology of injuries in the Australian Football League, seasons 1997-2000. *British Journal of Sports Medicine*, 36(1), 39-44.  
<https://doi.org/10.1136/bjism.36.1.39>
- Orchard, J., Seward, H., Orchard, J., & Driscoll, T. (2020). The speed-fatigue trade off in hamstring aetiology : Analysis of 2011 AFL injury data. *Sport Health*, 30(3), 53-57.  
<https://doi.org/10.3316/informit.956475922365271>
- Orchard, J. W. (2001). Intrinsic and Extrinsic Risk Factors for Muscle Strains in Australian Football. *The American Journal of Sports Medicine*, 29(3), 300-303.  
<https://doi.org/10.1177/03635465010290030801>
- Orchard, J. W., Driscoll, T., Seward, H., & Orchard, J. J. (2012). Relationship between interchange usage and risk of hamstring injuries in the Australian Football League. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(3), 201-206.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.11.250>
- Orchard, J. W., Kountouris, A., & Sims, K. (2017). Risk factors for hamstring injuries in Australian male professional cricket players. *Journal of Sport and Health Science*, 6(3), 271-274. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.05.004>
- Owen, A. L., Wong, D. P., Paul, D., & Dellal, A. (2014). Physical and technical comparisons between various-sided games within professional soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 35(4), 286-292. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1351333>
- Page. (2021). *The PRISMA 2020 statement : An updated guideline for reporting systematic reviews | The BMJ*. <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>
- Paton, B. M., Read, P., Van Dyk, N., Wilson, M. G., Pollock, N., Court, N., Giakoumis, M., Head, P., Kayani, B., Kelly, S., Kerkhoffs, G. M. M. J., Moore, J., Moriarty, P., Murphy, S., Plastow, R., Stirling, B., Tulloch, L., Wood, D., & Haddad, F. (2023). London International Consensus and Delphi study on hamstring injuries part 3 : Rehabilitation,

- running and return to sport. *British Journal of Sports Medicine*, 57(5), 278-291.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105384>
- Petersen, J., Thorborg, K., Nielsen, M. B., Budtz-Jørgensen, E., & Hölmich, P. (2011). Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: A cluster-randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(11), 2296-2303. <https://doi.org/10.1177/0363546511419277>
- Pimenta, R., Blazeovich, A. J., & Freitas, S. R. (2018). Biceps Femoris Long-Head Architecture Assessed Using Different Sonographic Techniques. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(12), 2584. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001731>
- Pinto, M. D., Blazeovich, A. J., Andersen, L. L., Mil-Homens, P., & Pinto, R. S. (2018). Hamstring-to-quadriceps fatigue ratio offers new and different muscle function information than the conventional non-fatigued ratio. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(1), 282-293. <https://doi.org/10.1111/sms.12891>
- Pollock, N., Kelly, S., Lee, J., Stone, B., Giakoumis, M., Polglass, G., Brown, J., & MacDonald, B. (2022). A 4-year study of hamstring injury outcomes in elite track and field using the British Athletics rehabilitation approach. *British Journal of Sports Medicine*, 56(5), 257-263. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103791>
- Potier, T. G., Alexander, C. M., & Seynnes, O. R. (2009). Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *European Journal of Applied Physiology*, 105(6), 939-944. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0980-7>
- Poudel, B., & Pandey, S. (2024). Hamstring Injury. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK558936/>
- Presland, J. D., Timmins, R. G., Bourne, M. N., Williams, M. D., & Opar, D. A. (2018). The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head

- architectural adaptation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(7), 1775-1783. <https://doi.org/10.1111/sms.13085>
- Prince, C., Morin, J.-B., Mendiguchia, J., Lahti, J., Guex, K., Edouard, P., & Samozino, P. (2020). Sprint Specificity of Isolated Hamstring-Strengthening Exercises in Terms of Muscle Activity and Force Production. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 609636. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.609636>
- Raj, I. S., Bird, S. R., & Shield, A. J. (2010). Aging and the force-velocity relationship of muscles. *Experimental Gerontology*, 45(2), 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2009.10.013>
- Ribeiro-Alvares, J. B., Marques, V. B., Vaz, M. A., & Baroni, B. M. (2018). Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1254-1262. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001975>
- Ripley, N. J. (2021). *Modifiable Risk Factors of Hamstring Strain Injury*:
- Ripley, N. J., Cuthbert, M., Ross, S., Comfort, P., & McMahon, J. J. (2021). The Effect of Exercise Compliance on Risk Reduction for Hamstring Strain Injury : A Systematic Review and Meta-Analyses. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11260. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111260>
- Roe, M., Delahunt, E., McHugh, M., Gissane, C., Malone, S., Collins, K., & Blake, C. (2020). Association between eccentric knee flexor strength and hamstring injury risk in 185 elite Gaelic football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(3), 515-522. <https://doi.org/10.1111/sms.13588>
- Roe, M., Malone, S., Delahunt, E., Collins, K., Gissane, C., Persson, U. M., Murphy, J. C., & Blake, C. (2018). Eccentric knee flexor strength profiles of 341 elite male academy and senior Gaelic football players : Do body mass and previous hamstring injury impact performance? *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of*

*Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 31, 68-74.

<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.01.006>

Roe, M., Murphy, J. C., Gissane, C., & Blake, C. (2018a). Hamstring injuries in elite Gaelic football : An 8-year investigation to identify injury rates, time-loss patterns and players at increased risk. *British Journal of Sports Medicine*, 52(15), 982-988. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096401>

Roe, M., Murphy, J. C., Gissane, C., & Blake, C. (2018b). Time to get our four priorities right : An 8-year prospective investigation of 1326 player-seasons to identify the frequency, nature, and burden of time-loss injuries in elite Gaelic football. *PeerJ*, 6, e4895. <https://doi.org/10.7717/peerj.4895>

Ruddy, J. D., Pollard, C. W., Timmins, R. G., Williams, M. D., Shield, A. J., & Opar, D. A. (2018). Running exposure is associated with the risk of hamstring strain injury in elite Australian footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 52(14), 919-928. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096777>

Rudisill, S. S., Varady, N. H., Kucharik, M. P., Eberlin, C. T., & Martin, S. D. (2023). Evidence-Based Hamstring Injury Prevention and Risk Factor Management: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *The American Journal of Sports Medicine*, 51(7), 1927-1942. <https://doi.org/10.1177/03635465221083998>

Schache, A. G., Dorn, T. W., Blanch, P. D., Brown, N. A. T., & Pandy, M. G. (). Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(4), 647-658. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318236a3d2>

Schache, A. G., Dorn, T. W., Wrigley, T. V., Brown, N. A. T., & Pandy, M. G. (2013). Stretch and activation of the human biarticular hamstrings across a range of running speeds.

- European Journal of Applied Physiology*, 113(11), 2813-2828.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-013-2713-9>
- Schache, A. G., Wrigley, T. V., Baker, R., & Pandy, M. G. (2009). Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait & Posture*, 29(2), 332-338.  
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.10.054>
- Schuermans, J., Van Tiggelen, D., Danneels, L., & Witvrouw, E. (2016). Susceptibility to Hamstring Injuries in Soccer : A Prospective Study Using Muscle Functional Magnetic Resonance Imaging. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(5), 1276-1285.  
<https://doi.org/10.1177/0363546515626538>
- Schünemann, H. J., Tugwell, P., Reeves, B. C., Akl, E. A., Santesso, N., Spencer, F. A., Shea, B., Wells, G., & Helfand, M. (2013). Non-randomized studies as a source of complementary, sequential or replacement evidence for randomized controlled trials in systematic reviews on the effects of interventions. *Research Synthesis Methods*, 4(1), 49-62. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1078>
- Sconce, E., Jones, P., Turner, E., Comfort, P., & Graham-Smith, P. (2015). The validity of the nordic hamstring lower for a field-based assessment of eccentric hamstring strength. *Journal of Sport Rehabilitation*, 24(1), 13-20. <https://doi.org/10.1123/JSR.2013-0097>
- Seagrave, R. A., Perez, L., McQueeney, S., Toby, E. B., Key, V., & Nelson, J. D. (2014). Preventive Effects of Eccentric Training on Acute Hamstring Muscle Injury in Professional Baseball. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2(6), 2325967114535351. <https://doi.org/10.1177/2325967114535351>
- Seymore, K. D., Domire, Z. J., DeVita, P., Rider, P. M., & Kulas, A. S. (2017). The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *European Journal of Applied Physiology*, 117(5), 943-953.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-017-3583-3>
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of*

- Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 102(1), 368-373.  
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00789.2006>
- Sherry, M. (2012). Examination and Treatment of Hamstring Related Injuries. *Sports Health*, 4(2), 107-114. <https://doi.org/10.1177/1941738111430197>
- Sherry, M. A., & Best, T. M. (2004). A Comparison of 2 Rehabilitation Programs in the Treatment of Acute Hamstring Strains. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(3), 116-125. <https://doi.org/10.2519/jospt.2004.34.3.116>
- Sherry, M., Best, T., Silder, A., Thelen, D., & Heiderscheit, B. (2011). Hamstring Strains : Basic Science and Clinical Research Applications for Preventing the Recurrent Injury. *Strength & Conditioning Journal (Lippincott Williams & Wilkins)*, 33, 56-71. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31821e2f71>
- Silder, A., Reeder, S. B., & Thelen, D. G. (2010). The influence of prior hamstring injury on lengthening muscle tissue mechanics. *Journal of Biomechanics*, 43(12), 2254-2260. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.02.038>
- Silder, A., Sherry, M. A., Sanfilippo, J., Tuite, M. J., Hetzel, S. J., & Heiderscheit, B. C. (2013). Clinical and Morphological Changes Following 2 Rehabilitation Programs for Acute Hamstring Strain Injuries : A Randomized Clinical Trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(5), 284-299. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4452>
- Silvers-Granelli, H. J., Cohen, M., Espregueira-Mendes, J., & Mandelbaum, B. (2021). Hamstring muscle injury in the athlete : State of the art. *Journal of ISAKOS: Joint Disorders & Orthopaedic Sports Medicine*, 6(3), 170-181. <https://doi.org/10.1136/jisakos-2017-000145>
- Stępień, K., Smigielski, R., Mouton, C., Cizek, B., Engelhardt, M., & Seil, R. (2018). Anatomy of proximal attachment, course, and innervation of hamstring muscles : A pictorial

- essay. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27.  
<https://doi.org/10.1007/s00167-018-5265-z>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419-1449.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
- Sugiura, Y., Saito, T., Sakuraba, K., Sakuma, K., & Suzuki, E. (2008). Strength deficits identified with concentric action of the hip extensors and eccentric action of the hamstrings predispose to hamstring injury in elite sprinters. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(8), 457-464. <https://doi.org/10.2519/jospt.2008.2575>
- Timmins, R. G., Bourne, M. N., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., & Opar, D. A. (2016). Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): A prospective cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1524-1535. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095362>
- Timmins, R. G., Ruddy, J. D., Presland, J., Maniar, N., Shield, A. J., Williams, M. D., & Opar, D. A. (2016). Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(3), 499-508.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000795>
- Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., & Opar, D. A. (2015). Biceps femoris long head architecture: A reliability and retrospective injury study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(5), 905-913.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000507>
- Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., & Opar, D. A. (2016). 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*, 50(23), 1467-1472. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094881>
- Tokutake, G., Kuramochi, R., Murata, Y., Enoki, S., Koto, Y., & Shimizu, T. (2018). The Risk Factors of Hamstring Strain Injury Induced by High-Speed Running. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17(4), 650-655.
- Tyler, T. F., Schmitt, B. M., Nicholas, S. J., & McHugh, M. P. (2017). Rehabilitation After Hamstring-Strain Injury Emphasizing Eccentric Strengthening at Long Muscle Lengths : Results of Long-Term Follow-Up. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(2), 131-140. <https://doi.org/10.1123/jsr.2015-0099>
- van den Tillaar, R., Solheim, J. A. B., & Bencke, J. (2017). COMPARISON OF HAMSTRING MUSCLE ACTIVATION DURING HIGH-SPEED RUNNING AND VARIOUS HAMSTRING STRENGTHENING EXERCISES. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(5), 718-727.
- van der Horst, N., Smits, D.-W., Petersen, J., Goedhart, E. A., & Backx, F. J. G. (2015). The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players : A randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(6), 1316-1323. <https://doi.org/10.1177/0363546515574057>
- van Dyk, N., Bahr, R., Burnett, A. F., Verhagen, E., von Tiggelen, D., & Witvrouw, E. (2018). No association between rate of torque development and onset of muscle activity with increased risk of hamstring injury in elite football. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(10), 2153-2163. <https://doi.org/10.1111/sms.13224>
- van Dyk, N., Bahr, R., Whiteley, R., Tol, J. L., Kumar, B. D., Hamilton, B., Farooq, A., & Witvrouw, E. (2016). Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries : A 4-Year Cohort Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(7), 1789-1795. <https://doi.org/10.1177/0363546516632526>
- van Dyk, N., Behan, F. P., & Whiteley, R. (2019). Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries : A systematic

- review and meta-analysis of 8459 athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 53(21), 1362-1370. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100045>
- van Dyk, N., Witvrouw, E., & Bahr, R. (2018). Interseason variability in isokinetic strength and poor correlation with Nordic hamstring eccentric strength in football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(8), 1878-1887. <https://doi.org/10.1111/sms.13201>
- van Mechelen, W., Hlobil, H., & Kemper, H. C. G. (1992). Incidence, Severity, Aetiology and Prevention of Sports Injuries. *Sports Medicine*, 14(2), 82-99. <https://doi.org/10.2165/00007256-199214020-00002>
- Verrall, G. M., Slavotinek, J. P., Barnes, P. G., & Fon, G. T. (2003). Diagnostic and prognostic value of clinical findings in 83 athletes with posterior thigh injury : Comparison of clinical findings with magnetic resonance imaging documentation of hamstring muscle strain. *The American Journal of Sports Medicine*, 31(6), 969-973. <https://doi.org/10.1177/03635465030310063701>
- Verrall, G. M., Slavotinek, J. P., Barnes, P. G., Fon, G. T., & Spriggins, A. J. (2001). Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury : A prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *British Journal of Sports Medicine*, 35(6), 435-439. <https://doi.org/10.1136/bjism.35.6.435>
- Viviers, P. L., Viljoen, J. T., & Derman, W. (2018). A Review of a Decade of Rugby Union Injury Epidemiology : 2007-2017. *Sports Health*, 10(3), 223-227. <https://doi.org/10.1177/1941738118757178>
- Wangenstein, A., Tol, J. L., Witvrouw, E., Van Linschoten, R., Almusa, E., Hamilton, B., & Bahr, R. (2016). Hamstring Reinjuries Occur at the Same Location and Early After Return to Sport : A Descriptive Study of MRI-Confirmed Reinjuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(8), 2112-2121. <https://doi.org/10.1177/0363546516646086>
- Warren, P., Gabbe, B. J., Schneider-Kolsky, M., & Bennell, K. L. (2010). Clinical predictors of time to return to competition and of recurrence following hamstring strain in elite

- Australian footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 44(6), 415-419.  
<https://doi.org/10.1136/bjism.2008.048181>
- Whalan, M., Lovell, R., McCunn, R., & Sampson, J. A. (2019). The incidence and burden of time loss injury in Australian men's sub-elite football (soccer): A single season prospective cohort study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(1), 42-47.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.024>
- Wiesinger, H.-P., Gressenbauer, C., Kösters, A., Scharinger, M., & Müller, E. (2020). Device and method matter: A critical evaluation of eccentric hamstring muscle strength assessments. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(2), 217-226.  
<https://doi.org/10.1111/sms.13569>
- Wing, C., & Bishop, C. (2020). Hamstring Strain Injuries: Incidence, Mechanisms, Risk Factors, and Training Recommendations. *Strength & Conditioning Journal*, 42(3), 40-57. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000538>
- Wollin, M., Thorborg, K., & Pizzari, T. (2018). Monitoring the effect of football match congestion on hamstring strength and lower limb flexibility: Potential for secondary injury prevention? *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 29, 14-18.  
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2017.09.001>
- Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., Hodson, A., & Football Association Medical Research Programme. (2004). The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38(1), 36-41.  
<https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002352>
- Yeung, S. S., Suen, A. M. Y., & Yeung, E. W. (2009). A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: Preseason muscle imbalance as a possible risk factor.

*British Journal of Sports Medicine*, 43(8), 589-594.

<https://doi.org/10.1136/bjism.2008.056283>

Yu, B., Queen, R. M., Abbey, A. N., Liu, Y., Moorman, C. T., & Garrett, W. E. (2008). Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting. *Journal of Biomechanics*, 41(15), 3121-3126. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.09.005>

Zakas, A. (2006). Bilateral isokinetic peak torque of quadriceps and hamstring muscles in professional soccer players with dominance on one or both two sides. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 28-35.

Zvijac, J. E., Toriscelli, T. A., Merrick, S., & Kiebzak, G. M. (2013). Isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength variables from the NFL Scouting Combine are not predictive of hamstring injury in first-year professional football players. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(7), 1511-1518. <https://doi.org/10.1177/0363546513487983>

## Bibliographie

Physiotutors. (J.Hickey, 2022). *Rééducation de l'élongation des ischio-jambiers*. Consulté le 16 novembre 2023, sur <https://app.physiotutors.com/fr/lectures/reeducation-de-lelongation-des-ischio-jambiers>

## **Annexes**

- Annexe I :** JBI Manual for Evidence Synthesis
- Annexe II :** Recherche effectuée sur Embase
- Annexe III :** Recherche effectuée sur The Cochrane Library
- Annexe IV :** Recherche effectuée sur Pedro
- Annexe V :** Synthèse de la recherche manuelle
- Annexe VI :** JBI Appraisal Checklist for Randomized Controlled Trials
- Annexe VII :** Echelle PEDro
- Annexe VIII :** JBI critical appraisal checklist for quasi-experimental studies
- Annexe IX :** Tableau d'extraction des données
- Annexe X :** Résultat de l'évaluation de la qualité méthodologique des trois études RCT incluses à l'aide de l'échelle PEDro
- Annexe XI :** Points forts et points faibles des quatre études
- Annexe XII :** Tableaux récapitulatifs des résultats de force excentrique
- Annexe XIII :** Tableaux récapitulatifs des résultats de longueur du fascicule

# Annexe I : JBI Manual for Evidence Synthesis

JBI Manual for Evidence Synthesis

The Begg's Test was proposed by Begg and Mazumdar in 1994. It is used for dichotomous outcomes with intervention effects measured as odds ratios. It is an adjusted rank correlation test (Jin et al 2015). It explores the correlation between the effect estimates and their sampling variances (Jin et al 2015). It is a very popular test, however, it has low power; some statisticians do not recommend its use. It is "fairly powerful" for meta-analysis of 75 studies; it has "moderate power" for meta-analysis of 25 studies (Begg and Mazumdar 1994). It is considered that the test has "appropriate" type I error rate (Jin et al 2015).

The Egger's test was proposed by Egger et al in 1997. It is used for continuous outcomes with intervention effects measured as mean differences. It is a "regression test", that is, it uses a linear regression approach (Jin et al 2015). The standard normal deviate (estimated effect size/estimated standard error) is regressed against the estimate's precision. It is a very popular test. It is considered that the test has "inappropriate" type I error rate when heterogeneity is present and the number of included studies is large (Jin et al 2015). The Egger test for funnel asymmetry is the most cited statistical test for publication bias.

The Harbord Test was proposed by Harbord et al in 2006. It is used for dichotomous outcomes with intervention effects measured as odds ratios. The test uses "a weighted regression model" (Jin et al 2015). It is considered that the test has "inappropriate" type I error rate when heterogeneity is present. It was contended that the Harbord Test has better error rate compared to Egger's test in balanced trials with little or no heterogeneity (Jin et al 2015).

## 4.4 Systematic review of effectiveness

A systematic review report is important because it provides all the details regarding the conduct of the systematic review and the best available evidence to inform the question posed by the review. Essentially, the content of the sections of the review protocol and the review report are conceptually the same, particularly the background and the methods section. The review protocol specified the proposed plan for the review; the review report reports the conduct of the review, what was actually performed and the results of the review undertaking. All deviations from what was pre-planned in the review protocol should be explicitly reported and justified in the review report.

### 4.4.1 Title

A clear, descriptive title is important to assist readers and users to readily identify the scope and relevance of the review. The review report title should accurately describe and reflect the content of the review, and should not be phrased as a question. The review title should explicitly identify the publication as a report for a finalized systematic review. It is important to indicate in the review title the focus of the review on effectiveness; we recommend the following convention: *'The effectiveness of [intervention] compared to [comparator] on [outcome]: a systematic review'*. The title of the review should be as descriptive as possible and reflect all relevant information. Ideally, the review title should include in a concise way the relevant information with regards to the types of participants, types of interventions and comparators and the types of outcomes considered in the review.

### 4.4.2 Abstract

This section forms a structured abstract of the main features of the systematic review. It must be no longer than 500 words and should contain no abbreviations or references. The abstract must accurately reflect and summarize the systematic review with the main focus on the results of the review.

The abstract should report the essential elements of the review using the following sub-headings in this order:

- **Objective:** State an overarching review objective structured using the key components of the inclusion criteria (approximately one to two sentences).
- **Background:** Briefly describe what is already known on the topic and what this review will add to the evidence-base (approximately two to three sentences).
- **Inclusion criteria:** Summarize the inclusion criteria as it relates to the type of review being conducted. Present the information in one or two sentences – **NOT** under individual subheadings.
- **Methods:** List the key information sources searched (those that provided the majority of included studies), any limits placed on the scope of the search (e.g. language), and the date range, or the date of the last search. If the recommended JBI approach to critical appraisal, study selection, data extraction and data synthesis was used, simply state it as such (without naming the actual tool). Otherwise, briefly describe any notable deviations to the methodological approach taken (e.g. criteria used to exclude studies on the basis of methodological quality etc.).
- **Results:** The bulk of the abstract should be reserved to convey the main results of the review.
  - As a general rule, report the number and type of included studies and participants, as well as any pertinent study characteristics. Summarize the overall quality of the included studies and notable aspects of risk of bias.
  - Report the results for all main outcomes (not only those that were statistically significant or clinically important). If meta-analyses were conducted report the summary measures (estimated effect) and confidence intervals and ensure statistics are presented in a standard way. If a meta-analysis was proposed but not conducted, report the reason (e.g. clinical or methodological heterogeneity). Where possible, indicate the number of studies and participants for each main outcome. Describe the direction of the effect (e.g. lower, fewer, greater, more, etc.) in a way that is understandable to patients and health care professionals (i.e. which group was favored and the size of the effect) and indicate the measurement scale used, where applicable.
- **Conclusions:** Provide a conclusion based on a general interpretation of the results considering, for example, the methodological quality of the included studies and any limitations of the review. Briefly convey key implications for practice and/or research.

#### 4.4.3 GRADE 'Summary of Findings' table

The use of the GRADE approach is currently endorsed by JBI and JBI reviewers must use it regardless of the synthesis approach employed, meta-analysis or narrative synthesis. The GRADE 'Summary of Findings' table should be presented immediately below the abstract. The GRADE 'Summary of Findings' table can be developed following the guidance in the [GRADE handbook](#) (Schunemann et al. 2013). Links to resources and [support for using GRADE](#) are available via the [JBI Adelaide GRADE Centre](#).

#### 4.4.4 Introduction

The introduction of the review report should provide explicit and comprehensive information regarding the justification (rationale) for the conduct of the review in the context of what was already known. Ideally, this section of the review report should be a revised, expanded, version of the introductory section from the review protocol. See Section 3.2.3 from the review protocol for further information regarding the content of the introduction.

The introduction should conclude with an overarching review objective that captures and aligns with the core elements/mnemonic of the inclusion criteria (e.g. PICO). The stated objective should clearly indicate what the review project is trying to achieve. For publication in *JBI Evidence Synthesis*, Vancouver style of referencing should be used throughout the protocol with superscript numbers without brackets used for in-text citations.

#### 4.4.5 Review question(s)

The review question(s) should be explicitly stated in unambiguous terms. See the Section 3.2.2 of this Chapter for further information regarding the objectives and questions of a review of effectiveness.

#### 4.4.6 Inclusion criteria

This section should describe the inclusion criteria used for the review. Information should be provided regarding the types of participants, types of interventions, comparators, types of outcomes, and types of studies actually considered and included in the review. See Section 3.2.4 for further details regarding specification of inclusion criteria in the systematic review report.

#### 4.4.7 Methods

This section of the review report is reserved for the methods used to conduct the review and should be presented under the relevant subheadings (see Sections 3.4.6.1 to Section 3.4.6.5), including any deviations from the method outlined in the *a priori* protocol. In empty reviews for example, this section should not refer to methods that were not performed.

Directly below the Methods heading provide the following information:

- State and appropriately cite the JBI methodology that was employed in the conduct of the review and synthesis.
- Refer to and cite the *a priori* protocol that was published, or accepted for publication (e.g. 'in press'), in the *JBI Evidence Synthesis*.
- If the protocol has been registered with PROSPERO, provide registration information including registration number (e.g. PROSPERO CRD42015425226).

#### Draft 4.4.7.1 Search strategy

The search strategy section of a review report should provide explicit and clear information regarding all information sources that were actually used in the review, and the actual strategies used for searching. The review report should provide details regarding all information sources that were used in the review: electronic bibliographic databases; trial registers; relevant journals; websites of relevant organizations; etc. The review report, ideally, should specify all the details (a line-by-line description) of the actual search strategy used for each electronic bibliographic database used for the review and should be provided in an appendix. The review report should specify the timeframe for search, the date of last search for each database, and any language and date restrictions, with appropriate justifications.

#### Draft 4.4.7.2 Study screening and selection

The review report should describe the actual process of study screening and for all stages of selection (based on title and abstract examination; based on full text examination) and the actual procedures used for solving disagreements between reviewers.

#### Draft 4.4.7.3 Critical appraisal

The review report should specify the critical appraisal process and instruments that were actually used in the review process and the procedures for solving disagreements between reviewers. The review report should describe how the results of critical appraisal were used for the exclusion of studies from the review, if this is the case. The details of the decisions processes and criteria used for exclusion of studies based on results of critical appraisal should be explicitly provided. All details about the scoring systems and the cut-off scores for inclusion of studies in the review should be described and justified.

#### Draft 4.4.7.4 Data extraction

The review report should specify the data extraction process and instruments that were used in the review process and the procedures for solving disagreements between reviewers.

**Draft 4.4.7.5 Data synthesis**

The review report should explicitly specify how the data were combined and reported. Essentially, the review report should provide the details about all preformed analyses and their justifications. The synthesis approaches by which studies were combined should be described in as much detail as is reasonably possible and to enable them to be reproduced.

If meta-analysis was performed, the review report should specify the details regarding the performed meta-analyses. The report should specify:

- the objectives of the meta-analysis
- the effect size used (OR, RR, etc.)
- the meta-analysis model (fixed effects model or random effects model) and the justification
- the meta-analysis method (Peto method etc.) and the justification
- the statistical testing procedures used for the exploration of statistical heterogeneity (such as Q Cochran test) and the rules used for the interpretation of the results
- the statistical indicator used for the quantification of statistical heterogeneity (such as I<sup>2</sup>) and the rules used for the interpretation of the results
- the performed sensitivity analyses
- the performed subgroup analyses

**4.4.8 Results**

This section of the review report has distinct sub-sections describing the process of study inclusion, the methodological quality of the eligible studies, detailed characteristics and description of the included studies and, importantly, the findings of the review and results of the synthesis processes.

**Draft 3.4.8.1 Study inclusion**

This section should provide a narrative summary of the search results and selection process and results. The number of papers identified by the search strategy and the number of papers that were included and excluded should be stated.

A complete and accurate report should be provided regarding:

- the number of studies identified by the search in diverse sources;
- the number of studies excluded after the examination of title and abstract against inclusion criteria;
- the number of full text articles retrieved for examination;
- the number of studies excluded after full text examination against inclusion criteria;
- the number of critically appraised studies;
- the number of studies excluded after critical appraisal;
- the final total number of included studies.

A flowchart using the PRISMA template for the reporting of the selection process should be included.

Ideally, a list of all excluded studies, excluded after full text examination and after critical appraisal, with the explicit reasons for exclusion, should be provided in appendices to the review. As a minimum, at least the list of studies excluded after critical appraisal and the reasons for exclusion should be reported. If no studies were excluded after critical appraisal then the list of all studies excluded after full text examination including the explicit reasons for exclusion, should be provided in appendices to the review.

**Draft 3.4.8.2 Methodological quality**

The review report should report in a comprehensive manner, in narrative form and in tables, the results of risk of bias (methodological quality) assessments for each aspect of methodological quality (randomization; blinding; measurement; statistical analysis etc.) for each individual study and the overall risk of bias of the entire set of included studies. This section must provide an overarching statement of the quality of the included studies as a whole (i.e. low, moderate, high, etc.) and a narrative summary of the methodological quality of the included studies against each of the critical appraisal criteria, with a clear indication of the risks of bias present across the included studies (e.g. performance bias, detection bias etc.). Reporting can be supported (optional) by a table showing the results of the critical appraisal (see Table 3.1 for example). Where only few studies are identified, or there are specific items of interest from included studies, these should be addressed in the narrative also, particularly where studies were deficient, or particularly good. Use of 'Unclear' and 'Not Applicable' should also be explained in the text.

Table 3.1. Critical appraisal results for included studies using the JBI-Critical Appraisal Checklist for randomised controlled trials

Study	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Author(s) <sup>ref</sup>	Y	Y	Y	N	Y	U	Y	N	Y	U
Author(s) <sup>ref</sup>	Y	N	Y	Y	Y	U	Y	N/A	Y	Y

Y - Yes, N - No, U - Unclear, N/A - not applicable

If appraisal tools are not appended to the review report (citation only), the appraisal questions should be added as a footnote/caption to the table (Table 3.1) so readers can clearly interpret the information presented.

**Draft 3.4.8.3 Characteristics of included studies**

This section should include a narrative summary of the details about the design and details of the included studies. Relevant characteristics of the included studies for which data were extracted and are needed to understand and interpret the results of the study should be synthesized in

narrative. This includes the descriptive and demographic features (e.g. the country and setting of the study) of the included studies, as well as the main clinical characteristics, as they relate to the review objective and the inclusion criteria (e.g. PICO). For example, in a review of effects, synthesize characteristics of the population, intervention, comparator, outcomes, and study design. Information on interventions should include treatment modalities and the amount, duration, frequency and intensity of the intervention any details related to the follow-up of the participants. Population characteristics should include the number of participants (i.e. study size) and demographic information such as age, gender and any information relevant to the specific review question (e.g. past medical history, diagnosis, co-morbidities).

Reviewers should provide an appendix of the review report summarized details of the included studies. The examination of the table of included studies should suffice to convince the readers that there is good match between the included studies and the inclusion criteria.

### **Draft 3.4.8.4 Results and meta-analysis**

This section should be organized in a meaningful way based on the review objectives and questions and types of interventions, comparators, outcomes and types of studies. This section should provide comprehensive information regarding the results of all performed meta-analyses and additional analyses such as sensitivity analysis and sub-group analysis. Point estimates and interval estimates (confidence intervals) should be reported. Before presenting any meta-analysis results, the conduct of meta-analyses should be justified; reviewers should explicitly provide commentaries regarding the clinical, methodological, and statistical heterogeneity of the studies included in meta-analyses and the appropriateness of conducting meta-analyses. Summary results from meta-analyses should be reported as summary point estimates and interval estimates. The meta-analysis forest plots for all performed meta-analyses should be presented in this section. A narrative summary should complement the forest plots and provide additional commentaries and explanations for all performed meta-analyses (Munn et al 2014).

Reviewers should report the funnel plot for publication bias if such assessment was appropriate and performed. Reviewers should include the results of assessment of risk of publication bias, including the results of statistical tests for publication bias, if such tests were used.

Even if meta-analysis is performed, a narrative summary should be included to supplement the technical details provided on the process and results of meta-analysis and to provide synthesis of data not captured in statistical meta-analysis.

If meta-analysis is not performed, a narrative summary should be included. The narrative summary should provide an overall summary of the findings of the included studies and their biases, strengths and limitations. The essence of narrative summary is that the results are summarized in words and in tables without any statistical meta-analysis. Textual commentaries and tables are used in order to summarize the results from the included studies and to provide context information for these results, thus facilitating understanding of the summarized results.

#### **4.4.9 Discussion**

The aim of this section is to briefly summarize the main findings and then focus on the discussion of these results. Results should be discussed, compared and contrasted with what was already known from other sources, other than the review, usually at a minimum the literature mentioned in the background section, however, additional external literature may be discussed here in order to facilitate the understanding and positioning of the review results in a broader research and practice context. The applicability and generalizability of the review results should be discussed. The significance of the results should be discussed for individual studies and for meta-analyses. It is not enough to discuss the statistical significance of the results; the practical/clinical significance of the results should be discussed regardless of the statistical significance of the results. The minimum and maximum values for the scales of measurement or measurement instruments should be discussed and the values that are considered to represent the minimum important change from a clinical/practical point of view.

This section should provide a presentation of the limitations of included studies and the limitations of the review process. Limitations of each included study (limitations in the design and conduct of the research, including risk of bias) should be discussed. Also, the limitations of entire set of included studies should be discussed in terms of common limitations (including risk of bias). All limitations, issues and problems noted in the review process related to the search, selection of study, critical appraisal, data extraction, and data synthesis, should be discussed. The impact of the limitations of the studies and of the review process on the applicability and generalizability of the results should be considered.

#### **4.4.10 Conclusions and recommendations**

This section should include the overall conclusions of the review. The conclusions should provide direct answers to the review objectives /questions. These conclusions should be based only on the results of the review and directly inferred from the review results.

#### **Recommendations for practice**

This sub-section of Conclusions section should include the recommendations for practice inferred from the results of the review and inferred also based on the discussion of the generalizability of the results and the potential factors that may affect the applicability of results. Recommendations should be assigned a JBI Grade of Recommendation. Refer for the editorial by Munn 2015 for further discussion regarding the appropriateness of making recommendations in systematic reviews.

#### **Recommendations for research**

This sub-section of Conclusions should include the recommendations for future research inferred from the results of the review, specifically, inferred from the limitations, issues and problems noted in the review process related to the search, selection of study, critical appraisal, data extraction, and data synthesis.

#### **4.4.11 Conflicts and acknowledgements**

Details of requirements in these sections are described in Section 1.6. of this Manual.

#### **Conflicts of interest**

A statement which either declares the absence of any conflicts of interest or which describes a specified or potential conflict of interest should be made by the reviewers in this section.

## Funding

Authors should provide details regarding any sources of funding for the review project. The role of all funders in the review process, if any, should be explicitly described. If the review is funded, then any potential conflicts of interest or intellectual bias of the funders should be specified in the review.

## Acknowledgements

Any acknowledgements should be made in this section e.g. sources of external funding or the contribution of colleagues or institutions. It should also be noted if the systematic review is to count towards a degree award.

### 4.4.12 Review Appendices

There are several required appendices for a JBI review:

#### Appendix 1: Search strategy

- A detailed and complete search strategy for all of the major databases and other sites and sources searched must be appended. Major databases that were searched must be identified, including the search platform used where necessary. All search filters with logic employed should be displayed, including the number of records returned.

#### Appendix 2: Data extraction instrument

- The data extraction instrument used must be appended i.e JBI SUMARI Data Extraction Form.

#### Appendix 3: List of excluded studies

- Studies excluded following examination of the full-text should be listed along with their reason for exclusion at that stage (i.e. a mismatch with the inclusion criteria). This may be as a separate appendix or itemized in some fashion within the one appendix with those studies excluded at the critical appraisal stage. Reasons for exclusion following appraisal should be provided for each study (these reasons should relate to the methodological quality of the study, not study eligibility).

#### Appendix 4: Table of included study characteristics

- A table of included studies is required to provide quick reference to important details extracted from of the studies included in the review.

## 4.5 Chapter References

Aromataris E. Ins and outcomes. *JBI Database System Rev Implement Rep.* 2015; 13(4): 1-2.

Aromataris E, Riitano D. Constructing a search strategy and searching for evidence. *A guide to the literature search for a systematic review.* *Am J Nurs.* 2014; 114(5): 49-56.

Begg CB, Mazumdar M. Operating Characteristics of a Rank Correlation Test for Publication Bias. *Biometrics.* 1994; 50(4): 1088-1101.

Borenstein M, Hedges LV, Higgins JPT, Rothstein HR. A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. *Res Synth Methods* 2010; 1: 97–111.

Borenstein M, Hedges LV, Higgins JPT, Rothstein HR. *Introduction to Meta-Analysis.* Wiley, 2009.

Brignardello-Petersen R, Iannidis JPA, Tomlinson G, Guyatt G. Surprising results of randomized trials. In: Guyatt G, Rennie D, Meade MO, Cook DJ (editors). *Users' Guide to the medical literature. A manual for evidence-based clinical practice.* 3rd edition. New York: McGraw-Hill, 2015.

Cooper H, Hedges LV. Potentials and limitations of research synthesis. In: Cooper H, Hedges LV, editors. *The handbook of research synthesis.* New York: Russell Sage Foundation, 1994.

Deeks JJ, Higgins JPT, Altman DG (editors). Chapter 9: Analysing data and undertaking meta-analyses. In: Higgins JPT, Green S (editors). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions.* Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2008.

Egger M, Davey Smith G, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ.* 1997; 315:629–34.

Fleiss JL. Measures of effect size for categorical data. In: Harris Cooper Hedges LV, editors. *The handbook of research synthesis.* New York: Russell Sage Foundation, 1994.

Harbord RM, Egger M, Sterne JAC. A modified test for small-study effects in meta-analyses of controlled trials with binary endpoints. *Statist. Med.* 2006; 25:3443–3457.

Hedges LV. Meta-analysis. *J Educ Behav Stat* 1992; 17: 279– 96.

Huedo-Medina TB, Sánchez-Meca J, Marín-Martínez F, Botella J. Assessing heterogeneity in meta-analysis: Q statistic or I<sup>2</sup> index? *Psychol Methods.* 2006; 11(2): 193-206.

Jin ZC, Zhou XH, He J. Statistical methods for dealing with publication bias in meta-analysis. *Stat Med.* 2015; 34(2): 343-60.

Lau J, Ioannidis JP, Terrin N, Schmid CH, Olkin I. The case of the misleading funnel plot. *Bmj*. 2006; 333(7568): 597-600.

Munn Z, Tufanaru C, Aromataris E. JBI's systematic reviews: data extraction and synthesis. *Am J Nurs*. 2014; 114(7):49-54.

Munn Z. Implications for Practice: should recommendations be recommended in systematic reviews? *JBI database of systematic reviews and implementation reports*. 2015 Jan 1;13(7):1-3.

Murad MH, Montori VM, Ioannidis JPA, et al. Fixed-effects and random-effects models. In: Guyatt G, Rennie D, Meade MO, Cook DJ, editors. *Users' guide to the medical literature*.

A manual for evidence-based clinical practice. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2015.

Normand SL. Meta-analysis: formulating, evaluating, combining, and reporting. *Stat Med* 1999; 18: 321–59.

Pettiti DB. *Meta-analysis, decision analysis, and cost-effectiveness analysis: methods for quantitative synthesis in medicine*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2000.

Porritt K, Gomersall J, Lockwood C. JBI's Systematic Reviews: Study selection and critical appraisal. *Am J Nurs*. 2014; 114(6):47-52.

Schünemann H, Broek J, Guyatt G, Oxman A (editors). *GRADE Handbook. Handbook for grading the quality of evidence and the strength of recommendations using the GRADE approach*. Updated October 2013.

Shadish WR, Cook TD, Campbell DT. *Experimental and Quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Boston: Houghton Mifflin Company, 2002.

Stern C, Jordan Z, McArthur A. Developing the review question and inclusion criteria. *Am J Nurs*. 2014; 114(4): 53-6.

Sterne JA, Sutton AJ, Ioannidis JP et al. Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *Bmj*. 2011; 343: d4002.

Sutton AJ, Abrams KR, Jones DR, Sheldon TA, Song F. *Methods for meta-analysis in medical research*. New York: Wiley, 2000.

Trohler U. *The 18th century British Origins of a critical approach*. Edinburgh: Royal College of Physicians, 2000.

Tufanaru C. Surrogate outcomes. *JBI Database System Rev Implement Rep*. 2016; 14(11): 1-2.

Tufanaru C, Munn Z, Stephenson M, Aromataris E. Fixed or random effects meta-analysis? Common methodological issues in systematic reviews of effectiveness. *Int J Evid Based Healthc*. 2015; 13(3): 196-207.

**Appendix 4.1: JBI Critical appraisal checklist for randomized controlled trials**

**JBI Critical Appraisal Checklist for Randomized Controlled Trials**

Reviewer \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Author \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_ Record Number \_\_\_\_\_

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?				
2. Was allocation to treatment groups concealed?				
3. Were treatment groups similar at the baseline?				
4. Were participants blind to treatment assignment?				
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?				
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?				
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?				
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?				
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?				

10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?				
11. Were outcomes measured in a reliable way?				
12. Was appropriate statistical analysis used?				
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?				

Overall appraisal:      Include      Exclude      Seek further info

Comments (Including reason for exclusion)

---



---

**Appendix 4.2: Discussion of JBI appraisal criteria for randomized controlled trials**

**Critical Appraisal Tool for RCTs (individual participants in parallel groups)**

Answers: Yes, No, Unclear or Not Applicable

**1. 1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?**

The differences between participants included in compared groups constitutes a threat to the internal validity of a study exploring causal relationships. If participants are not allocated to treatment and control groups by random assignment there is a risk that the allocation is influenced by the known characteristics of the participants and these differences between the groups may distort the comparability of the groups. A true random assignment of participants to the groups means that a procedure is used that allocates the participants to groups purely based on chance, not influenced by the known characteristics of the participants. Check the details about the randomization procedure used for allocation of the participants to study groups. Was a true chance (random) procedure used? For example, was a list of random numbers used? Was a computer-generated list of random numbers used?

**1. 2. Was allocation to groups concealed?**

If those allocating participants to the compared groups are aware of which group is next in the allocation process, that is, treatment or control, there is a risk that they may deliberately and purposefully intervene in the allocation of patients by preferentially allocating patients to the treatment group or to the control group and therefore this may distort the implementation of allocation process indicated by the randomization and therefore the results of the study may be distorted. Concealment of allocation (allocation concealment) refers to procedures that prevent those allocating patients from knowing before allocation which treatment or control is next in the allocation process. Check the details about the procedure used for allocation concealment. Was an appropriate allocation concealment procedure used? For example, was central randomization used? Were sequentially numbered, opaque and sealed envelopes used? Were coded drug packs used?

**1. 3. Were treatment groups similar at the baseline?**

The differences between participants included in compared groups constitute a threat to the internal validity of a study exploring causal relationships. If there are differences between participants included in compared groups there is a risk of selection bias. If there are differences between participants included in the compared groups maybe the 'effect' cannot be attributed to the potential 'cause' (the examined intervention or treatment), as maybe it is plausible that the 'effect' may be explained by the differences between participants, that is, by selection bias. Check the characteristics reported for participants. Are the participants from the compared groups similar with regards to the characteristics that may explain the effect even in the absence of the 'cause', for example, age, severity of the disease, stage of the disease, co-existing conditions and so on? Check the proportions of participants with specific relevant characteristics in the compared groups. Check the means of relevant measurements in the compared groups (pain scores; anxiety scores; etc.). [Note: Do NOT only consider the P-value for the statistical testing of the differences between groups with regards to the baseline characteristics.]

**1. 4. Were participants blind to treatment assignment?**

If participants are aware of their allocation to the treatment group or to the control group there is the risk that they may behave differently and respond or react differently to the intervention of interest or to the control intervention respectively compared to the situations when they are not aware of treatment allocation and therefore the results of the study may be distorted. Blinding of participants is used in order to minimize this risk. Blinding of the participants refers to procedures that prevent participants from knowing which group they are allocated. If blinding of participants is used,

participants are not aware if they are in the group receiving the treatment of interest or if they are in any other group receiving the control interventions. Check the details reported in the article about the blinding of participants with regards to treatment assignment. Was an appropriate blinding procedure used? For example, were identical capsules or syringes used? Were identical devices used? Be aware of different terms used, blinding is sometimes also called masking.

**1. 5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?**

If those delivering treatment are aware of participants' allocation to the treatment group or to the control group there is the risk that they may behave differently with the participants from the treatment group and the participants from the control group, or that they may treat them differently, compared to the situations when they are not aware of treatment allocation and this may influence the implementation of the compared treatments and the results of the study may be distorted. Blinding of those delivering treatment is used in order to minimize this risk. Blinding of those delivering treatment refers to procedures that prevent those delivering treatment from knowing which group they are treating, that is those delivering treatment are not aware if they are treating the group receiving the treatment of interest or if they are treating any other group receiving the control interventions. Check the details reported in the article about the blinding of those delivering treatment with regards to treatment assignment. Is there any information in the article about those delivering the treatment? Were those delivering the treatment unaware of the assignments of participants to the compared groups?

**1. 6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?**

If those assessing the outcomes are aware of participants' allocation to the treatment group or to the control group there is the risk that they may behave differently with the participants from the treatment group and the participants from the control group compared to the situations when they are not aware of treatment allocation and therefore there is the risk that the measurement of the outcomes may be distorted and the results of the study may be distorted. Blinding of outcomes assessors is used in order to minimize this risk. Check the details reported in the article about the blinding of outcomes assessors with regards to treatment assignment. Is there any information in the article about outcomes assessors? Were those assessing the treatment's effects on outcomes unaware of the assignments of participants to the compared groups?

**1. 7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?**

In order to attribute the 'effect' to the 'cause' (the treatment or intervention of interest), assuming that there is no selection bias, there should be no other difference between the groups in terms of treatment or care received, other than the manipulated 'cause' (the treatment or intervention controlled by the researchers). If there are other exposures or treatments occurring at the same time with the 'cause' (the treatment or intervention of interest), other than the 'cause', then potentially the 'effect' cannot be attributed to the examined 'cause' (the investigated treatment), as it is plausible that the 'effect' may be explained by other exposures or treatments occurring at the same time with the 'cause' (the treatment of interest). Check the reported exposures or interventions received by the compared groups. Are there other exposures or treatments occurring at the same time with the 'cause'? Is it plausible that the 'effect' may be explained by other exposures or treatments occurring at the same time with the 'cause'? Is it clear that there is no other difference between the groups in terms of treatment or care received, other than the treatment or intervention of interest?

**1.8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?**

For this question, follow up refers to the time period from the moment of random allocation (random assignment or randomization) to compared groups to the end time of the trial. This critical appraisal question asks if there is complete knowledge (measurements, observations etc.) for the entire duration of the trial as previously defined (that is, from the moment of random allocation to the end time of the trial), for all randomly allocated participants. If there is incomplete follow up, that is incomplete knowledge about all randomly allocated participants, this is known in the methodological literature as the post-assignment attrition. As RCTs are not perfect, there is almost always post-assignment attrition, and the focus of this question is on the appropriate exploration of post-assignment attrition (description of loss to follow up, description of the reasons for loss to follow up, the estimation of the impact of loss to follow up on the effects etc.). If there are differences with regards to the loss to follow up between the compared groups in an RCT, these differences represent a threat to the internal validity of a randomized experimental study exploring causal effects, as these differences may provide a plausible alternative explanation for the observed 'effect' even in the absence of the 'cause' (the treatment or intervention of interest). When appraising an RCT, check if there were differences with regards to the loss to follow up between the compared groups. If follow up was incomplete (that is, there is incomplete information on all participants), examine the reported details about the strategies used in order to address incomplete follow up, such as descriptions of loss to follow up (absolute numbers; proportions; reasons for loss to follow up) and impact analyses (the analyses of the impact of loss to follow up on results). Was there a description of the incomplete follow up (number of participants and the specific reasons for loss to follow up)? It is important to note that with regards to loss to follow up, it is not enough to know the number of participants and the

proportions of participants with incomplete data; the reasons for loss to follow up are essential in the analysis of risk of bias; even if the numbers and proportions of participants with incomplete data are similar or identical in compared groups, if the patterns of reasons for loss to follow up are different (for example, side effects caused by the intervention of interest, lost contact etc.), these may impose a risk of bias if not appropriately explored and considered in the analysis. If there are differences between groups with regards to the loss to follow up (numbers/proportions and reasons), was there an analysis of patterns of loss to follow up? If there are differences between the groups with regards to the loss to follow up, was there an analysis of the impact of the loss to follow up on the results? *[Note: Question 8 is NOT about intention-to-treat (ITT) analysis; question 9 is about ITT analysis.]*

#### **1.9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?**

This question is about the intention-to-treat (ITT) analysis. There are different statistical analysis strategies available for the analysis of data from randomized controlled trials, such as intention-to-treat analysis (known also as intent to treat; abbreviated, ITT), per-protocol analysis, and as-treated analysis. In the ITT analysis the participants are analyzed in the groups to which they were randomized, regardless of whether they actually participated or not in those groups for the entire duration of the trial, received the experimental intervention or control intervention as planned or whether they were compliant or not with the planned experimental intervention or control intervention. The ITT analysis compares the outcomes for participants from the initial groups created by the initial random allocation of participants to those groups. Check if ITT was reported; check the details of the ITT. Were participants analyzed in the groups to which they were initially randomized, regardless of whether they actually participated in those groups, and regardless of whether they actually received the planned interventions? *[Note: The ITT analysis is a type of statistical analysis recommended in the Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) statement on best practices in trials reporting, and it is considered a marker of good methodological quality of the analysis of results of a randomized trial. The ITT is estimating the effect of offering the intervention, that is, the effect of instructing the participants to use or take the intervention; the ITT is not estimating the effect of actually receiving the intervention of interest.]*

#### **10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?**

If the outcome (the 'effect') is not measured in the same way in the compared groups there is a threat to the internal validity of a study exploring a causal relationship as the differences in outcome measurements may be confused with an effect of the treatment (the 'cause'). Check if the outcomes were measured in the same way. Same instrument or scale used? Same measurement timing? Same measurement procedures and instructions?

#### **11. Were outcomes measured in a reliable way?**

Unreliability of outcome measurements is one threat that weakens the validity of inferences about the statistical relationship between the 'cause' and the 'effect' estimated in a study exploring causal effects. Unreliability of outcome measurements is one of the different plausible explanations for errors of statistical inference with regards to the existence and the magnitude of the effect determined by the treatment ('cause'). Check the details about the reliability of measurement such as the number of raters, training of raters, the intra-rater reliability, and the inter-raters reliability within the study (not as reported in external sources). This question is about the reliability of the measurement performed in the study, it is not about the validity of the measurement instruments /scales used in the study. *[Note: Two other important threats that weaken the validity of inferences about the statistical relationship between the 'cause' and the 'effect' are low statistical power and the violation of the assumptions of statistical tests. These other two threats are explored within Question 12.)]*

#### **12. Was appropriate statistical analysis used?**

Inappropriate statistical analysis may cause errors of statistical inference with regards to the existence and the magnitude of the effect determined by the treatment ('cause'). Low statistical power and the violation of the assumptions of statistical tests are two important threats that weaken the validity of inferences about the statistical relationship between the 'cause' and the 'effect'. Check the following aspects: if the assumptions of statistical tests were respected; if appropriate statistical power analysis was performed; if appropriate effect sizes were used; if appropriate statistical procedures or methods were used given the number and type of dependent and independent variables, the number of study groups, the nature of the relationship between the groups (independent or dependent groups), and the objectives of statistical analysis (association between variables; prediction; survival analysis etc.).

#### **13. Was the trial design appropriate for the topic, and any deviations from the standard RCT design accounted for in the conduct and analysis?**

Certain RCT designs, such as the crossover RCT, should only be conducted when appropriate. Alternative designs may also present additional risks of bias if not accounted for in the design and analysis.

Crossover trials should only be conducted in people with a chronic, stable condition, where the intervention produces a short term effect (i.e. relief in symptoms). Crossover trials should ensure there is an appropriate period of washout between treatments.

Cluster RCTs randomize groups of individuals, forming 'clusters.' When we are assessing outcomes on an individual level in cluster trials, there are unit-of-analysis issues, as individuals within a cluster are correlated. This should be taken into account by the study authors when conducting analysis, and ideally authors will report the intra-cluster correlation coefficient.

Stepped-wedge RCTs may be appropriate when it is expected the intervention will do more good than harm, or due to logistical, practical or financial considerations in the roll out of a new treatment /intervention. Data analysis in these trials should be conducted appropriately, taking into account the effects of time.

**Appendix 4.3: JBI Critical appraisal Checklist for Quasi-Experimental Studies (non-randomized experimental studies)**

**JBI Critical Appraisal Checklist for Quasi-Experimental Studies (non-randomized experimental studies)**

Reviewer \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Author \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_ Record Number \_\_\_\_\_

	Yes	No	Unclear	Not applicable
1. Is it clear in the study what is the 'cause' and what is the 'effect' (i.e. there is no confusion about which variable comes first)?				
2. Were the participants included in any comparisons similar?				
3. Were the participants included in any comparisons receiving similar treatment/care, other than the exposure or intervention of interest?				
4. Was there a control group?				
5. Were there multiple measurements of the outcome both pre and post the intervention/exposure?				
6. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?				
7. Were the outcomes of participants included in any comparisons measured in the same way?				
8. Were outcomes measured in a reliable way?				
9. Was appropriate statistical analysis used?				

Overall appraisal:      Include      Exclude      Seek further info

Comments (Including reason for exclusion)

---



---



---

**Appendix 4.4: Discussion of JBI appraisal criteria for Quasi-Experimental Studies (non-randomized experimental studies)**

**Explanation for the critical appraisal tool for Quasi-Experimental Studies (experimental studies without random allocation)**

**Critical Appraisal Tool for Quasi-Experimental Studies (experimental studies without random allocation)**

Answers: Yes, No, Unclear or Not Applicable

**1. Is it clear in the study what is the 'cause' and what is the 'effect' (i.e. there is no confusion about which variable comes first)?**

Ambiguity with regards to the temporal relationship of variables constitutes a threat to the internal validity of a study exploring causal relationships. The 'cause' (the independent variable, that is, the treatment or intervention of interest) should occur in time before the explored 'effect' (the dependent

variable, which is the effect or outcome of interest). Check if it is clear which variable is manipulated as a potential cause. Check if it is clear which variable is measured as the effect of the potential cause. Is it clear that the 'cause' was manipulated before the occurrence of the 'effect'?

## **2. Were the participants included in any comparisons similar?**

The differences between participants included in compared groups constitute a threat to the internal validity of a study exploring causal relationships. If there are differences between participants included in compared groups there is a risk of selection bias. If there are differences between participants included in the compared groups maybe the 'effect' cannot be attributed to the potential 'cause', as maybe it is plausible that the 'effect' may be explained by the differences between participants, that is, by selection bias. Check the characteristics reported for participants. Are the participants from the compared groups similar with regards to the characteristics that may explain the effect even in the absence of the 'cause', for example, age, severity of the disease, stage of the disease, co-existing conditions and so on? [NOTE: In one single group pre-test/post-test studies where the patients are the same (the same one group) in any pre-post comparisons, the answer to this question should be 'yes.']

## **3. Were the participants included in any comparisons receiving similar treatment/care, other than the exposure or intervention of interest?**

In order to attribute the 'effect' to the 'cause' (the exposure or intervention of interest), assuming that there is no selection bias, there should be no other difference between the groups in terms of treatments or care received, other than the manipulated 'cause' (the intervention of interest). If there are other exposures or treatments occurring in the same time with the 'cause', other than the intervention of interest, then potentially the 'effect' cannot be attributed to the intervention of interest, as it is plausible that the 'effect' may be explained by other exposures or treatments, other than the intervention of interest, occurring in the same time with the intervention of interest. Check the reported exposures or interventions received by the compared groups. Are there other exposures or treatments occurring in the same time with the intervention of interest? Is it plausible that the 'effect' may be explained by other exposures or treatments occurring in the same time with the intervention of interest?

## **4. Was there a control group?**

Control groups offer the conditions to explore what would have happened with groups exposed to other different treatments, other than to the potential 'cause' (the intervention of interest). The comparison of the treated group (the group exposed to the examined 'cause', that is, the group receiving the intervention of interest) with such other groups strengthens the examination of the causal plausibility. The validity of causal inferences is strengthened in studies with at least one independent control group compared to studies without an independent control group. Check if there are independent, separate groups, used as control groups in the study. [Note: The control group should be an independent, separate control group, not the pre-test group in a single group pre-test post-test design.]

## **5. Were there multiple measurements of the outcome both pre and post the intervention /exposure?**

In order to show that there is a change in the outcome (the 'effect') as a result of the intervention /treatment (the 'cause') it is necessary to compare the results of measurement before and after the intervention/treatment. If there is no measurement before the treatment and only measurement after the treatment is available it is not known if there is a change after the treatment compared to before the treatment. If multiple measurements are collected before the intervention/treatment is implemented then it is possible to explore the plausibility of alternative explanations other than the proposed 'cause' (the intervention of interest) for the observed 'effect', such as the naturally occurring changes in the absence of the 'cause', and changes of high (or low) scores towards less extreme values even in the absence of the 'cause' (sometimes called regression to the mean). If multiple measurements are collected after the intervention/treatment is implemented it is possible to explore the changes of the 'effect' in time in each group and to compare these changes across the groups. Check if measurements were collected before the intervention of interest was implemented. Were there multiple pre-test measurements? Check if measurements were collected after the intervention of interest was implemented. Were there multiple post-test measurements?

## **6. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?**

If there are differences with regards to the loss to follow up between the compared groups these differences represent a threat to the internal validity of a study exploring causal effects as these differences may provide a plausible alternative explanation for the observed 'effect' even in the absence of the 'cause' (the treatment or exposure of interest). Check if there were differences with regards to the loss to follow up between the compared groups. If follow up was incomplete (that is, there is incomplete information on all participants), examine the reported details about the strategies used in order to address incomplete follow up, such as descriptions of loss to follow up (absolute numbers; proportions; reasons for loss to follow up; patterns of loss to follow up) and impact

analyses (the analyses of the impact of loss to follow up on results). Was there a description of the incomplete follow up (number of participants and the specific reasons for loss to follow up)? If there are differences between groups with regards to the loss to follow up, was there an analysis of patterns of loss to follow up? If there are differences between the groups with regards to the loss to follow up, was there an analysis of the impact of the loss to follow up on the results?

**7. Were the outcomes of participants included in any comparisons measured in the same way?**

If the outcome (the 'effect') is not measured in the same way in the compared groups there is a threat to the internal validity of a study exploring a causal relationship as the differences in outcome measurements may be confused with an effect of the treatment or intervention of interest (the 'cause'). Check if the outcomes were measured in the same way. Same instrument or scale used? Same measurement timing? Same measurement procedures and instructions?

**8. Were outcomes measured in a reliable way?**

Unreliability of outcome measurements is one threat that weakens the validity of inferences about the statistical relationship between the 'cause' and the 'effect' estimated in a study exploring causal effects. Unreliability of outcome measurements is one of different plausible explanations for errors of statistical inference with regards to the existence and the magnitude of the effect determined by the treatment ('cause'). Check the details about the reliability of measurement such as the number of raters, training of raters, the intra-rater reliability, and the inter-raters reliability within the study (not to external sources). This question is about the reliability of the measurement performed in the study, it is not about the validity of the measurement instruments/scales used in the study. *[Note: Two other important threats that weaken the validity of inferences about the statistical relationship between the 'cause' and the 'effect' are low statistical power and the violation of the assumptions of statistical tests. These other threats are not explored within Question 8, these are explored within Question 9.]*

**9. Was appropriate statistical analysis used?**

Inappropriate statistical analysis may cause errors of statistical inference with regards to the existence and the magnitude of the effect determined by the treatment ('cause'). Low statistical power and the violation of the assumptions of statistical tests are two important threats that weakens the validity of inferences about the statistical relationship between the 'cause' and the 'effect'. Check the following aspects: if the assumptions of statistical tests were respected; if appropriate statistical power analysis was performed; if appropriate effect sizes were used; if appropriate statistical procedures or methods were used given the number and type of dependent and independent variables, the number of study groups, the nature of the relationship between the groups (independent or dependent groups), and the objectives of statistical analysis (association between variables; prediction; survival analysis etc.).

## 5. Systematic reviews of textual evidence: narrative, expert opinion or policy

**Pearson A, Jordan Z, McArthur A, Florescu S, Cooper A, Yan H, Klugarova J, Stannard D, Edwards D.**

We would also like to acknowledge the contribution of our late colleague, Dr Catalin Tufanaru, who was a member of the JBI Textual Evidence Methods group in 2018, and passed away in July 2021.

*How to cite:*

Pearson A, Jordan Z, McArthur A, Florescu S, Cooper A, Yan H, Klugarova J, Stannard D, Edwards D. Systematic reviews of textual evidence: narrative, expert opinion or policy. Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z, editors. *JBI Manual for Evidence Synthesis*. JBI; 2024. Available from: <https://synthesismanual.jbi.global>. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-04>

### Contents

- [5.1. Introduction to textual evidence and evidence-based practice](#)
- [5.2 JBI Systematic reviews of textual evidence](#)
- [5.3 References](#)

#### 5.1. Introduction to textual evidence and evidence-based practice

- [5.1.1 Systematic reviews addressing textual evidence](#)
- [5.1.2 JBI methodological approach to Textual Evidence Systematic Reviews](#)
- [5.1.3 Sources of textual evidence](#)

## Annexe II : Recherche effectuée sur Embase :

La dernière recherche a été effectuée le 6 mars 2024.

Sur embase, les mots clés que nous utilisons peuvent être soit des « Emtree », ce qui correspond au terme MeSH sur Medline ou bien des « candidate term » qui sont des termes récents dans la littérature et qui deviendront peut-être des « Emtree » à l'avenir. Afin de réaliser notre recherche, nous avons utilisé les « Emtree » et « candidate term » suivants : Eccentric muscle contraction = Emtree ;Nordic hamstring exercice = candidate term; Eccentric training = candidate term; Running = Emtree; Sprint = candidate term; Sprinting = candidate term; Hamstring muscle = Emtree; Biceps femoris muscle = Emtree

Ces termes ont été connectés par les opérateurs booléens « OR » et « AND » de la manière suivante : (eccentric muscle contraction OR nordic hamstring exercice OR eccentric training) AND (running OR sprint OR sprinting) AND (hamstring muscle OR biceps femoris muscle). Le produit de cette recherche s'élève à **89** articles.

Tableau d'équation de recherche sur Embase effectuée le 6 mars 2024

Base de données	Équations booléennes		Résultat
Embase	<b>Ischio-jambiers</b>	(Hamstring muscle OR Biceps femoris muscle)	13'193
	<b>Intervention</b>	(Eccentric muscle contraction OR Nordic hamstring exercice OR eccentric training)	2'929
	<b>Comparateur</b>	(sprint OR sprinting OR running)	115'861
	<b>Equation finale</b>	<b>(eccentric muscle contraction OR nordic hamstring exercice OR eccentric training) AND (running OR sprint OR sprinting) AND (hamstring muscle OR biceps femoris muscle).</b>	<b>89</b>

Nous avons tout de même effectué une recherche en incluant d'autres termes qui n'étaient pas répertoriés comme Emtree ou candidate afin de vérifier l'exhaustivité de notre précédente recherche. Nous avons donc fait une seconde recherche en utilisant l'équation utilisée sur Pubmed. Le résultat de cette recherche s'élève à **270** publications.

### **Annexe III : Recherche effectuée sur The Cochrane Library**

#### The Cochrane Library :

La dernière recherche a été effectuée le 6 mars 2024. Nous avons utilisé l'équation de recherche suivante (la même que sur Pubmed) :

*((athlete\* OR sprint\* OR play\* OR runn) AND (Nordic hamstring exercise OR NHE OR eccentric exercise OR knee exercice OR knee dominant)) AND (sprint\* OR sprint training OR run OR runn\* OR velocity OR accel\* OR speed\* OR agility)) AND (hamstring\* OR hamstring OR Hamstring muscle OR hamstring muscles OR "biceps femoris" OR "posterior thigh").*

Le produit de cette recherche s'élève à **113** articles.

## **Annexe IV : Recherche effectuée sur Pedro**

PEDro :

La dernière recherche a été effectuée le 6 mars 2024. Nous avons effectué sur PEDro une « recherche simple » avec l'équation de recherche suivante :

*“Nordic hamstring exercise and sprint and hamstring”.*

Le produit de cette recherche s'élève à **4** articles.

## **Annexe V : Synthèse de la recherche manuelle**

### Recherche manuelle :

#### ResearchGate :

La dernière recherche a été effectuée le 6 mars 2024. Nous avons effectué sur ResearchGate une recherche avec l'équation de recherche suivante : *(Nordic hamstring exercise OR NHE OR eccentric training) AND (sprint OR sprinting OR running) and (hamstring OR biceps femoris)*.

Après analyse des 100 premiers articles, nous n'avons pu intégrer aucun autre nouvel article que ceux qui apparaissaient déjà dans nos bases de données.

#### Google Scholar :

La dernière recherche a été effectuée le 6 mars 2024. Nous avons effectué sur Google Scholar une recherche avec l'équation de recherche suivante : hamstring nhe sprint

Après analyse des 100 premiers articles, nous n'avons pu intégrer aucun autre nouvel article que ceux qui apparaissaient déjà dans nos bases de données.

#### Semantic Scholar :

La dernière recherche a été effectuée le 6 mars 2024.

Nous avons effectué sur Semantic Scholar une recherche avec l'équation de recherche suivante : hamstring nhe sprint

Après analyse des 100 premiers articles, nous n'avons pu intégrer aucun autre nouvel article que ceux qui apparaissaient déjà dans nos bases de données.

#### Screening des bibliographies des articles retenus :

Nous avons analysé l'ensemble des quatre bibliographies. Aucun article n'a été retenu à la suite de ce procédé.

## Annexe VI : JBI Appraisal Checklist for Randomized Controlled Trials



### JBI Critical Appraisal Checklist for Randomized Controlled Trials

Reviewer \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Author \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_ Record Number \_\_\_\_\_

	Yes	No	Unclear	NA
1. Was true randomization used for assignment of participants to treatment groups?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was allocation to treatment groups concealed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Were treatment groups similar at the baseline?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Were participants blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were those delivering treatment blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Were outcomes assessors blind to treatment assignment?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Were treatment groups treated identically other than the intervention of interest?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Were participants analyzed in the groups to which they were randomized?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Were outcomes measured in the same way for treatment groups?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Were outcomes measured in a reliable way?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Was appropriate statistical analysis used?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Was the trial design appropriate, and any deviations from the standard RCT design (individual randomization, parallel groups) accounted for in the conduct and analysis of the trial?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal:    Include     Exclude     Seek further info

Comments (Including reason for exclusion)

---



---



---

## Annexe VII : Échelle PEDro (PEDro, 2010)

### 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:

---

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (*Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010

## Annexe VIII : JBI critical appraisal checklist for quasi-experimental studies

### JBI CRITICAL APPRAISAL CHECKLIST FOR QUASI-EXPERIMENTAL STUDIES

Reviewer \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Author \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_ Record Number \_\_\_\_\_

	Yes	No	Unclear	Not applicable
1. Is it clear in the study what is the 'cause' and what is the 'effect' (i.e. there is no confusion about which variable comes first)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Were the participants included in any comparisons similar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Were the participants included in any comparisons receiving similar treatment/care, other than the exposure or intervention of interest?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Was there a control group?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Were there multiple measurements of the outcome both pre and post the intervention/exposure?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Were the outcomes of participants included in any comparisons measured in the same way?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Were outcomes measured in a reliable way?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Was appropriate statistical analysis used?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal: Include  Exclude  Seek further info

Comments (Including reason for exclusion)

---



---



---

**Annexe IX : Tableau d'extraction des données**

**Tableau d'extraction des données :**

	<b><u>Freeman et al. 2019</u></b>	<b><u>Mendiguicha et al. 2020</u></b>	<b><u>Ripley et al. 2023</u></b>	<b><u>Sancese et al. 2023</u></b>
Lieux, date	Ballarat, Australie 2019	Porto, Portugal 2020	Salford, Royaume-Uni 2023	Oxford, Royaume-Uni 2023
Temps	8 semaines, dont 4 semaines d'intervention	6 semaines	7 semaines	4 semaines
Design	RCT	Prospective interventional control study	RCT	RCT
Objectifs	Le but de cette étude était de comparer les effets de l'entraînement NHE et de l'entraînement au sprint sur la Fexc des IJ et la performance au sprint chez une population d'athlètes adolescents.	Le but de cette étude était de comparer les effets de l'entraînement excentrique des IJ par le NHE par rapport à l'entraînement au sprint programmé en complément de la pratique régulière du football sur la performance au sprint et ses fondements mécaniques, ainsi que sur l'architecture de la BFlh.	La présente étude visait à observer l'effet d'un programme des membres inférieurs avec NHE ou sprint supplémentaire sur les facteurs de risque modifiables des HSI et sur la performance sportive.	Le but de la présente étude était d'étudier les effets d'un programme d'entraînement au sprint en cours de saison par rapport à un programme d'entraînement basé sur le NHE sur une variété de facteurs de risque des HSI chez les joueurs de football amateurs.
Hypothèse	Étant donné que l'entraînement au sprint peut surcharger les IJ, il a été émis l'hypothèse qu'un programme d'entraînement au sprint progressivement surchargé fournirait suffisamment de stimulus pour induire des adaptations positives, ce qui augmenterait la Fexc des IJ à des niveaux similaires au NHE et diminuerait le risque de HSI.	On s'attend à ce qu'un programme complet d'entraînement au sprint puisse induire une amélioration globale des performances de sprint et des résultats mécaniques sous-jacents, ainsi que des adaptations structurelles de la BFlh associées à cette surcharge de type excentrique pour l'unité muscle-tendon, tel qu'une plus grande longueur de fascicule.	Il a été émis l'hypothèse que l'utilisation d'une approche multimodale, avec un entraînement supplémentaire de NHE ou sprint fournirait la plus grande réponse adaptative aux deux facteurs de risque modifiables de HSI (architecture musculaire BFLH et Fexc des IJ).	La course à vitesse maximale pourrait représenter un stimulus plus approprié pour l'activation des IJ par rapport aux exercices de renforcement excentriques isolés, car elle suscite des niveaux plus élevés d'activité des ischio-jambiers, tout en capturant la nature unique de cette activité cyclique.

<p>Inclusion</p>	<p>Tous les participants étaient des élèves-athlètes inscrits dans un programme sportif spécialisé d'une école secondaire et pratiquant le football australien, le football, le cricket, le base-ball et le hockey sur gazon.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus âgé que 18 ans</li> <li>- Avoir au moins 3 ans d'expérience dans le football de compétition</li> <li>- Commencer la présaison au moment planifié</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne pas avoir de blessure</li> <li>- Athlètes universitaires pratiquant des sports d'équipe réguliers (football, futsal, rugby union, rugby league, hockey sur glace, football américain, basket-ball, netball).</li> <li>- Compétitions à différents niveaux, de l'université (collégiale) au niveau semi-professionnel</li> <li>- Antécédents d'entraînement basé sur la résistance, y compris l'ENC, appliqué régulièrement (au moins une fois par semaine) au cours des 6 mois précédents</li> <li>- Antécédents d'entraînement basé sur la résistance, y compris l'ENC, appliqué régulièrement (au moins une fois par semaine) au cours des 6 mois précédents</li> </ul>	
------------------	---	---	---	--

Exclusion	Non-spécifié	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire partie d'un programme additionnel d'entraînement de la force</li> <li>- Présenter des antécédents de lésions de la hanche, du genou ou des articulations lombo-pelviennes au cours des trois dernières années confirmées par IRM et ayant nécessité l'intervention d'un professionnel de santé</li> <li>- Souffrir d'un trouble neurologique, cardiorespiratoire ou systémique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avoir eu une blessure aux IJ dans les 6 derniers mois</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toute blessure actuelle</li> <li>- Blessure aux IJ dans les 12 derniers mois</li> <li>- Aucun traitement médical ou nutritionnel qui peut avoir un effet sur les performances musculaires</li> </ul>
Éthique	Approbation du comité d'éthique de recherche humaine de l'Université.	L'approbation éthique a été accordée par le comité d'éthique de la recherche humaine de la Faculté des sports de l'Université de Porto, au Portugal, qui est conforme aux normes éthiques établies par la déclaration d'Helsinki.	L'étude a été approuvée par le comité d'éthique institutionnel (Université de Salford, HSR1819-103). L'étude était également conforme aux principes de la Déclaration d'Helsinki (1983)	L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'université locale conformément aux principes énoncés dans la déclaration d'Helsinki.
Population	28 participants 23H/5F Age = 16 ± 1.34 ans Tranche d'âge = 14-18 ans Taille = 1.75m ± 0.10m Poids = 68.5kg ± 12.1kg	32 joueurs de foot aléatoirement assignés dans 3 groupes différents :  <u>Groupe « football » (contrôle)= 10</u>  <u>Groupe « Nordic » = 12</u>	38 athlètes en sport-études assignés aléatoirement dans 3 groupes :  <u>Groupe « programme d'entraînement standardisé et</u>	18 footballeurs universitaires de sexe masculin assignés soit à un groupe d'entraînement par le « NHE » ou un groupe d'entraînement par le « sprint »

	<p>Les participants ont été aléatoirement réparti en 2 groupes :</p> <p><u>Groupe « NHE »</u></p> <p><u>Groupe « Sprint »</u></p> <p>Le ratio homme/femme a été maintenu dans chaque groupe.</p> <p>Nous ne disposons pas de détails sur les caractéristiques des groupes.</p>	<p><u>Groupe « Sprint » = 10</u></p> <p>Nous ne disposons pas de détails dans le texte sur les caractéristiques des groupes</p>	<p><u>contrôlé des membres inférieurs » :</u>  n=10 (8H/2F)  Age=23.5±2.95ans  Taille=1.75±0.09m  Poids=77.66±11.82kg</p> <p><u>Groupe NHE additionnel :</u>  n=15 (8H/7F)  Age=21.4±2.64 ans  Taille=1.74±0.04m  Poids=76.95±14.2kg</p> <p><u>Groupe « sprint additionnel » :</u>  n=13 (9H/4F)  Age=22.15±2.54 ans  Taille=1.74±0.05m  Poids=70.55±7.84kg</p>	<p><u>Groupe d'entraînement par le sprint :</u>  n=9  Age=20.6±1.3 ans  Taille=179.9±6.8cm  Poids=74.6±7.8kg  Masse grasseuse=15.2±4.0%</p> <p><u>Groupe d'entraînement par le NHE :</u>  n=7 (9 mais 2 drop-outs à cause de blessures)  Age=21.3±2.7 ans  Taille=182.4±7.4  Poids=77.4±10.3kg  Masse grasseuse=15.2±2.1%</p>
<p>Intervention</p>	<p>2 sessions par semaine (soit NHE ou sprint)</p> <p>deux séances supplémentaires d'entraînement à la résistance et deux séances techniques et tactiques spécifiques au sport par semaine.</p> <p>Les séances d'entraînement à la résistance ont été effectuées après les exercices réalisés dans le cadre de l'étude (sprint ou NHE), ou un autre jour, en respectant un délai d'au moins 24 heures avant la</p>	<p>Groupe « Nordic » : Programme de NHE en addition aux entraînement de football habituels (à la fin de ceux-ci)</p> <p>Fréquence selon le programme de Peterson et al. 2011</p> <p>Groupe « Sprint » : Programme d'accélération au sprint en addition aux entraînement de football habituels (toujours avant ceux-ci).</p> <p>2 sessions par semaine séparée d'au moins 72h</p>	<p>2 sessions par semaine</p> <p>Programme d'entraînement standardisé des membres inférieurs deux fois par semaine pendant sept semaines avec soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sprint additionnel</li> <li>- NHE additionnel</li> </ul>	<p>2 sessions par semaine</p> <p>Les deux interventions étaient réalisées à la fin des entraînements de football.</p>

	prochaine séance d'intervention de sprint ou de NHE.			
Comparateur	Pas de groupe contrôle	Groupe « football » : Continue les entraînements de football sans changement	Programme d'entraînement standardisé des membres inférieurs deux fois par semaine pendant sept semaines, comprenant des dérivés de soulevé olympique, des mouvements de squat et le soulevé de terre roumain.	Pas de groupe contrôle
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fexc des IJ en N pour chaque jambe</li> <li>- Performance au sprint</li> <li>- Vitesse maximale</li> <li>- Perception du travail musculaire des IJ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performance au sprint et ses fondements mécaniques</li> <li>- Architecture du biceps fémoral (épaisseur du muscle (CM), longueur du fascicule (cm), angle de pennation (°))</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fexc des IJ (peak force en N)</li> <li>- Force maximale des membres inférieurs</li> <li>- Performance de sauts (countermovement jump)</li> <li>- Performance au sprint</li> <li>- Architecture du biceps fémoral (épaisseur du muscle (cm), longueur du fascicule (cm), angle de pennation (°), distance entre les extrémités des fascicules)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fexc des IJ à 60°/s et 120°/s (Nm)</li> <li>- Angle de couple de force maximal</li> <li>- Taux de développement du couple</li> <li>- Performance au sprint</li> <li>- Mécanique du sprint</li> </ul>
Outils	NordBord (Vald Performance, QLD) ; Fusion Sports Smart Speed Pro timing gates (Fusion Sports, QLD); 10-point Likert Scale	Radar device with a 46.9 Hz sampling frequency (Stalker ATS II Version 5.0.2.1, Applied Concepts, Dallas, TX, USA); 2D B-mode ultrasound (12 Mhz frequency, 8 cm depth; 14 x 47 mm field of view) (GE Healthcare Logiq S7, Wauwatosa, USA)	Nordbord device (Vald Performance, Newstead, Australia) ; isometric mid-thigh pull (IMTP) ; Kistler force platform, sampling at 1000 Hz, with data collected via Bioware 5.11 software (type 9286AA, Kistler Instruments Inc. Amherst, NY, USA) ; Brower single-photocell electronic timing gates	isokinetic dynamometer strength testing (Biodex system 4; Biodex, Shirley, NY , USA) ; MySprint application for iPhone

			(Draper, Utah, USA) ; 2D, B-mode ultrasound (MyLab 70 xVision, Esaote, Genoa, Italy) with a 7.5 MHz, 10 cm linear array probe with a depth resolution of 67 mm ;	
Dropout	7 drop-outs : - Pas précisé dans quel groupe	9 drop-outs : - 2 du groupe « foot » à cause d'un changement de club et d'une prise de retraite. - 5 du groupe « Nordic » à cause d'une compliance inférieure à 80% au programme (3), d'une blessure au semi-tendineux et une blessure à la cheville. - 2 du groupe « Sprint » à cause d'une blessure au genou et d'une déchirure du long adducteur.	« Aucun des participants n'a subi de blessures pendant la période d'intervention » → aucun drop-out ?	2 drop-outs dans le groupe NHE à cause de blessures à la cheville et à l'épaule
Score Méthodologique	8/13 JBI ; 4/10 PEDro	7/9 JBI	10/13 JBI ; 7/10 PEDro	8/13 JBI ; 4/10 PEDro

**Annexe X : Résultat de l'évaluation de la qualité méthodologique des trois études RCT incluses à l'aide de l'échelle PEDro**

Échelle PEDro	Freeman et al., (2019)	Ripley et al., (2023)	Sancese et al., (2023)
1. Critères d'éligibilité	O	O	O
2. Sujets repartis aléatoirement dans les groupes	O	O	O
3. Assignment secrète	N	O	N
4. Groupes similaires au regard des indicateurs pronostiques importants	O	O	O
5. Tous les sujets « en aveugle »	N	N	N
6. Tous les thérapeutes « en aveugle »	N	N	N
7. Tous les examinateurs « en aveugle » pour au moins un des critères	N	N	N
8. Mesures principales obtenues chez plus de 85 % des participants	N	O	N
9. Analyse « en intention de traiter »	N	O	N
10. Présence des résultats des comparaisons statistiques intergroupes	O	O	O
11. Estimation des effets & estimation des variabilités	O	O	O
<b>Score PEDro</b>	<b>4/10</b>	<b>7/10</b>	<b>4/10</b>

O = OUI ; N = NON

## Annexe XI : Points forts et points faibles des quatre études

	Freeman et al., (2019)	Mendiguchia et al., (2020)	Ripley et al., (2023)	Sancese et al., (2023)
+	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparabilité des groupes T0</li> <li>• Validité des outils de mesure vérifiée</li> <li>• Calcul échantillon</li> <li>• Puissance calculée</li> <li>• Randomisation</li> <li>• Estimation de l'effet et de la variabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examineur « en aveugle »</li> <li>• Groupe contrôle</li> <li>• Validité des outils de mesure vérifiée</li> <li>• Randomisation</li> <li>• Drop-outs précisés</li> <li>• Estimation de l'effet et de la variabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Groupe contrôle</li> <li>• Comparabilité des groupes T0</li> <li>• Calcul échantillon</li> <li>• Puissance calculée</li> <li>• Validité des outils de mesures vérifiée</li> <li>• Pas de drop-outs</li> <li>• Mesures critères de jugement &gt; 85% des sujets</li> <li>• Randomisation</li> <li>• Assignment secrète</li> <li>• Description des caractéristiques des groupes</li> <li>• Estimation de l'effet et de la variabilité</li> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparabilité des groupes T0</li> <li>• Validité des outils de mesure vérifiée</li> <li>• Puissance calculée</li> <li>• Calcul échantillon</li> <li>• Randomisation</li> <li>• Description des caractéristiques des groupes</li> <li>• Estimation de l'effet et de la variabilité</li> <li>• Drop-outs précisés</li> </ul>
-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas d'assignation secrète</li> <li>• Pas de sujets « en aveugle »</li> <li>• Pas de thérapeutes « en aveugle »</li> <li>• Pas d'examineurs « en aveugle »</li> <li>• Drop-outs pas précisés</li> <li>• Pas d'analyse en « intention de traiter »</li> <li>• Pas de mesures critères de jugement &gt; 85% des sujets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas d'assignation secrète</li> <li>• Pas de sujets « en aveugle »</li> <li>• Pas de thérapeutes « en aveugle »</li> <li>• Pas de puissance calculée</li> <li>• Pas d'analyse en « intention de traiter »</li> <li>• Pas de comparabilité des groupes T0</li> <li>• Pas de calcul de l'échantillon</li> <li>• Pas de mesures critères de jugement &gt; 85% des sujets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas d'assignation secrète</li> <li>• Pas de sujets « en aveugle »</li> <li>• Pas de thérapeutes « en aveugle »</li> <li>• Pas d'examineurs « en aveugle »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas d'assignation secrète</li> <li>• Pas de sujets « en aveugle »</li> <li>• Pas de thérapeutes « en aveugle »</li> <li>• Pas d'examineurs « en aveugle »</li> <li>• Pas d'analyse en « intention de traiter »</li> <li>• Pas de mesures critères de jugement &gt; 85% des sujets</li> </ul>

## Annexe XII : Tableaux récapitulatifs des résultats de force excentrique

Freeman et al. (2019)

Groupe	Pré (N)	Post (N)	% Changement	p-value	Taille d'effet (TE)
NHE	329 ± 75.8	361.1 ± 89.4	9.8%	0.01*	0.39
Sprint	315.4 ± 74.8	335.1 ± 74.7	6.2%	0.01*	0.29

Ripley et al. (2023)

Groupe	Pré (N)	Post (N)	% Changement	p-value	Taille d'effet (TE)
NHE	317.71 ± 61.93	431.28 ± 59.86	35.75%	<0.001*	1.84
Sprint	295.80 ± 72.90	386 ± 54.51	30.49%	<0.001*	1.38

Sancese et al. (2023)

Groupe	Mesure	Pré (N•m)	Post (N•m)	% Changement	p-value	Taille d'effet (TE)
NHE	PT D 60°	166 ± 53*	180 ± 36*	8.4%	<0.05*	-
Sprint	PT D 60°	167 ± 32*	180 ± 31*	7.8%	<0.05*	-
NHE	PT ND 60°	157 ± 55*	177 ± 51*	12.7%	<0.05*	-
Sprint	PT ND 60°	167 ± 31*	179 ± 43*	7.2%	<0.05*	-
NHE	PT D 180°	172 ± 36	177 ± 32	2.9%	>0.05	-
Sprint	PT D 180°	173 ± 35	160 ± 23	-7.5%	>0.05	-
NHE	PT ND 180°	135 ± 40*	168 ± 34*	24.4%	<0.05*	-
Sprint	PT ND 180°	156 ± 26	144 ± 26	-7.7%	>0.05	-

Légende

- Pré (N/N•m) : Force excentrique avant l'entraînement
- Post (N/N•m) : Force excentrique après l'entraînement
- % Changement : Pourcentage de changement de la force excentrique après l'entraînement
- p-value : Valeur p indiquant la significativité statistique
- Taille d'effet (TE) : Mesure de l'ampleur de l'effet de l'entraînement

### **Annexe XIII : Tableaux récapitulatifs des résultats de longueur du fascicule**

Mendiguchia et al. (2020)

Groupe	Pré (cm)	Post (cm)	% Changement	p-value	Taille d'effet (TE)
NHE	9.93 ± 1.10	10.66 ± 1.01	7.38%	Non précisé	0.58
Sprint	10.23 ± 1.91	11.89 ± 1.16	16.21%	Non précisé	0.77

Ripley et al. (2023)

Groupe	Pré (cm)	Post (cm)	% Changement	p-value	Taille d'effet (TE)
NHE	9.85 ± 1.20	11.12 ± 0.88	12.83%	< 0.001	1.19
Sprint	9.76 ± 0.74	10.71 ± 0.85	9.67%	< 0.001	1.16

Légende

- Pré (cm) : Longueur du fascicule avant l'entraînement
- Post (cm) : Longueur du fascicule après l'entraînement
- % Changement : Pourcentage de changement de la longueur du fascicule après l'entraînement
- p-value : Valeur p indiquant la significativité statistique
- Taille d'effet (TE) : Mesure de l'ampleur de l'effet de l'entraînement