



## Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'IFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [secretariat@kine-nancy.eu](mailto:secretariat@kine-nancy.eu)

## Liens utiles

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

MINISTERE DE LA SANTE  
REGION GRAND EST  
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

**PREVENTION DES BLESSURES MUSCULAIRES DU QUADRICEPS :  
UNE REVUE SYSTEMATIQUE**  
Sous la direction de Mr Bernard PETITDANT

Mémoire présenté par Matthieu MICHEL,  
étudiant en 4<sup>ème</sup> année de masso-  
kinésithérapie, en vue de valider l'UE28  
dans le cadre de la formation initiale du  
Diplôme d'Etat de Masseur-kinésithérapeute

Promotion 2017-2021



UE 28 - MÉMOIRE  
DÉCLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné, Matthieu MICHEL

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets. Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant le conseil de discipline de l'ILFMK et les tribunaux de la République Française.

Fait à Nancy, le 26 avril 2021

Signature

## REMERCIEMENTS

A Mr Bernard PETITDANT pour ses conseils, sa réactivité et ses encouragements lors de la réalisation de ce travail.

A ma famille, et ma belle-famille, tout particulièrement ma femme et mes enfants, pour m'avoir soutenu pendant les quatre années de cette reconversion professionnelle.

A l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'IFMK Nancy : la direction, le collège professoral, l'administration et la technique pour leur accueil et leur soutien pendant les quatre années de formation.

A la promotion 2017-2021, avec une mention spéciale pour le groupe A et la troupe des « Articles 25 » inter promotion, pour m'avoir accueilli, accepté et soutenu pendant cette belle tranche de vie.

### Prévention des blessures du quadriceps : une revue systématique.

**Introduction :** Les blessures musculaires sont très fréquentes chez les sportifs. Bien que les lésions des ischio-jambiers et des adducteurs soient plus nombreuses, celles du quadriceps génèrent des absences plus longues et un taux de récurrence élevé. L'objectif de cette revue systématique de littérature est de proposer des éléments de prévention des lésions musculaires du quadriceps, avec une attention particulière sur le droit fémoral. Elle identifie les sports potentiellement concernés et les éléments qui favorisent une blessure musculaire du quadriceps. **Matériel et Méthodes :** La recherche bibliographique a été effectuée dans les bases de données PubMed, PEDro, la Cochrane Library, mais aussi Science Direct et EM Consulte. La période de recherche porte sur les dix dernières années. **Résultats :** Sur un total d'environ 3 500 articles, seuls cinq articles ont été retenus dans cette revue systématique. Il y a un manque évident d'études sur les modalités de traitement et de prévention des blessures musculaires du quadriceps et en particulier du droit fémoral. Les résultats concernent les programmes de prévention, le renforcement excentrique, le gainage et l'extensibilité musculaire. **Discussion et conclusion :** Le football est le sport où survient le plus de blessures musculaires du quadriceps. De nombreux facteurs de risque sont identifiés. Afin de prévenir une lésion musculaire du quadriceps et notamment du droit fémoral, les exercices physiques, ayant pour objectif d'adapter l'architecture musculaire aux contraintes exercées par le sport pratiqué, sont à privilégier. Un programme de prévention est plus efficace qu'un exercice isolé pour éviter les blessures musculaires du quadriceps dans les sports de sprints et de coups de pied, en particulier le football. Le programme comprend une première partie d'échauffement et de pré-conditionnement. La seconde partie concerne le renforcement excentrique du quadriceps, ou plus précisément du droit fémoral. Le gainage du tronc et l'extensibilité musculo-tendineuse du quadriceps et de son environnement sont importants à associer.

**Mots clés :** blessure musculaire ; droit fémoral ; quadriceps ; prévention.

### Prevention of quadriceps injuries : a systematic review.

**Background :** Muscle injuries are very common in athletes. Although hamstring and adductor injuries are more common, quadriceps injuries result in longer absences and a high recurrence rate. This systematic review of the literature aims to propose elements for the prevention of quadriceps muscle injuries, with a particular focus on the rectus femoris. It identifies the sports potentially concerned and the elements that favor a quadriceps muscle injury. **Methods :** The literature search was carried out in the databases PubMed, PEDro, the Cochrane Library, but also Science Direct and EM Consulte. The search period was last ten years. **Results :** Out of a total of approximately 3,500 articles, only five articles were included in this systematic review. There is a clear lack of studies on treatment and prevention modalities for quadriceps muscle injuries and in particular for the rectus femoris. The results relate to prevention programs, eccentric strengthening, core strengthening and muscle extensibility. **Discussion and conclusion :** Football is the sport where the most quadriceps muscle injuries occur. Many risk factors have been identified. To prevent a muscular injury of the quadriceps and in particular of the rectus femoris, physical exercises aimed at adapting the muscular architecture to the constraints exerted by the sport practiced are to be favored. A preventive program is more effective than isolated exercise in preventing quadriceps muscle injuries in sprinting and kicking sports, particularly football. The program consists of a warm-up and pre-conditioning part. The second part concerns the eccentric strengthening of the quadriceps, or more precisely the rectus femoris. The core and trunk strengthening, the musculotendinous extensibility of the quadriceps and its environment are important to combine.

**Keywords :** muscular injury ; rectus femoris ; quadriceps ; prevention.

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	1
<b>2. CONTEXTE</b> .....	3
<b>2.1 Anatomie</b> .....	3
<b>2.2 Biomécanique</b> .....	5
<b>2.3 Rappels de physiologie</b> .....	6
<b>2.3.1 Physiologie musculaire</b> .....	6
<b>2.3.2 Physiologie du processus de réparation</b> .....	8
<b>2.4 Facteurs de risque</b> .....	9
<b>2.4.1 Facteurs intrinsèques</b> .....	9
<b>2.4.2 Facteurs extrinsèques</b> .....	11
<b>2.5 Mécanismes lésionnels / Physiopathologie</b> .....	12
<b>2.6 Classifications des lésions musculaires</b> .....	14
<b>2.7 Lésion du droit fémoral</b> .....	18
<b>2.8 La fatigue</b> .....	18
<b>3. MATERIEL ET METHODES</b> .....	19
<b>3.1 Stratégie de recherche documentaire</b> .....	19
<b>3.1.1 Bases de données</b> .....	19
<b>3.1.2 Mots clés de recherche</b> .....	19
<b>3.1.3 Equations de recherche</b> .....	19
<b>3.2 Méthode</b> .....	20
<b>3.2.1 Période</b> .....	20
<b>3.2.2 Critères d'inclusion</b> .....	20
<b>3.2.3 Critères d'exclusion</b> .....	21
<b>3.2.4 Critères de jugement</b> .....	21
<b>4. RESULTATS</b> .....	22
<b>4.1 Fiches de lecture</b> .....	23
<b>4.2 Résultats thématiques et hiérarchisés</b> .....	23
<b>4.3.1 Programmes de prévention</b> .....	23
<b>4.3.2 Renforcement musculaire excentrique</b> .....	25
<b>4.3.3 Gainage</b> .....	29
<b>4.3.4 Extensibilité musculaire</b> .....	29

<b>5. DISCUSSION</b> .....	30
<b>5.1 Programmes de prévention</b> .....	30
<b>5.2 Renforcement musculaire excentrique</b> .....	31
<b>5.3 Gainage</b> .....	33
<b>5.4 Extensibilité musculaire</b> .....	33
<b>5.5 Autres</b> .....	34
<b>6. CONCLUSION</b> .....	38
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	
<b>ANNEXES</b> .....	

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Représentation du vaste médial, du vaste latéral et du droit fémoral. Le vaste intermédiaire, plan profond, n'est pas visible (d'après <i>Gray's Anatomy</i> ).....	4
Figure 2 : Schéma d'un muscle strié squelettique.....	6
Figure 3 : Modèle musculaire de Hill (1950).....	7
Figure 4 : Cinétique histopathologique de la réparation cellulaire (Christel et de Labareyre 2005).....	9
Figure 5 : Exercice <i>Nordic Hamstring</i> .....	25
Figure 6 : Exercice de squat bulgare avec ergomètre <i>YoYo Flywheel</i> .....	25
Figure 7 : Exercice <i>Reverse Nordic Hamstring</i> .....	26
Figure 8 : Dynamomètre isocinétique.....	27
Figure 9 : Exemple d'utilisation du « <i>foam rolling</i> » sur les quadriceps.....	34

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Classification échographique des lésions musculaires de Brasseur (2010).....	15
Tableau II : Résultats de la sélection des articles au 25 février 2021.....	22

## LISTE DES ABREVIATIONS

A : lésion myo-aponévrotique

DOMS : *Delayed Onset Muscle Soreness*. Traduction française : douleurs musculaires à retardement / courbatures

FIFA : Fédération Internationale de Football Association

IFMK : Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

LF : longueur des fascicules musculaires

M : lésion musculaire

MT : épaisseur musculaire

PA : angle de pennation

PRISMA : *Preferred Reporting Item for Systematic Reviews and Meta-Analyses*. Traduction française : élément de rapport privilégié pour les revues systématiques et les méta-analyses.

RFL : longueur des fascicules musculaires par rapport à l'épaisseur du muscle

SIMS : Société d'Imagerie Musculo-Squelettique

T : lésion myo-tendineuse

## 1. INTRODUCTION

Les pathologies du membre inférieur sont très présentes en rééducation par le développement du sport loisir, du sport santé, du sport intensif de compétition et du sport extrême. Parmi elles, se retrouvent les lésions osseuses, tendineuses et les lésions musculaires. Les lésions musculaires sont très fréquentes chez les sportifs avec une incidence de 10 à 55 % de toutes les blessures liées à une activité physique [1]. Avec plus de 260 millions de joueurs, le football est le sport le plus pratiqué [2]. 67,4 % à 69 % des blessures musculaires du sportif concernent le football, 11 % la course à pied, 5,25 % le basketball et 4,2 % le rugby [3]. La grande majorité des blessures liées au football concernent à 83 % des licenciés, et à 96 % en compétition [4]. Elles représentent 20 à 37 % du temps d'indisponibilité chez les footballeurs professionnels ou 18 à 23 % chez les footballeurs amateurs [5]. Les blessures musculaires représentent 31 % de toutes les blessures dans le football [6]. 92 % de ces lésions musculaires concernent le membre inférieur : 37 % les ischio-jambiers, 23 % les adducteurs, 19 % le quadriceps et 13 % le triceps sural [5]. Ces blessures engendrent le coût des soins, mais aussi la baisse des performances individuelles et collectives. Les récurrences représentent 16 % des lésions musculaires chez les joueurs de football professionnels [5]. Bien que les blessures des ischio-jambiers et des adducteurs soient plus fréquentes, celles du quadriceps engendrent des absences plus longues (17 jours) que celles des ischio-jambiers (14 jours) et que celles des adducteurs (13 jours) [5]. De plus, le taux de récurrences des blessures du quadriceps est élevé (17 %) [7]. Parmi les quatre chefs musculaires que compte le quadriceps, c'est le muscle droit fémoral qui est principalement touché par les blessures. Être biarticulaire, composé d'une grande proportion de fibres de type II et de la complexité de son architecture musculotendineuse complexe sont des caractéristiques le prédisposant à des blessures [8].

La prise en charge des lésions musculaires induit automatiquement un travail excentrique précoce [9,10]. Cependant, le délai de précocité varie en fonction de la gravité de la lésion [11]. La prise en charge va donc changer en fonction du stade lésionnel. Des préconisations ont été données, basées sur le processus physiologique de cicatrisation des différentes structures musculaires [12]. La prévention s'inscrit dans la continuité d'une prise en charge de

rééducation, mais aussi dans la planification des entraînements d'avant-saison et durant la saison de compétition. Lors de notre recherche bibliographique sur la prévention des blessures du membre inférieur, nous avons pu constater de nombreuses préconisations faites concernant les ischio-jambiers, avec notamment l'efficacité des exercices *Nordic Hamstring* [13] et *Single Leg Roman Chair* [14], et les adducteurs, avec par exemple l'exercice *Copenhagen Hip Adduction* [15]. Nous souhaiterions pouvoir proposer des éléments de prévention concernant les blessures du quadriceps, et plus particulièrement du muscle droit fémoral.

Comment prévenir une blessure ou une récurrence de blessure du muscle quadriceps ? Notre première hypothèse est que certains types de sport sont plus sujets à des lésions du muscle quadriceps. Notre seconde hypothèse est qu'un exercice de type excentrique est plus efficace que les types concentrique et isométrique dans la prévention des lésions du muscle quadriceps. Cette prévention a des répercussions bénéfiques sur les structures musculo-tendineuses et articulaires environnantes. Et enfin, des exercices de prévention des blessures musculaires du quadriceps peuvent être inclus dans une prise en charge masso-kinésithérapique ou dans un plan d'entraînement.

Afin de répondre à notre question de recherche et d'étayer ces hypothèses, une revue de littérature est une méthode pertinente pour faire un état des avancées scientifiques. Cette revue systématique a pour but de faire un état des lieux sur la prévention des blessures musculaires du muscle quadriceps, voire plus précisément du muscle droit fémoral, et de proposer des préconisations d'applications. Une première étape de recherches sur le contexte physiologique d'une lésion musculaire permettra de confronter et d'analyser les résultats de la deuxième étape qui est la revue de littérature.

## 2. CONTEXTE

### 2.1 Anatomie

Le quadriceps se situe à la face antérieure de la cuisse et constitue l'appareil extenseur du genou. Il est volumineux et comprend quatre chefs musculaires : le droit fémoral, le vaste intermédiaire, le vaste latéral et le vaste médial (Fig. 1).

Les insertions proximales du droit fémoral sont triples : la partie supérieure de l'épine iliaque antéro inférieure de l'os coxal par le tendon direct ; au fond du sillon supra acétabulaire de l'os coxal par le tendon réfléchi ; et à la face antérieure du grand trochanter fémoral par le tendon récurrent. Ses insertions distales sont doubles : un tendon à la partie antérieure de la face antérieure de la patella et un tendon sur la tubérosité tibiale antérieure à l'extrémité supérieure du tibia.

Les insertions proximales du vaste intermédiaire sont constituées de fibres charnues sur les deux tiers supérieurs du corps du fémur. Son insertion distale est un tendon à la partie postérieure de la base de la patella.

L'insertion proximale du vaste latéral se compose d'une lame tendineuse sur les branches latérales de la bifurcation et de la trifurcation (grand trochanter) ainsi que sur la lèvre latérale de la ligne âpre du fémur. Ses insertions distales sont des fibres tendineuses sur les crêtes obliques à l'extrémité supérieure du tibia et au bord latéral de la base de la patella.

L'insertion proximale du vaste médial se compose d'une lame tendineuse sur les branches médiales de la bifurcation et de la trifurcation (grand trochanter) ainsi que sur la lèvre médiale de la ligne âpre du fémur. Son insertion distale est composée de fibres tendineuses sur les crêtes obliques à l'extrémité supérieure du tibia et au bord médial de la base de la patella.

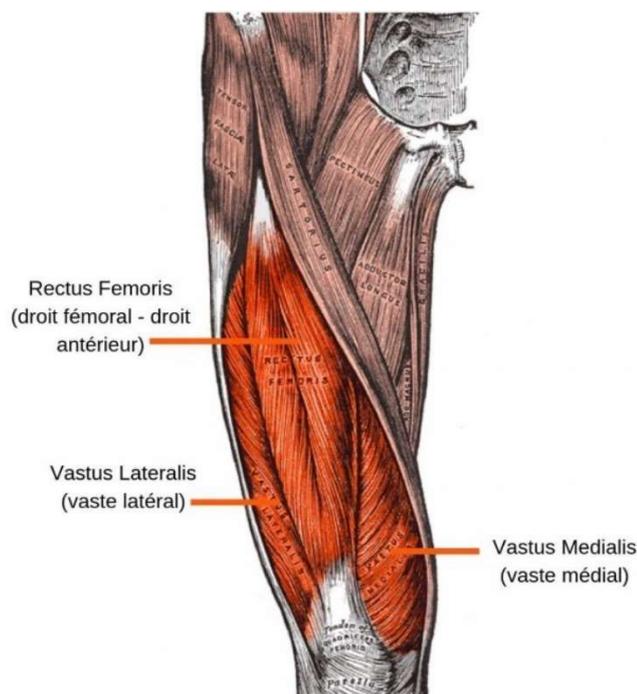


Figure 1 : Représentation du vaste médial, du vaste latéral et du droit fémoral. Le vaste intermédiaire, plan profond, n'est pas visible (d'après *Gray's Anatomy*).

Le quadriceps occupe les plans profond, moyen et superficiel de la loge antérieure de la cuisse. Le droit fémoral a un rôle de flexion et de stabilisation de la hanche. Les quatre chefs musculaires du quadriceps ont une action d'extension du genou. Chacun des quatre chefs musculaires possède un nerf issu du nerf du quadriceps, branche terminale du nerf fémoral dont les racines sont L2, L3 et L4. La vascularisation s'effectue par l'artère du quadriceps, branche de l'artère fémorale profonde [16].

Le droit fémoral est biarticulaire et bipenné alors que les vastes intermédiaire, latéral et médial sont monoarticulaires et unipennés. Leur longueur moyenne des fascicules est de 8,4 cm pour le droit fémoral, 9 cm pour le vaste médial et 8 cm pour les vastes intermédiaire et latéral. L'angle de pennation moyen est de 5° pour le droit fémoral, les vastes médial et latéral, et 3° pour le vaste intermédiaire. Un grand angle de pennation, des fibres musculaires de grand diamètre et une épaisseur musculaire élevée donnent au quadriceps la capacité à produire beaucoup de force [17].

## 2.2 Biomécanique

Le quadriceps a une influence sur l'articulation du genou : le quadriceps est l'appareil extenseur antérieur. Il est couplé aux ischio-jambiers et aux gastrocnémiens, appareil fléchisseur postérieur. Le dysfonctionnement du quadriceps peut engendrer des syndromes fémoro-patellaires ou des subluxations patellaires par exemple [16]. Le degré de flexion de hanche influence l'extension du genou. C'est la distance entre l'épine iliaque antéro-inférieure et le bord supérieur de la trochlée qui est déterminante dans l'efficacité du droit fémoral. Lorsque la hanche est fléchie, le droit fémoral se retrouve détendu. Il est donc moins efficace que les trois autres chefs musculaires du quadriceps pour l'extension du genou [18].

Le quadriceps a également une influence sur l'articulation coxo-fémorale. Les trois insertions proximales du droit fémoral stabilisent la tête fémorale comme une sangle [16]. Etant biarticulaire, le degré de flexion du genou influence l'action du droit fémoral sur la flexion de la hanche. Plus le genou est fléchi, plus le droit fémoral est efficace sur la hanche [18].

Le quadriceps est plus puissant que les ischio-jambiers car il doit lutter contre la pesanteur. Le droit fémoral représente 20 % de la force totale du quadriceps. Le vaste médial est plus puissant que le vaste latéral car il a une action d'opposition à la luxation externe de la patella [18].

Les mouvements qui engendrent le plus fréquemment des lésions du quadriceps sont des sprints répétitifs et des coups de pied répétitifs. Le football est le sport le plus représentatif. Mais d'autres sports sont concernés : football américain, rugby, handball, boxe ou encore les courses de vitesse, type 100 mètres.

## 2.3 Rappels de physiologie

### 2.3.1 Physiologie musculaire

#### 2.3.1.1 Types de muscle

Ce sont des muscles striés (Fig. 2) à structure composite [19] et à commande volontaire. Ils ont une activité tonique et discontinue. Ils sont responsables du déplacement des segments osseux. Ils peuvent nécessiter beaucoup d'énergie afin de produire beaucoup de force et peuvent donc se fatiguer [20]. Les muscles longs des membres sont majoritairement pennés avec des fibres musculaires courtes. Ils génèrent une importante force isométrique mais leur vitesse de raccourcissement et leur variation de longueur sont faibles [19]. Il comprend une partie contractile, composée de myofibrilles, et des points de fixations tendineux [20].

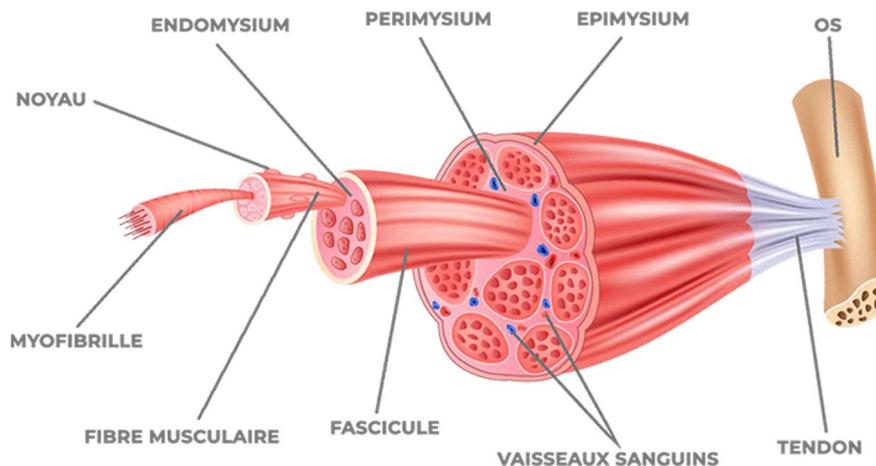


Figure 2 : Schéma d'un muscle strié squelettique.

La représentation schématique du modèle musculaire de Hill (1950) (Fig. 3) montre une composante contractile, une composante élastique parallèle et une composante élastique en série. La composante contractile comprend le générateur de force, composé du complexe de protéines contractiles « actine-myosine », ainsi que d'une composante visqueuse. La composante élastique parallèle comprend le tissu conjonctif, composé de l'épimysium, le

périmysium, l'endomysium et le sarcolemme. La composante élastique série comprend les éléments de liaison longitudinaux des fibres musculaires, la fraction active, tels que les ponts actine-myosine, ainsi qu'une fraction passive, le tendon [21].

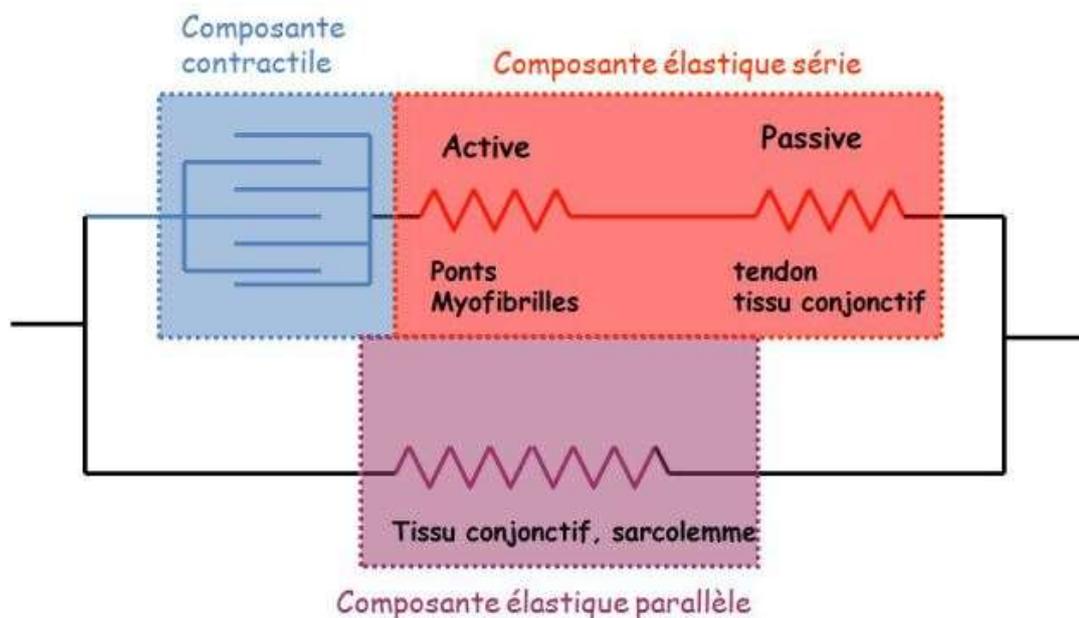


Figure 3 : Modèle musculaire de Hill (1950).

### 2.3.1.2 Types de fibres musculaires

Les muscles sont composés de trois types de fibres avec des caractères différents :

1. Les fibres de type I à contraction lente ou fibres rouges : elles ont une bonne résistance à la fatigue, sont de petits diamètres et très vascularisées. Leur métabolisme est aérobie oxydatif.
2. Les fibres de type IIb à contraction rapide ou fibres blanches : elles sont très fatigables mais très puissantes. Elles sont de gros diamètres et peu vascularisées, mais riches en glycogène. Leur métabolisme est glycolytique anaérobie.
3. Les fibres de type IIa : c'est un type de fibre intermédiaire entre les deux précédentes. Leur résistance à la fatigue est moyenne et leur métabolisme est glycolytique anaérobie et oxydatif [20].

Leur proportion varie en fonction de l'entraînement et du type d'exercice pratiqué. Les fibres de type I vont être stimulées par des exercices prolongés et modérés de type endurance. Les fibres de type II vont être stimulées par des exercices courts et intenses de type résistance. Le quadriceps est un muscle strié avec une proportion importante de fibres de type II, même chez une personne sédentaire.

### **2.3.2 Physiologie du processus de réparation**

Le processus de réparation est représenté par trois phases :

1. La phase de dégénérescence, nommée aussi dégradation ou destruction, se caractérise par la présence de fibres nécrosées et d'un hématome plus ou moins visible à l'imagerie. La réaction inflammatoire associée libère des macrophages. Ces derniers vont détruire les déchets cellulaires et stimuler la production de cytokines et de facteurs de croissance. Ils vont aussi stimuler la prolifération de cellules satellites, ou cellules souches myogéniques. Cette phase dure environ une semaine.
2. La phase de régénération, nommée aussi réparation, voit les cellules satellites de Mauro donner naissance à des cellules musculaires différenciées, ou myoblastes. Les facteurs de croissance les régulent et modulent leur activation. Elles vont et se développer dans la matrice fibreuse, le collagène, déposée par les fibroblastes et se fixer aux myofibres endommagés. Cette phase débute au cours de la première phase de dégénérescence et s'étend sur trois semaines environ.
3. La phase de maturation, nommée aussi remodelage des tissus, voit le muscle reprendre sa structure initiale. Une fibrose reste présente malgré la régénération des cellules musculaires. Cette dernière phase nécessite des stimulations afin d'optimiser le réaligement des fibres musculaires, l'affinement du tissu cicatriciel fibreux et la récupération des propriétés mécaniques initiales. Cette phase peut durer de quelques mois à un an [22].

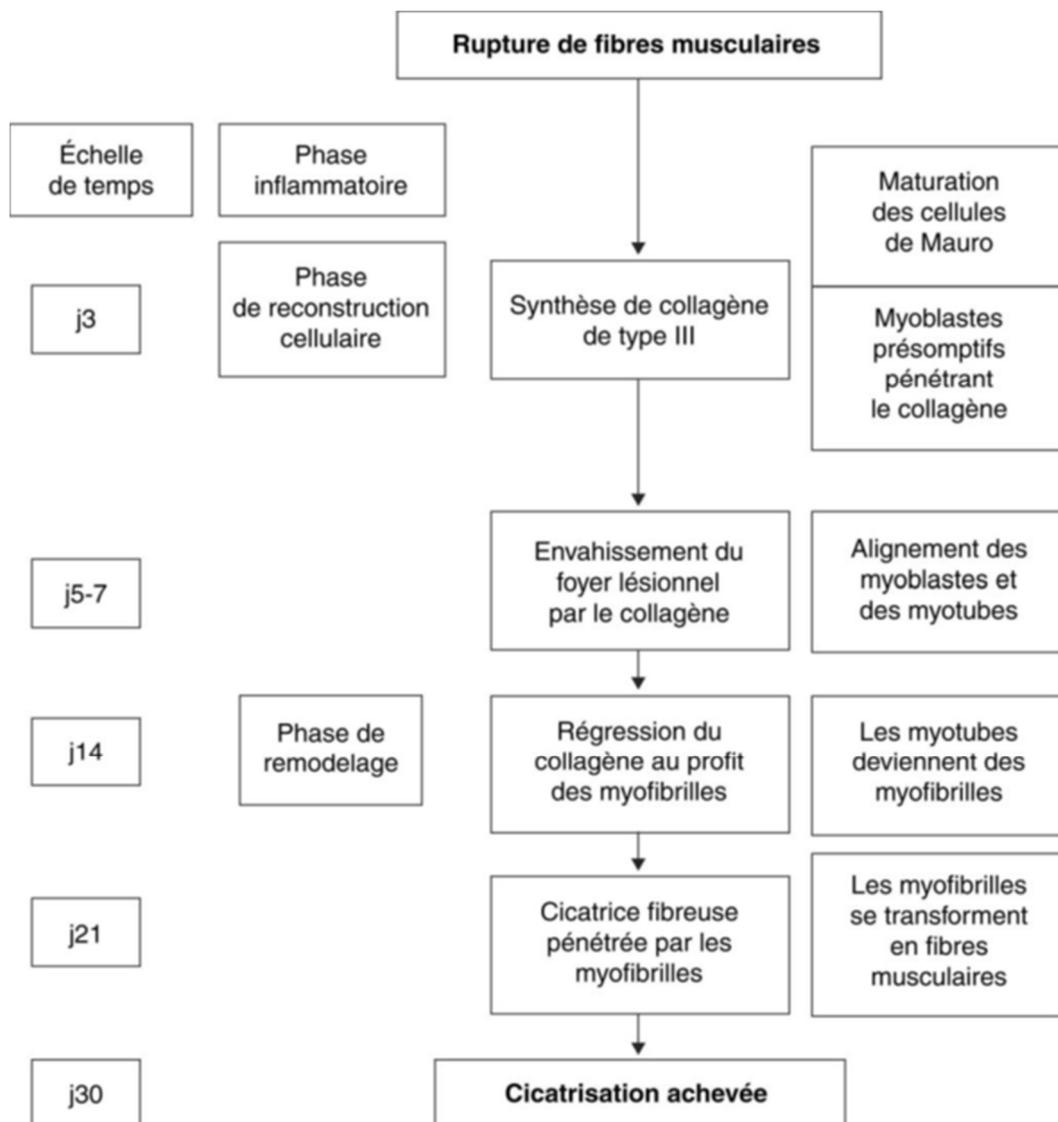


Figure 4 : Cinétique histopathologique de la réparation cellulaire [19].

## 2.4 Facteurs de risque

### 2.4.1 Facteurs intrinsèques

Les antécédents de blessures créent un terrain favorable à la survenue de lésions. Ces antécédents proviennent déjà d'un manque de force ou produisent justement ce manque par une réathlétisation inachevée [23]. Dans certains cas, des séquelles de lésions peuvent laisser des traces. Elles peuvent prendre la forme d'un cal fibreux décrit comme un granulome cicatriciel,

un nodule fibreux ou encore un noyau scléreux. Elles peuvent également prendre la forme d'une poche liquidienne intramusculaire entourée d'une zone de sclérose dense provenant de l'hématome initial ou de l'épanchement résiduel. Le troisième type de séquelle est une calcification intramusculaire. L'hématome provenant d'une lésion directe ou indirecte peut engendrer une calcification, favorisée par l'importance de son volume [19]. Une lésion antérieure aux ischio-jambiers, aux adducteurs et même aux gastrocnémiens augmentent le risque de blessure aux quadriceps par la possible modification de la biomécanique des mouvements [24].

Un déficit de force favorise une blessure, surtout si le rapport dans le couple agoniste-antagoniste est déséquilibré. Le risque de blessure augmente si le déficit est orienté sur la composante excentrique de production de force [23]. Grâce à un bilan isocinétique bilatéral, le déséquilibre agoniste / antagoniste est caractérisé par un écart bilatéral de plus de 15 % ou un ratio concentrique inférieur à 47 % ou un ratio ischio-jambiers en excentrique / quadriceps en concentrique inférieur à 80 % [19]. Le quadriceps est particulièrement concerné par un retard ou une insuffisance de recrutement spatial et temporel des fibres musculaires [19].

L'extensibilité musculo-tendineuse est la capacité de l'ensemble muscle, tendons et aponévroses à s'étirer pour atteindre une amplitude articulaire maximale, selon l'articulation concernée. Les tendons et aponévroses sont des structures peu extensibles. C'est donc le muscle qui s'étire principalement. Le terme de souplesse est également employé pour qualifier l'amplitude articulaire. De manière consensuelle, les étirements sont les manœuvres privilégiées pour améliorer la souplesse. Il existe les étirements statiques, dynamiques et balistiques. Malgré l'absence de consensus sur leurs utilisations, il ressort que les étirements dynamiques sont à privilégier en échauffement, avant un entraînement ou un match [25]. Ils permettraient les performances sur la répétition de sprints [26]. Les étirements statiques permettraient un gain d'amplitude, mais leur effet délétère sur la production de force placerait leur utilisation à distance des séances d'entraînement ou de match [27].

Le déficit d'extensibilité musculo-tendineuse peut engendrer des lésions. Ce sont les structures tendineuses et aponévrotiques qui doivent absorber une partie des contraintes d'étirement. Leur bonne extensibilité permet une meilleure efficacité de protection.

Une dysfonction articulaire a une incidence directe sur le fonctionnement musculaire environnant et favorise automatiquement la survenue d'une lésion.

L'indice de masse corporelle, l'âge et l'état hormonal sont généralement corrélés et représentent également des facteurs de risque [23].

#### **2.4.2 Facteurs extrinsèques**

Le type de sport pratiqué a une importance particulière dans les mécanismes de lésion musculaire. Les sports présentant des courses rapides, des sprints, des changements de rythme, des pivots, des gestes techniques comme les frappes de balle et des contacts avec d'autres sportifs (partenaires ou adversaires) regroupent des facteurs de risque de blessure du quadriceps et des ischio-jambiers. Le football est le sport qui occasionne le plus de blessures aux quadriceps, tant pour les hommes que pour les femmes [28].

Un échauffement adapté à l'exercice physique programmé est primordial. La préparation articulaire, cardio-respiratoire et l'augmentation de la température corporelle permet la mise en condition du sportif.

Le type d'exercices physiques lors des entraînements joue évidemment un rôle majeur dans la préparation du sportif et de ses capacités physiques. C'est d'ailleurs l'objectif principal des entraînements, avec les aspects technique et tactique.

La fatigue a des conséquences sur la qualité des mouvements et la production de force. Il est important d'optimiser la récupération au quotidien afin de diminuer la fatigue résiduelle. Il convient d'adapter l'alimentation, l'hydratation et le sommeil. La fatigue survenant pendant la pratique physique, en situation de compétition ou d'entraînement, peut être limitée par l'évolution progressive de la préparation physique générale et spécifique [23].

Les erreurs techniques et le calendrier de compétition peuvent contribuer à la survenue de blessures musculaires [19]. Les périodes de compétition, ou les matchs sont les périodes favorisant les blessures musculaires, et notamment du quadriceps [24].

L'équipement du sportif, les infrastructures et le climat sont d'autres paramètres qui peuvent avoir une influence sur l'apparition d'une blessure musculaire.

Le contexte psycho-social est un élément déterminant mais difficile à optimiser. De très nombreuses variables y interviennent et ont un impact sur la charge mentale, la motivation, la concentration et la fatigue.

L'aspect psychologique aura également des impacts sur la préparation et la concentration [29]. Des psychologues proposent depuis quelques années des accompagnements aux sportifs afin d'optimiser ce paramètre.

## **2.5 Mécanismes lésionnels / Physiopathologie**

Un traumatisme direct, ou extrinsèque, peut se traduire par un choc externe entraînant une compression musculaire. L'état fonctionnel du muscle a une influence sur la gravité de la blessure, selon l'état de relâchement ou de contraction. Il y a une contusion ou une lacération du muscle [3,12]. Les conséquences sont amplifiées avec un muscle en contraction [19].

Une lésion indirecte, ou intrinsèque, survient par un étirement, une contraction brutale ou une sollicitation excentrique [3,12]. Ces excès de contrainte dépassent les capacités élastiques du muscle. Les muscles des membres inférieurs sont majoritairement touchés [30].

Le travail excentrique nécessite plus de force qu'un travail concentrique. Si le mouvement nécessite en plus de la vitesse, le risque de blessure s'en trouve augmenté. Une puissante contraction musculaire excentrique en fin d'étirement est le mécanisme lésionnel le plus fréquent [22].

Les zones de fragilités sont les zones de jonction myo-aponévrotiques, qui lie le squelette fibreux (épimysium, péri-mysium et endomysium) avec les fibres musculaires, et myo-tendineuses, liaison tendineuse avec le muscle [3].

Les muscles biarticulaires ont d'importantes amplitudes de mouvement et nécessitent une importante synergie musculaire lors de mouvements puissants et véloces [12]. Ils sont préférentiellement touchés par une lésion musculaire intrinsèque [30].

Les fibres de type II sont les plus touchées lors d'une lésion car ces fibres sont sollicitées pour des mouvements demandant force et vitesse. Un muscle composé majoritairement de fibres de type II est donc plus souvent concerné par une lésion [31].

Le droit fémoral atteint sa longueur maximale lors de la phase de transition lors d'un sprint. A ce moment-là, les muscles extenseurs de hanche génèrent de la force en même temps que les extenseurs de genou ont emmagasiné de l'énergie excentrique. C'est la transition entre l'extension maximale de hanche et les flexions maximales de hanche et de genou. Le droit fémoral va s'allonger et freiner la jambe, le tibia, lors de la flexion du genou pendant la phase d'élan du sprint. La décélération brutale va également demander une importante force excentrique au quadriceps. Les changements de direction sont également concernés par cette

de demande importante de force excentrique. Lors des phases de frappe de balle, le quadriceps du membre inférieur qui frappe doit emmagasiner beaucoup de force excentrique avec sa longueur maximale lors de la phase d'armer. Cette force va ensuite être transmise au pied puis à la balle. La jambe d'appui va elle aussi produire une force excentrique importante pour stabiliser et ralentir fortement le sportif qui frappe la balle [7].

## 2.6 Classifications des lésions musculaires

Les différents éléments de diagnostic vont permettre de définir une lésion musculaire par un stade ou un grade. Ces éléments sont l'observation de l'éventuel impotence fonctionnelle, celle de la zone douloureuse avec présence ou non d'un œdème et / ou d'hématome, la palpation, l'étirement et la contraction résistée. L'imagerie par échographie ou par IRM permet de préciser le diagnostic. Un diagnostic précis amène à une prise en charge de rééducation, de réadaptation, de réathlétisation et de prévention la plus adaptée.

Les lésions extrinsèques sont très peu étudiées et se rapportent le plus souvent à une notion de gravité en fonction du muscle atteint, de l'intensité de l'impact et de l'état de contraction du muscle au moment de l'impact [32].

Ce sont les lésions intrinsèques qui font référence à de nombreuses classifications et/ ou gradations. En France, la classification histologique des lésions musculaires la plus répandue est celle de Durey et Rodineau établie en 1990 [33] :

- Stade 0 : il y a une atteinte réversible de la fibre musculaire sans atteinte du tissu de soutien. La récupération totale prend en quelques heures. Le terme utilisé par les sportifs est courbature.
- Stade 1 : il y a une atteinte irréversible de quelques fibres musculaires aboutissant à leur nécrose sans atteinte du tissu de soutien. La récupération totale intervient en quelques jours. Le terme utilisé par les sportifs est contracture.

- Stade 2 : il y a une atteinte irréversible d'un nombre réduit de fibres musculaires et une atteinte du tissu conjonctif de soutien. La récupération s'effectue en une dizaine de jours. Le terme utilisé par les sportifs est élongation.
- Stade 3 : il y a une atteinte irréversible de nombreuses fibres musculaires avec une atteinte du tissu conjonctif de soutien et la formation d'un hématome extramusculaire localisé. La récupération prend de quatre à douze semaines. Le terme utilisé par les sportifs est déchirure.
- Stade 4 : c'est une rupture ou désinsertion musculaire complète. La récupération est longue et variable.

La classification anatomique d'une lésion intrinsèque permet une localisation de la lésion mais ne suffit pas à caractériser la lésion pour une rééducation adaptée. Trois lieux se distinguent : la jonction myo-tendineuse, la jonction myo-aponévrotique, au sein du corps musculaire, et la jonction myo-aponévrotique péri-musculaire [3].

L'apport de l'échographie est incontestable grâce à son évolution technique continue. Il s'agit notamment d'un examen de choix en urgence. Peu coûteux, il permet une investigation simple, rapide, comparative, statique, dynamique et vasculaire grâce au doppler. Sa limite est qu'elle est opérateur dépendant. Ci-dessous se trouve la classification échographique des lésions musculaires de mécanisme intrinsèque de Brasseur (SIMS 2010).

Tableau I : Classification échographique des lésions musculaires de Brasseur (2010).

<b>Grade 0</b>	Atteinte réversible du muscle	Hypertrophie du muscle (hyper T2 et hyperéchogène)
<b>Grade 1</b>	Atteinte irréversible du muscle	« Nuage » hyperéchogène et hyper T2 intra musculaire sans désorganisation
<b>Grade 2</b>	Grade 1 + atteinte du tissu de soutien	Plage hyper T2 ou hyperéchogène à contours avec flammèches Désorganisation fasciculaire
<b>Grade 3</b>	Grade 2 + hématome	Décollement focal avec hématome
<b>Grade 4</b>	Rupture totale ou partielle d'un muscle	Désinsertion / rupture d'un faisceau avec rétractation

La classification la plus récente est celle de Pollock et al., 2014 [34]. Elle se base sur celle de Durey et Rodineau en apportant des précisions anatomiques de localisation : les lésions myo-aponévrotiques sont classées en A, les lésions musculaires en M et les lésions myo-tendineuses en T.

- Grade 0 : ce grade est attribué si la douleur musculaire localisée survient progressivement, en fin d'effort ou après l'effort. Il n'y a pas d'anomalies à l'échographie ou à l'IRM, sauf parfois un aspect épaissi, légèrement hyperéchogène mais aux contours nets. Le terme « contracture » est utilisé si la lésion est localisée, l'expression « *Delayed Onset Muscle Soreness* » (*DOMS*) est utilisée si le muscle est touché dans son ensemble. Il n'existe pas de différenciation possible A, M ou T. Exemples : le grade 0A désigne une contracture et le grade 0M désigne les *DOMS*.
- Grade 1 : la douleur est d'apparition rapide ou brutale, localisée, apparaissant durant un effort. L'évolution clinique est très rapidement favorable (moins de cinq jours). L'échographie, ou IRM, ne retrouve qu'un vague œdème (épaississement hyperéchogène) avec impression de flou aponévrotique, sans modification architecturale du muscle. La différenciation A ou M est faite selon l'échographie ou l'IRM.
- Grade 2 : la douleur apparait brutalement ou rapidement. Elle est localisée et la reprise d'activité est impossible. La palpation et la contraction excentrique sont douloureuses et le testing est positif. L'échographie, ou l'IRM, est positive : la modification architecturale, l'œdème voire hématome en regard et la lésion de moins de cinq centimètres sont visibles. La différenciation A, M ou T est selon une iconographie plus ou moins clinique.
- Grade 3 : la douleur est importante et soudaine avec une impotence fonctionnelle immédiate. La clinique est très parlante. La palpation d'un hématome, ou d'un relief musculaire, est nette. L'échographie et l'IRM sont sans équivoque : la lésion mesure plus de cinq centimètres avec présence d'un hématome. La classification anatomique A, M ou T est possible aisément.
- Grade 4 : c'est une rupture complète, M ou T. Le diagnostic clinique est assez évident, l'échographie ne fait que confirmer l'impression clinique.

Cette dernière classification de Pollock et al., 2014, [34] permet de schématiser l'indisponibilité sportive estimée :

- Grade 0 : L'absence dure moins de dix jours.
- Grade 1 : Pour une lésion musculaire M, l'absence dure deux semaines. Pour les lésions myo-aponévrotiques A et myo-tendineuses T, l'absence atteint trois semaines.
- Grade 2 : Pour une lésion musculaire M, l'absence dure quatre à cinq semaines. Pour les lésions myo-aponévrotiques A et myo-tendineuses T, l'absence atteint six à huit semaines.
- Grade 3 : Pour une lésion musculaire M, l'absence dure six à huit semaines. Pour les lésions myo-aponévrotiques A et myo-tendineuses T, l'absence atteint huit à dix semaines.
- Grade 4 : L'absence atteint plus de douze semaines.

D'un point de vue international, deux orientations majeures ressortent dans les études. Nous pouvons rencontrer une classification clinique empirique en trois stades par Jarvinen [1] modifiée par Stoller [35] :

1. Le stade 0, ou *mild* (léger) : Le terme vulgarisé est courbature et équivaut au terme anglo-saxon *DOMS*. Ce sont des douleurs en post-effort immédiat cédant en quelques heures.
2. Le stade 1, ou *moderate* (modéré) : Le terme vulgarisé est élongation. Quelques fibres musculaires sont rompues avec une simple gêne, un discret hématome, une limitation mineure de l'amplitude à l'étirement passif, pas ou peu de perte de force musculaire et pas d'hématome visible à l'échographie.
3. Le stade 2, ou *severe* (sévère) : Les termes vulgarisés sont claquage et déchirure. Un nombre important de fibres musculaires sont rompues avec une douleur bien marquée, une limitation de l'étirement passif marquée, une franche perte de force et des signes francs à l'imagerie avec hématome visible.

Nous pouvons trouver également une séparation en deux groupes établie de deux façons différentes. Ekstrand et al., 2011, [5] distingue les lésions fonctionnelles correspondant à des

blessures mineures, induites par fatigue, ou à des blessures neurogènes avec le durcissement du muscle, et les lésions structurelles ou mécaniques correspondant à des déchirures musculaires et des entorses de fibres, ou faisceaux, musculaires. Levine et al., 2000, [36] et Guillodo et al., 2014, [37] distinguent un arrêt sportif supérieur à quarante jours, d'un arrêt sportif inférieur à quarante jours.

## 2.7 Lésion du droit fémoral

Le droit fémoral est le chef musculaire du quadriceps majoritairement touché par une lésion musculaire. Dans les lésions de la partie proximale, nous retrouvons soit une rupture du tendon direct soit une atteinte myo-tendineuse. Nous retrouvons surtout des désinsertions aponévrotiques dans les lésions du tiers moyen. Concernant la partie distale, la lésion peut se traduire par une élongation voire une rupture complète du muscle. La rupture totale s'accompagne d'une remontée du muscle dans la cuisse donnant l'aspect d'une « boule » sur le tiers moyen. Cette désinsertion de l'aponévrose crée un hématome au niveau de la zone de l'aponévrose postérieure [19].

## 2.8 La fatigue

La fatigue induite par l'exercice physique correspond aux *DOMS* dans l'essentiel de la littérature. Elle comprend donc les lésions fonctionnelles d'Ekstrand et al., 2011, [5], les grades 0 et 1 de Pollock et al., 2014, [34], ou encore les stades 0 et 1 de Rodineau et Durey en 1990 [33]. Dans ce cas, le processus de réparation va permettre de produire des réponses spécifiques par des modifications architecturales des fascicules musculaires. Elle se traduit par une addition de sarcomères en parallèle, avec une augmentation du diamètre des fascicules et de leur angle de pennation, et en série, avec l'augmentation de la longueur des fascicules. Les capacités à produire une force vont alors augmenter, tout comme leur résistance.

### **3. MATERIEL ET METHODES**

#### **3.1 Stratégie de recherche documentaire**

##### **3.1.1 Bases de données**

Plusieurs bases de données ont été consultées pour la réalisation de cette revue systématique. Certaines ont été incluses dans le processus de sélection par le titre, le résumé et lecture intégrale : PubMed, PEDro et la Cochrane Library. D'autres bases de données ont dû être consultées manuellement avec des combinaisons de mots clés : Science Direct et EM Consulte.

##### **3.1.2 Mots clés de recherche**

Tous les termes utilisés pour la définition des équations de recherche et des recherches combinées manuellement sont compilés dans le tableau situé en annexe (ANNEXE I).

##### **3.1.3 Equations de recherche**

L'équation de base que nous avons utilisée est :

*Prevention AND (Thigh OR quadriceps OR rectus femoris OR droit fémoral) AND (Muscular OR muscle) AND (Injury OR injuries OR damage OR lesion OR trauma OR strain OR tear OR torn OR sprain OR rupture OR break).*

Cette équation a été utilisée dans la base PubMed. Concernant les bases PEDro et Cochrane Library, une recherche avec plusieurs mots clés associés a été effectuée. Quant aux bases de données Science Direct et EM Consulte, il s'agissait de recherches multiples avec les

mots clés précisés dans le tableau suivant. Les résultats des recherches de ces deux bases de données ont été rajoutées manuellement à la fin du processus de sélection des trois autres bases de données. Les équations de recherche sont présentées en annexe (ANNEXE II).

## **3.2 Méthode**

### **3.2.1 Période**

La période de publication des articles s'étend du 1<sup>er</sup> janvier 2011 jusqu'au 25 février 2021, soit dix années. Le but est d'avoir les données les plus récentes. Les résultats montrent que cette période de dix années nous permet d'avoir un reflet des recherches entreprises dans la prévention des blessures musculaires du quadriceps.

### **3.2.2 Critères d'inclusion**

Tout d'abord, les bases de données sélectionnées nous orientent vers des textes rédigés en anglais. Seule EM Consulte permet une recherche avec des mots clés en français, avec des résultats rédigés en anglais et parfois en français.

La population ciblée est adulte, à partir de 18 ans, et aussi bien féminine que masculine. Elle pratique une activité physique régulière : au moins deux sessions par semaine. Le type de blessure ciblé est intrinsèque, indirecte. Nous ne prendrons pas en compte les chocs ou les chutes. Les antécédents de blessure au quadriceps et au genou sont acceptés. Le terme de prévention comprend les éléments d'anticipation mesurables, reproductibles et accessibles à la survenue de blessures : analyse morphologique, préparation physique et récupération sont des exemples. Les blessures visées par la prévention sont déterminées à partir du stade 2 de Durey et Rodineau [33]. Dans les autres classifications, nous incluons les blessures : structurelles ou

mécaniques de Ekstrand [5], à partir du 2<sup>e</sup> degré de Jarvinen [1], à partir du 2<sup>e</sup> degré de Levine [36] et à partir du stade 2 de Guillodo [37].

### 3.2.3 Critères d'exclusion

Les régions anatomiques suivantes sont exclues : la tête, les membres supérieurs et le tronc, ou rachis. Les courbatures et contractures sont également exclues : stades 0 et 1 de Durey et Rodineau [33], ou équivalents dans les autres classifications (les *DOMS* par exemple). Les orientations tendineuses et ligamentaires sont exclues : les tendinopathies quadricipitales, patellaires, achilléennes, les lésions méniscales et ligamentaires, notamment les atteintes du ligament croisé antérieur. Les blessures des ischio-jambiers et du triceps sural sont aussi exclues.

Les différents niveaux de sélection des références dans les bases de données ont permis d'identifier des éléments récurrents à approfondir avant d'exclure. Ainsi les références comprennent une population majoritairement adulte. Mais quelques participants peuvent se trouver entre 14 et 18 ans, ce qui est parfois inévitable dans des équipes de sport collectif comme le football. Un âge au-delà de 40 ans est un critère d'exclusion car ce peut être du ressort de la rhumatologie et non de la traumatologie.

### 3.2.4 Critères de jugement

Les critères de jugement n'ont pas évolué tout au long de la sélection des références. Certaines études proposent des approches assez globales de la cuisse ou du membre inférieur. Nous avons toujours gardé comme critère principal la diminution des blessures du quadriceps. Aucun critère secondaire n'a été retenu.

#### 4. RESULTATS

Les résultats de la recherche est présentée sous forme de tableau (tableau II) et sous la forme d'un diagramme de flux (ANNEXE III).

Tableau II : Résultats de la sélection des articles au 25 février 2021.

Bases de données	Résultats obtenus avec les mots de recherche	Nombre retenu après 1 <sup>ère</sup> sélection : lecture titre	Nombre retenu après suppression des doublons	Nombre retenu après 2 <sup>ème</sup> sélection : lecture résumé	Nombre retenu après 3 <sup>ème</sup> sélection : lecture entière
Pubmed	302	70	58	14	4
Pedro	25	3	1	0	0
Cochrane library	83	0	0	0	0
Science direct	2119				0
EM consulte	1014				1

Les résultats de la recherche bibliographique sont au nombre de cinq. Deux études observationnelles menées par Alonso-Fernandez et al., en 2020, [38] et par Baroni et al., 2013, [39] s'y trouvent. Ces études ont des scores PEDro respectivement de 1/10 et de 3/10, ce qui est faible. Nous retrouvons dans ces résultats une seule étude sous la forme d'un essai contrôlé randomisé par grappe : celle de van Beijsterveldt et al., 2012, [40]. Son score PEDro est de 4/10. Nous comptons également deux revues systématiques de littérature : celle de Mendiguchia et al., 2012, [7] et celle de Pérez-Gomez et al., 2020, [29].

La Haute Autorité de Santé a fait une analyse du niveau de preuve et des recommandations des bonnes pratiques en avril 2013 [41]. Les niveaux de preuve des études observationnelles sont de niveau 4 avec un grade C. Les revues de littérature ont un niveau de preuve de niveau 2 avec un grade B. L'essai contrôlé randomisé par grappe a également un niveau de preuve de niveau 2 avec un grade B.

## 4.1 Fiches de lecture

La trame de la fiche de lecture utilisée a été élaborée en s'inspirant des exemples de l'IFMK de Nancy et de mémoires antérieurs (ANNEXE IV). La grille d'évaluation PEDro a été complétée à l'aide d'une traduction française validée (ANNEXE V). L'analyse des biais Cochrane a été établie à l'aide d'un document produit par la revue *d'Evidence-Based Medicine* belge Minerva (ANNEXE VI) [42].

La fiche de lecture globale permet une meilleure et plus rapide compréhension des éléments pertinents des documents (ANNEXE VII).

## 4.2 Résultats thématiques et hiérarchisés

Les résultats issus de cette revue de littérature sont orientés vers les exercices physiques de prévention. Ils ont été classés et hiérarchisés en quatre thèmes : les programmes de prévention, le renforcement excentrique, le gainage et l'extensibilité musculaire.

### 4.3.1 Programmes de prévention

Le programme de prévention des blessures « *The 11* » (ANNEXE VIII) a été proposé au début des années 2000 par la *FIFA*. C'est la fédération sportive internationale du football, du futsal et du football de plage. Ce programme a été élaboré par un comité d'experts et comprend dix exercices. Il peut être effectué sur le terrain sans équipement supplémentaires par rapport à un entraînement classique de football. Il est simple, facile à comprendre et à réaliser. Sa durée est d'environ quinze minutes. Ses objectifs sont l'amélioration de la force fondamentale, du contrôle neuromusculaire, de l'agilité et de la pliométrie.

L'étude de van Beijsterveldt et al., 2012, [40] n'a déterminé aucun effet significatif sur les blessures musculaires en incluant ce programme dans les entraînements de 223 footballeurs adultes amateurs sur une saison. Les critères évalués sont le nombre de blessure, leur gravité, leur localisation, leur mécanisme lésionnel, le nombre de joueurs blessés, blessures pendant les matchs ou les entraînements, le nombre d'heures d'exposition et les absences. Ce programme s'est révélé inefficace dans sa mission de prévention des blessures par son manque de spécificité, son intensité non adaptée ni progressive et par son nombre limité à deux fois par semaine en général.

La FIFA a fait évoluer ce programme en 2006 avec « *The 11+* » (ANNEXE IX). Il est basé sur « *The 11* » avec pour objectif d'être un programme complet d'échauffement à destination de tous les footballeurs et des équipes de football. Ce programme comprend trois parties. La première partie est composée d'exercices de courses à faible vitesse combinés à des étirements dynamiques et des contrôles de contact avec les partenaires. La deuxième partie est composée de six séries d'exercices basés sur le gainage et le renforcement des membres inférieurs, l'agilité et la pliométrie, avec trois niveaux de difficultés. La troisième partie se compose d'exercices de courses à allure modérée et rapide ainsi que des changements d'appui. Le programme dure environ vingt minutes et apportent également des conseils de posture et de contrôle. La revue systématique de littérature de Pérez-Gomez et al., 2020, [29] souhaitait identifier les programmes de préventions des blessures efficaces basés sur des exercices physiques. Il en ressort que le programme « *The 11+* » a montré une efficacité significative. Lorsqu'il est pratiqué deux fois par semaine, une réduction des blessures du ligament croisé antérieur est observée. Une pratique de trois fois par semaine fait baisser de 46 % le nombre de blessures et de 29 % le temps perdu par blessure. La pratique de ce programme cinq à six fois par semaine voit baisser la gravité des blessures du membre inférieur de 72 % chez les jeunes footballeurs. Cette revue s'est aussi intéressée aux modalités d'exercices physiques entrant dans la composition de programmes de prévention des blessures. Elle propose tout d'abord quinze à vingt minutes d'échauffement dynamique. Puis ce sont deux à trois séries de cinq à douze répétitions de renforcement excentrique du type *Nordic Hamstring Exercise* (Fig. 5) ou l'ergomètre *YoYo Flywheel* (Fig. 6), qui est un exercice combinant excentrique et concentrique. Viennent alors des exercices d'équilibre, de mobilité et de gainage. Le dernier élément

déterminant l'efficacité d'un programme de prévention des blessures est qu'il doit être pratiqué minimum deux fois par semaine.



Figure 5 : Exercice *Nordic Hamstring*.

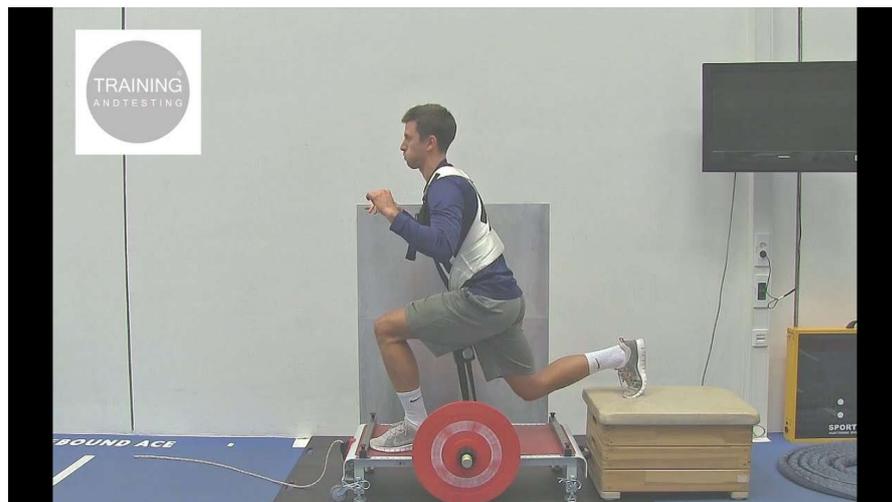


Figure 6 : Exercice de squat bulgare avec ergomètre *YoYo Flywheel*.

#### 4.3.2 Renforcement musculaire excentrique

Alonso-Fernandez et al., 2019, [43] ont mesuré l'impact d'un exercice de renforcement excentrique sur l'architecture musculaire des vastes latéral et médial du quadriceps. Les mesures ont concerné la longueur des fascicules musculaires (LF), leur angle de pennation (PA), l'épaisseur des chefs musculaires (MT) et la longueur des fascicules par rapport à

l'épaisseur du muscle (RFL). Seul le paramètre RFL n'a pas eu de changement significatif durant les douze semaines de l'étude. Les trois autres paramètres ont été affectés par l'exercice *Reverse Nordic Hamstring* (Fig. 7) de manière significative. Les huit semaines d'entraînement excentrique, à raison de deux séances par semaine, ont permis d'augmenter les LF, PA et MT des vastes latéral et médial. Le FL du vaste médial a augmenté de 3,36 % et celui du vaste latéral de 2,39 %. Le PA du vaste médial a augmenté de 3,52 % et celui du vaste latéral de 4,43 %. Le MT du vaste médial a augmenté de 6,41 % et celui du vaste latéral de 4,18 %. Les quatre semaines suivantes ont vu les participants de l'étude respecter une interdiction de produire un travail excentrique sur le quadriceps. Les trois paramètres ont alors vu leur valeur diminuer de façon significative. Le FL du vaste latéral a diminué de 0,99 % et celui du vaste médial de 2,68 %. Le PA du vaste latéral a diminué de 1,95 % et celui du vaste médial de 2,29 %. Le MT du vaste latéral a diminué de 2,23 % et celui du vaste médial de 5,02 %.



Figure 7 : Exercice *Reverse Nordic Hamstring*

Baroni et al., 2013, [39] ont quant à eux mesuré l'impact d'un exercice de renforcement excentrique sur l'architecture musculaire du vaste latéral et du droit fémoral. Seuls les LF, PA et MT ont été mesurés. L'exercice de renforcement excentrique consistait en un programme de

trois à cinq séries de dix répétitions sur un dynamomètre isocinétique (Fig. 8). Le protocole s'étalait sur douze semaines avec deux séances par semaine. Les FL et MT ont augmenté de façon significative alors que le PA n'a subi aucun changement significatif, que ce soit pour le droit fémoral ou le vaste latéral. Le FL du vaste latéral a augmenté de 19,3 % et celui du droit fémoral de 16,7 %. Le MT du vaste latéral a augmenté de 7 % et celui du droit fémoral de 9,7 %. Nous observons que les plus fortes augmentations sont intervenues jusqu'à la huitième semaine. Lors des quatre dernières semaines, les augmentations des LF et MT pour le vaste latéral et le droit fémoral n'ont augmenté que légèrement. Le vaste latéral est monoarticulaire et unipenné. Il a par nature des fibres musculaires plus longues et un plus grand angle de pennation que le droit fémoral. Le droit fémoral est un muscle biarticulaire et bipenné qui ne peut pas atteindre sa longueur optimale physiologique lors d'un exercice en chaîne ouverte dans une position assise : flexion de hanche à 85°. Malgré leurs différences d'architecture, ces deux chefs musculaires ont eu des changements similaires au cours de l'étude. Il en ressort également que huit semaines suffisent pour obtenir les modifications les plus importantes.



Figure 8 : Dynamomètre isocinétique.

La revue systématique de Mendiguchia et al., 2013, [7] fait ressortir plusieurs éléments de renforcement. Elle confirme que le mode excentrique permet d'optimiser la longueur de tension des quatre chefs musculaires du quadriceps. Il en résulte une augmentation de la masse musculaire et de la force, supérieure aux modes concentrique et isométrique. De plus, le travail excentrique demande moins d'oxygène et d'énergie, mais produit plus de *DOMS*. En effet, la contraction concentrique nécessite une consommation d'oxygène par la sollicitation préférentielle des fibres de type I. La contraction excentrique sollicite plutôt les fibres de type II [44]. Ces *DOMS* vont permettre l'adaptation recherchée des paramètres de l'architecture musculaire. Le quadriceps, par l'intermédiaire du droit fémoral, s'allonge avec l'extension de hanche et la flexion de genou. Cette situation se retrouve essentiellement dans les sprints et les coups de pied. Elle nécessite un travail en mode excentrique très important. La décélération à la course et les changements de direction demandent également beaucoup de force excentrique au quadriceps. Il ressort également de cette revue une préparation préalable des fléchisseurs de hanche, notamment le muscle ilio-psoas. La synergie de l'ilio-psoas avec le droit fémoral influence directement la vitesse d'une frappe de balle, par un bon transfert d'énergie. A l'inverse, des fléchisseurs de hanche faibles sont compensés par le droit fémoral qui va se fatiguer beaucoup plus vite. Les éléments pertinents qui ressortent de cette revue sont destinés à optimiser l'efficacité d'un protocole de renforcement excentrique. Tout d'abord, un travail concentrique de flexion de hanche peut se placer en début de préparation. La charge d'un exercice excentrique peut progresser de 20 % à 80 % de la force maximale isométrique. Les volumes, nombres de séries et de répétition, peuvent suivre une progression couplée à la charge. Ces progressions permettent une augmentation des adaptations musculaires et la baisse des *DOMS*. Une période de familiarisation est à effectuer avant d'effectuer un travail excentrique à haute intensité. Le travail excentrique est à placer idéalement en fin de séances d'entraînement en raison de l'importante fatigue induite. Il conviendrait d'éviter les exercices excentriques à haute intensité pendant les phases importantes de compétition. Il conviendrait également de limiter les frappes de balle au cours des premiers entraînements de football. Des exercices d'extensibilité musculaire prendrait place avant et après chaque entraînement. Chaque nouveau programme peut engendrer des blessures musculaires.

### **4.3.3 Gainage**

Dans la revue Mendiguchia et al., 2013, [7], la notion de gainage ressort comme un élément déterminant pour prévenir des lésions musculaires du quadriceps. Le gainage permet d'optimiser la capacité du tronc et du bassin à maintenir une position adéquate aux gestes sportifs. Les sprints, les coups de pied, les décélérations et les changements de direction combinent des mouvements statiques et dynamiques. Les muscles abdominaux ont un rôle de contrôle sur le passage du haut du corps en arrière lors de la frappe de balle et de contrôle de la stabilité de la jambe d'appui. Le travail du quadriceps, et plus précisément du droit fémoral, s'en retrouve soulagé. Les muscles lombaires ont également de l'importance car ils sont couplés aux muscles abdominaux dans une relation agoniste / antagoniste lors des flexions / extensions du tronc. Lors des coups de pied et des changements de direction, des flexions latérales et des torsions du tronc, c'est le muscle carré des lombes qui prend de l'importance dans le contrôle de ces mouvements.

### **4.3.4 Extensibilité musculaire**

La revue de Mendiguchia et al., 2013, [7] présente l'extensibilité musculaire comme un élément important de prévention des blessures du quadriceps. Celle des fléchisseurs de hanche, ilio-psoas, tenseur du fascia lata et sartorius, améliore l'extension de hanche. Le déficit d'extension de hanche influence négativement la production de force et la qualité de la gestuelle sportive lors des sprints et des coups de pied. Il faut également noter le risque d'irritation du nerf fémoral par un muscle psoas contracté. Ceci peut engendrer une perturbation de la chaîne neurodynamique du quadriceps.

## 5. DISCUSSION

### 5.1 Programmes de prévention

L'essai contrôlé randomisé par grappe de van Beijsterveldt et al., 2012, [40] a une bonne validité avec un score de cinq points sur l'échelle PEDro (ANNEXE V). Il faut cependant noter que les informations concernant la population sont à chercher dans une étude antérieure de van Beijsterveldt et al., en 2011, [45]. De plus, nous pouvons mentionner quelques biais, définis par un outil d'évaluation des risques de biais Cochrane [42,46]. La randomisation s'est effectuée par groupe et aucune garantie n'est possible sur l'isolement total des participants et de leur staff pendant une saison. Les participants ont pu avoir des contacts entre groupe. Le staff, qui effectue la remontée des informations, pourraient manquer d'objectivité en diminuant la gravité ou le nombre de blessures. De plus, les auteurs ne connaissent pas le contenu des sessions d'entraînement. Le programme « *The 11* » comprend du renforcement, du gainage, des courses, des sauts et des changements d'appuis. Malgré un contenu adapté, ce programme n'a pas eu les effets escomptés. En théorie, ces paramètres sont des éléments de prévention des blessures musculaires. Cependant, une notion essentielle est absente : l'évolution progressive des volumes et des intensités. C'est d'ailleurs l'élément principal qui apparaît dans la version évoluée « *The 11+* ».

La revue systématique de Perez-Gomez et al., 2020, [29] a suivi les lignes directrices PRISMA [47] et analyse onze articles ayant un score moyen de cinq points sur l'échelle PEDro (ANNEXE V). Les résultats ont donc une bonne force de validité. Le programme « *The 11+* » décrit précisément les modalités d'échauffement pour une durée de huit minutes (ANNEXE IX), alors que le programme « *The 11* » mentionne uniquement le fait d'effectuer un échauffement et des étirements dynamiques (ANNEXE VIII). La deuxième partie du programme « *The 11+* » concerne le renforcement, la pliométrie et l'équilibre. Six exercices sont décrits avec trois niveaux de progression pour une durée de dix minutes. La troisième partie est orientée sur la course. Trois exercices la composent pour une durée d'environ deux minutes (ANNEXE IX). Le programme « *The 11* » est composé de dix exercices, sans proposition de progression ni d'indication de durée. Le fait de préciser les modalités d'échauffement et de

progression rendent plus efficace un programme de prévention des blessures basé sur des exercices physiques. Cette efficacité semble être remise en cause par Ishoi et al., 2020, [6].

La liste d'éléments de prévention qui ressortent de la revue de Mendiguchia et al., 2013, [7] peuvent servir à établir un programme de prévention orienté sur le quadriceps alors que les programmes « *The 11* » et « *The 11+* » sont des programmes de prévention des blessures musculaires non spécifiques. Néanmoins un programme orienté sur le quadriceps permettrait également de protéger les structures musculo-tendineuses adjacentes. Cela reste à confirmer par des études ultérieures.

## 5.2 Renforcement musculaire excentrique

Les études de Alonso-Fernandez et al., 2020, [38] et Baroni et al., 2013, [39] ont une faible population, respectivement vingt-huit et vingt participants. Les deux populations étudiées sont quasiment équivalentes en âge, sexe, taille, poids et activité. Leurs études portent chacune sur deux muscles, dont un en commun : le vaste latéral. Les mêmes caractéristiques musculaires sont étudiées avec l'aide de l'échographie. Leurs résultats sont complémentaires. Aussi bien l'exercice *Reverse Nordic Hamstring* que celui sur dynamomètre isocinétique permettent d'augmenter FL et MT sur huit semaines. L'augmentation de PA, retrouvée dans l'étude la plus récente, peut être expliquée par l'utilisation d'un échographe doté d'une meilleure résolution. Dans la seconde il est mentionné que la marge d'erreur de l'échographe pourrait masquer une modification de PA. Nous pouvons admettre qu'un exercice excentrique sur une durée de huit semaines apporte des modifications de l'architecture musculaire. L'efficacité d'un protocole de renforcement excentrique pour la prévention des blessures musculaires du quadriceps est corroborée par ces deux études. En effet, les adaptations de l'architecture musculaire du quadriceps observées lui confèrent une meilleure protection pendant les fortes sollicitations excentriques lors des sprints ou des frappes de balle. Le travail de Christel et al., 2005, [19] confirme l'intérêt majeur du renforcement excentrique par dynamomètre isocinétique par l'activation de la synthèse protéique, la stimulation et le renforcement de l'armature conjonctive et en favorisant l'alignement des fibres de collagènes.

Afin de pouvoir émettre une analyse d'une revue systématique, il est nécessaire d'avoir des éléments de méthodologie, réunis généralement sous l'intitulé « Matériel et Méthodes » dans les lignes directrices *PRISMA* traduites en français par Michel Gedda en 2015 [47]. Dans la revue de Mendiguchia et al., 2012, [7], nous n'avons aucun de ces éléments. Les informations dégagées sont donc à prendre avec précaution. Il y est mentionné qu'aucune étude comparative sur différents protocoles excentriques du droit fémoral n'existait au moment de la rédaction de l'étude. C'est toujours le cas aujourd'hui. Or le droit fémoral fait l'objet d'une sollicitation excentrique importante et nécessite donc de grands changements de longueur et une grande rapidité de contraction. Il serait donc intéressant que des études randomisées contrôlées en double aveugle étudient ces protocoles de renforcement du quadriceps et plus particulièrement du droit fémoral.

Néanmoins, les études d'Alonso-Fernandez et al., 2020, [38] et de Baroni et al., 2013, [39] corroborent la notion de progressivité pour obtenir des paramètres musculaires de protection contre les blessures musculaires. La revue systématique de Pull et Ranson, 2007, [48] confirme la notion de progression en précisant de 20 % à 80 % de la force maximale isométrique. Elle ajoute que les amplitudes articulaires de travail augmentent également progressivement. Elle attire l'attention sur le fait d'éviter des sollicitations excentriques de haute intensité en phase importante de compétition en raison de la fatigue importante occasionnée. Cette revue ajoute que les perturbations neuromusculaires induites par le travail excentrique demandent de placer les exercices techniques et de coordination à d'autres moments de la préparation.

L'intérêt d'un travail excentrique repose également sur sa faible demande en oxygène et en énergie. Le système cardio-vasculaire est donc moins sollicité. Middleton et al., 2004 et 2013, [49,50] le confirment en précisant qu'un contrôle des paramètres avec l'utilisation d'un protocole diminuerait les effets iatrogènes du travail excentrique, surtout à haute vélocité. Une intensité progressive sous-maximale, une vitesse et une résistance progressive sont les paramètres à contrôler dans un protocole excentrique.

### 5.3 Gainage

La revue de Mendiguchia et al., 2013, [7] établit les exercices de gainage du tronc comme un paramètre majeur dans la prévention des blessures du quadriceps, principalement dans les phases de frappe de balle, de sprint, de décélération et de changements d'appuis. Il permettrait un meilleur contrôle des mouvements des membres inférieurs, membre inférieur d'appui et membre inférieur de frappe, et un soulagement du travail du droit fémoral. Les exercices ciblant les muscles abdominaux et carrés des lombes seraient à proposer dans les préparations des entraînements et des matchs. Le gainage semble être un paramètre inévitable des programmes de prévention type « *The 11* » [40] et « *The 11+* » [29].

Le gainage fait partie intégrante d'une préparation physique générale préalable à une préparation orientée sur le type de sport pratiqué. Il serait intéressant de mesurer quel serait le niveau de renforcement du tronc à atteindre pour obtenir, soit une amélioration des performances de sprint et de frappe de balle, soit une protection contre les blessures du quadriceps et surtout du droit fémoral.

### 5.4 Extensibilité musculaire

La revue de Mendiguchia et al., 2013, [7] propose les étirements comme un facteur de prévention des blessures musculaires du quadriceps. Etant donné qu'il n'y a, à ce jour, aucun consensus sur l'utilisation des étirements, ce facteur ne peut pas être pris en compte. Le travail de Bouthin et al., en 2015, [51] confirme que les étirements n'améliorent pas la prévention des blessures musculaires au football.

Le concept de « *foam rolling* » (Fig. 9) aurait moins d'impact négatif sur la force musculaire du quadriceps et des ischio-jambiers que les étirements statiques et dynamiques, tout en améliorant leur extensibilité [52]. Cependant l'utilisation du « *foam rolling* » n'est pas adapté au muscle ilio-psoas car celui-ci se trouve dans un plan profond. Dans ce cas, la pratique

des étirements, à distance des séances d'entraînement et des matchs, serait envisageable, en particulier les étirements statiques intermittents [27].



Figure 9 : Exemple d'utilisation du « *foam rolling* » sur les quadriceps.

### 5.5 Autres

Aujourd'hui, dans le football comme dans la grande majorité des sports, la recherche de performance et de dépassements des limites est systématique. Les sportifs vont plus vite, sont plus forts et plus athlétiques. Les tactiques se complexifient et les techniques évoluent. Les sportifs deviennent aussi plus durs, moins fair-play, plus fourbes et plus malins [53]. En parallèle, ces paramètres ont un impact psychologique sur les sportifs. Ils dégradent leur bien-être mental avec l'augmentation du stress, de l'anxiété et de la dépression, aussi bien individuellement que collectivement, dans une équipe [54]. Ce sont des facteurs de blessures musculaires intimement liés à la fatigue.

L'objectif principal d'un sportif est de produire la meilleure performance possible lors d'un contexte de compétition ou un match. Les capacités physiques y sont poussées au maximum et le risque de blessures musculaires est donc forcément augmenté. Il y a plus de

blessures musculaires du quadriceps en compétition, ou en match, que pendant les entraînements et la pré-saison est également plus concernée que la saison régulière, selon Eckard et al., 2017 [28].

Il ressort de l'étude observationnelle de Malone et al., 2018, [55] que des entraînements réguliers de haute charge permet de baisser le risque de blessure pour des volumes de courses supérieurs. Il ajoute que le travail aérobique fractionné procure une meilleure tolérance dans les changements de rythme et à l'augmentation des volumes de courses.

L'intérêt préventif du mode excentrique se retrouve également sur l'antagoniste du quadriceps : les ischio-jambiers avec l'exercice *Nordic Hamstring* [13], et sur les adducteurs avec l'exercice *Copenhagen Hip Adduction* [15]. La validité du travail excentrique pour la prévention des blessures du quadriceps en est renforcée.

La traction exercée sur le muscle et ses tendons par le travail excentrique a un impact sur l'extensibilité musculo-tendineuse. Middleton et al., 2013, [50] le confirme en précisant que le renforcement excentrique lutte efficacement contre les contractures et améliore l'extensibilité musculo-tendineuse. De plus, Middleton et al., 2004, [49] conclue que la progressivité des paramètres de vitesse et de résistance apporte une prévention tendineuse, à condition de contrôler la quantification du travail excentrique. Yu et al., 2013, [56] confirme l'impact positif sur les structures tendineuses engendré par un exercice excentrique.

Dans le but de protéger le plus possible les muscles contre des lésions potentiellement induites par le travail excentrique à haute vitesse, Barreto et al., 2019, [57] propose un pré-conditionnement isométrique. La revue de Mendiguchia et al., 2013, [7] fait également ressortir plusieurs éléments de préparation. Le pré-conditionnement concentrique des fléchisseurs de hanche et un travail d'extensibilité musculaire diminuent les risques de lésions induites. La familiarisation douce et lente d'un nouveau protocole y contribue aussi.

Le sport avec le plus de blessures aux quadriceps est le football pour Eckard et al., 2017, [28] et les femmes sont plus touchées que les hommes par les blessures musculaires du quadriceps. Larruskain et al., 2018, [58] confirme cette conclusion en précisant que la *Major League Soccer*, ligue américaine de football, dénombre plus de blessures aux quadriceps chez les femmes. Paradoxalement, il y est également précisé qu'en Scandinavie, les femmes ont quatre fois moins de blessures aux quadriceps. Les différences viennent du style de jeu, du climat et de la préparation physique. Ce ne sont que des hypothèses à confirmer avec des études. Notre revue de littérature ne comporte que des travaux avec une population masculine, avec une incertitude pour le travail de Mendiguchia et al., 2013, [7] qui ne le précise pas. La différence entre les hommes et les femmes viendrait notamment d'une intensité physique plus importante chez les hommes, d'une différence de biomécanique avec un contrôle neuromusculaire du tronc, du bassin et du genou différent. Ces éléments de différenciation méritent d'être approfondis.

Le développement des infrastructures sportives a vu le remplacement des terrains de football en herbe par des surfaces artificielles. L'étude de Sousa et al., 2013, [59] a montré que l'incidence des blessures chez le footballeur amateur est plus importante sur une surface artificielle. Il paraît évident que les qualités d'accroche et d'amorti d'un terrain ont une influence directe sur les blessures musculaires, tout comme l'équipement du sportif, et plus particulièrement les chaussures. Mais cela reste à confirmer scientifiquement.

L'étude de Christel et al., 2005, [19] nous présente des éléments de prévention des blessures des muscles squelettiques striés qui s'appliquent au quadriceps. Nous y trouvons tout d'abord le bilan isocinétique, celui d'extensibilité musculo-tendineuse et celui du catabolisme à l'effort. Le renforcement musculaire excentrique et des étirements sont favorisés et contrôlés par des protocoles. Puis, il s'agit de mettre en place une hygiène sportive avec des décrassages doux les lendemains de match et une bonne hydratation régulière pour l'élimination des toxines et des métabolites, ainsi que des apports protéiques adaptés. Des soins adaptés sont également favorables à la prévention des blessures musculaires : le drainage lymphatique et la pressothérapie. Après une blessure musculaire, le retour au sport ne serait pas envisageable si

le muscle touché n'a pas récupéré 90 % de ses qualités antérieures. La reprise de l'entraînement se fait avec bon sens, c'est-à-dire avec une progression lente.

Malgré une littérature très limitée sur le traitement du quadriceps et du droit fémoral, confirmé par Ishoi et al., 2020, [6], nous avons pu faire ressortir des éléments pertinents de prévention de blessures au quadriceps, avec quelques précisions pour le droit fémoral. Cependant, des études avec le traitement ou la prévention du quadriceps, voire du droit fémoral, comme critère principal permettraient de construire plus efficacement un programme de prévention des blessures musculaires.

## 6. CONCLUSION

Les sports composés de sprints répétitifs ou des frappes de balle répétitives, et plus particulièrement le football, favorisent les blessures musculaires du quadriceps. Ce sont les énormes sollicitations musculaires excentriques à répétition qui favorisent les lésions. Pour les prévenir, un programme de prévention est plus efficace qu'un exercice isolé. Le programme orienté vers le quadriceps, et notamment le droit fémoral, prend en considération plusieurs facteurs. Il se compose d'une première partie avec un échauffement global cardio-vasculaire, d'étirements dynamiques des membres inférieurs, un pré-conditionnement concentrique des fléchisseurs de hanche et un pré-conditionnement isométrique du quadriceps. La seconde partie comprend les exercices de gainage du tronc et de renforcement excentrique du quadriceps. Le contrôle du protocole de renforcement excentrique est déterminant pour son efficacité. Il doit être progressif, en faisant évoluer l'intensité de 20 % à 80 % de la force maximale isométrique et les volumes de deux séries de cinq répétitions à trois séries de douze répétitions, à raison de deux séances par semaine minimum et sur huit semaines minimum. Un exercice de type excentrique à haute vitesse engendre beaucoup de fatigue. Il nécessite une période de familiarisation, se place en fin d'entraînement et doit être évité juste avant un match ou dans une phase importante de compétition. Les modalités de réalisation des exercices peuvent varier pour correspondre aux diverses situations de sollicitations musculaires excentriques du quadriceps. Plusieurs articulations peuvent être sollicitées comme la hanche, le genou et la cheville. Les exercices peuvent être unilatéraux ou bilatéraux, en chaîne fermée ou chaîne ouverte. Une bonne extensibilité musculo-tendineuse du quadriceps, mais aussi de son antagoniste les ischio-jambiers et de l'ilio-psoas est nécessaire. Les étirements, bien que discutés, sont à envisager ou à remplacer, en fonction de la littérature disponible, par d'autres techniques comme le « *foam rolling* ». Tous ces éléments ont également un impact positif sur la protection des tendons du quadriceps et vont aider à diminuer les risques de blessures musculaires des membres inférieurs dans leur globalité. D'autres facteurs vont influencer la survenue de blessures musculaires du quadriceps, comme celle des autres muscles du membre inférieur concerné. La gestion de la fatigue, de l'équilibre hydrique et alimentaire, ainsi que celle du bien-être psychologique sont à surveiller. Les infrastructures sportives et l'équipement du sportif sont également à prendre en considération. Nous pouvons légitimement penser que le développement d'un programme de prévention des blessures musculaires s'oriente en

fonction du sport pratiqué. En prenant le football comme exemple, les membres inférieurs sont majoritairement concernés par les blessures musculaires. De nombreux éléments sont communs à une orientation vers le quadriceps, les ischio-jambiers, les adducteurs ou même les gastrocnémiens. De ce fait, son intégration dans un plan d'entraînement est très pertinente. La prise en charge de rééducation peut appliquer ou adapter ces principes sans difficultés. Seule l'utilisation d'un dynamomètre isocinétique est onéreuse, mais elle n'est pas indispensable.

**Points clés :**

- ✓ Le football est le sport le plus concerné par des blessures musculaires du quadriceps.
- ✓ Un programme d'exercices physiques de prévention comprend un échauffement global puis ciblé en fonction du sport pratiqué.
- ✓ Le renforcement excentrique est l'exercice à privilégier.
- ✓ Le paramètre déterminant d'un protocole de renforcement et de prévention est la progressivité dans les volumes, l'intensité, la vitesse et l'amplitude articulaire.
- ✓ Le gainage du tronc et l'extensibilité musculo-tendineuse des membres inférieurs sont à inclure dans le programme de prévention.
- ✓ L'application d'un programme préventif se fait au moins deux fois par semaine, sur huit semaines minimum pour obtenir des améliorations, et se prolonge sur toute la durée de la compétition.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Järvinen TAH, Kääriäinen M, Järvinen M, Kalimo H. Muscle strain injuries. *Curr Opin Rheumatol.* 2000;12(2):155-61.
- [2]. Kraemer R, Knobloch K. A soccer-specific balance training program for hamstring muscle and patellar and achilles tendon injuries : an intervention study in premier league female soccer. *Am J Sports Med.* 2009;37(7):1384-93.
- [3]. Guillodo Y, Bouttier R, Saraux A. De la clinique à l'imagerie : signes de gravité et d'indisponibilité sportive d'une lésion musculaire. *J Traumatol Sport.* 2012;29(4):226-30.
- [4]. Guillodo Y, Saraux A. Treatment of muscle trauma in sportspeople (from injury on the field to resumption of the sport). *Ann Phys Rehabil Med.* 2009;52(3):246-55.
- [5]. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of Muscle Injuries in Professional Football (Soccer). *Am J Sports Med.* 2011;39(6):1226-32.
- [6]. Ishøi L, Krommes K, Husted RS, Juhl CB, Thorborg K. Diagnosis, prevention and treatment of common lower extremity muscle injuries in sport - grading the evidence : a statement paper commissioned by the Danish Society of Sports Physical Therapy (DSSF). *Br J Sports Med.* 2020;54(9):528-37.
- [7]. Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Idoate F, Myer GD. Rectus femoris muscle injuries in football : a clinically relevant review of mechanisms of injury, risk factors and preventive strategies. *Br J Sports Med.* 2013;47(6):359-66.
- [8]. Kary JM. Diagnosis and management of quadriceps strains and contusions. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2010;3(1-4):26-31.
- [9]. Askling CM, Tengvar M, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite football : a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med.* 2013;47(15):953-9.
- [10]. Askling CM, Tengvar M, Tarassova O, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers : a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med.* 2014;48(7):532-9.

- [11]. Chanussot J, Danowski RG. Traumatologie du sport. Traumatologie du sport 8ème édition. Elsevier Masson. Issy-Les-Moulineaux; 2012. p. 495-518.
- [12]. Schwitzguebel DAJ-P, Muff G, Naets E, Karatzios DC, Saubade M, Gremeaux PV. Prise en charge des lésions musculaires aiguës en 2018. Rev Med Suisse. 2018;14:1332-9.
- [13]. Al Attar WSA, Soomro N, Sinclair PJ, Pappas E, Sanders RH. Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players : A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 2017;47:907-16.
- [14]. Macdonald B, O'Neill J, Pollock N, Van Hooren B. Single-Leg Roman Chair Hold Is More Effective Than the Nordic Hamstring Curl in Improving Hamstring Strength-Endurance in Gaelic Footballers With Previous Hamstring Injury. J Strength Cond Res. 2019;33(12):3302-8.
- [15]. Harøy J, Clarsen B, Wiger EG, Øyen MG, Serner A, Thorborg K, et al. The Adductor Strengthening Programme prevents groin problems among male football players : a cluster-randomised controlled trial. Br J Sports Med. 2019;53(3):150-7.
- [16]. Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur - Membre inférieur. 3<sup>e</sup> éd. Vol. 1. Issy-Les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2015. 543 p.
- [17]. Bonnel F, Marc T. Le muscle : nouveaux concepts anatomie, biomécanique, chirurgie, rééducation. Montpellier: Sauramps médical; 2009. 559 p.
- [18]. Kapandji IA. Physiologie articulaire. 5<sup>e</sup> éd. Vol. 2. Paris: Maloine; 1999. 283 p.
- [19]. Christel P, de Labareyre H, Thelen P, de Lecluse J. Pathologie traumatique du muscle strié squelettique. EMC - Rhumatologie-Orthopédie. 2005;2(2):173-95.
- [20]. Dufour M, Pillu M. Biomécanique fonctionnelle - Membres - Tête - Tronc. Issy-Les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011. 369 p.
- [21]. Klein P, Sommerfeld P. Biomécanique des membres inférieurs - Bases et concepts, bassin, membres inférieurs. Issy-Les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2008. 438 p.

- [22]. Holzer N, Zurcher L, Garavaglia G, Laumonier T, Hoffmeyer P, Menetry J. Nouvelles approches thérapeutiques des lésions musculaires : du problème clinique à la recherche. *Rev Med Suisse*. 2004;0.24230(2508).
- [23]. Croisier J-L. Factors Associated with Recurrent Hamstring Injuries : *Sports Med*. 2004;34(10):681-95.
- [24]. Delvaux F, Kaux J-F, Croisier J-L. Les lésions musculaires des membres inférieurs : facteurs de risque et stratégies préventives. *Sci Sports*. 2017;32(4):179-90.
- [25]. Walsh GS. Effect of static and dynamic muscle stretching as part of warm up procedures on knee joint proprioception and strength. *Hum Mov Sci*. 2017;55:189-95.
- [26]. Zmijewski P, Lipinska P, Czajkowska A, Mróz A, Kapuściński P, Mazurek K. Acute Effects of a Static vs. a Dynamic Stretching Warm-up on Repeated-Sprint Performance in Female Handball Players. *J Hum Kinet*. 2020;72(1):161-72.
- [27]. Donti O, Gaspari V, Papia K, Panidi I, Donti A, Bogdanis GC. Acute Effects of Intermittent and Continuous Static Stretching on Hip Flexion Angle in Athletes with Varying Flexibility Training Background. *Sports*. 2020;8(3):28.
- [28]. Eckard TG, Kerr ZY, Padua DA, Djoko A, Dompier TP. Epidemiology of Quadriceps Strains in National Collegiate Athletic Association Athletes, 2009–2010 Through 2014–2015. *J Athl Train*. 2017;52(5):474-81.
- [29]. Pérez-Gómez J, Adsuar JC, Alcaraz PE, Carlos-Vivas J. Physical exercises for preventing injuries among adult male football players : A systematic review. *J Sport Health*. 2020;(2095-2546):8.
- [30]. Brasseur J-L, Renoux J, Crema MD, Mercy G, Monzani Q, Coquart B, et al. Lésions musculaires : l'approche échographique. *J Radiol Diagn Interv*. 2017;98:252-66.
- [31]. Fridén J, Sjöström M, Ekblom B. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *Int J Sports Med*. 1983;4(3):170-6.
- [32]. Maffulli N, Del Buono A, Oliva F, Giai Via A, Frizziero A, Barazzuol M, et al. Muscle Injuries : A Brief Guide to Classification and Management. *Transl Med UniSa*. 2014;12:14-8.

- [33]. Rodineau J, Durey A. Le traitement médical des lésions musculaires. Supplément-IVème Journée Nationale de la Médecine de Rééducation. J Am Med Assoc. 1990:20-2.
- [34]. Pollock N, James SLJ, Lee JC, Chakraverty R. British athletics muscle injury classification : a new grading system. Br J Sports Med. 2014;48(18):1347-51.
- [35]. Stoller DW. Magnetic Resonance Imaging in Orthopaedics and Sports Medicine. 3<sup>e</sup> éd. Vol. 1. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins; 2007. 2328 p.
- [36]. Levine WN, Bergfeld JA, Tessedorf W, Moorman CT. Intramuscular Corticosteroid Injection for Hamstring Injuries : A 13-Year Experience in the National Football League. Am J Sports Med. 2000;28(3):297-300.
- [37]. Guillodo Y, Here-Dorignac C, Thoribé B, Madouas G, Dauty M, Tassery F, et al. Clinical predictors of time to return to competition following hamstring injuries. Muscles Ligaments Tendons J. 2014;4(3):386-90.
- [38]. Alonso-Fernandez D, Abalo-Núñez R, Mateos-Padorno C, Martinez-Patino MJ. Effects of eccentric exercise on the quadriceps architecture. Sci Sports. 2020;36(1):60-7.
- [39]. Baroni BM, Geremia JM, Rodrigues R, De Azevedo Franke R, Karamanidis K, Vaz MA. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training : rectus femoris vs. vastus lateralis. Muscle Nerve. 2013;48(4):498-506.
- [40]. van Beijsterveldt AMC, van de Port IGL, Krist MR, Schmikli SL, Stubbe JH, Frederiks JE, et al. Effectiveness of an injury prevention programme for adult male amateur soccer players : a cluster-randomised controlled trial. Br J Sports Med. 2012;46(16):1114-8.
- [41]. HAS. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique. 2013 [consulté le 16 avril 2021]. Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat\\_des\\_lieux\\_niveau\\_preuve\\_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf)
- [42]. Claus B. Concepts et outils en EBM. Minerva. 2017;16(4):3.
- [43]. Alonso-Fernandez D, Fernandez-Rodriguez R, Abalo-Núñez R. Changes in rectus femoris architecture induced by the reverse nordic hamstring exercises. J Sports Med Phys Fitness. 2019;59(4):640-7.

- [44]. Middleton P, Puig PLP, Trouve P, Savalli L. Le travail musculaire excentrique. *J Traumatol Sport*. 2000;17(2):93-102.
- [45]. van Beijsterveldt AMC, Krist MR, Schmikli SL, Stubbe JH, de Wit GA, Inklaar H, et al. Effectiveness and cost-effectiveness of an injury prevention programme for adult male amateur soccer players : design of a cluster-randomised controlled trial. *Inj Prev J Int Soc Child Adolesc Inj Prev*. 2011;17(1):e2.
- [46]. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 2011;343.
- [47]. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie Rev*. 2015;15(157):39-44.
- [48]. Pull MR, Ranson C. Eccentric muscle actions : Implications for injury prevention and rehabilitation. *Phys Ther Sport*. 2007;8(2):88-97.
- [49]. Middleton P, Montero C. Le travail musculaire excentrique : intérêts dans la prise en charge thérapeutique du sportif Eccentric muscular contraction : implications in treatment of athletes. *Ann Réadapt Médecine Phys*. 2004;47(6):282-9.
- [50]. Middleton P, Gaujard E, Petit H, Guillermo A, Vidal M-C, Bientz I, et al. Isocinétisme : le travail musculaire excentrique. *Lett Médecine Phys Réadapt*. 2013;29:70-8.
- [51]. Bouthin B, Edouard P. Les étirements sont-ils un facteur préventif des lésions de l'appareil locomoteur ? Étude pilote prospective dans une population de footballeurs amateurs. *J Traumatol Sport*. 2015;32(1):22-8.
- [52]. Su H, Chang N-J, Wu W-L, Guo L-Y, Chu I-H. Acute Effects of Foam Rolling, Static Stretching, and Dynamic Stretching During Warm-ups on Muscular Flexibility and Strength in Young Adults. *J Sport Rehabil*. 2017;26(6):469-77.
- [53]. Torrontegui-Duarte M, Gijon-Nogueron G, Perez-Frias JC, Morales-Asencio JM, Luque-Suarez A. Incidence of injuries among professional football players in Spain during three consecutive seasons: A longitudinal, retrospective study. *Phys Ther Sport*. 2020;41:87-93.

- [54]. Rice SM, Purcell R, De Silva S, Mawren D, McGorry PD, Parker AG. The Mental Health of Elite Athletes : A Narrative Systematic Review. *Sports Med.* 2016;46(9):1333-53.
- [55]. Malone S, Owen A, Mendes B, Hugues B, Collins K, Gabett TJ. High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer : Can well-developed physical qualities reduce the risk? *J Sci Med Sport.* 2018;21(3):257-62.
- [56]. Yu J, Park D, Lee G. Effect of Eccentric Strengthening on Pain, Muscle Strength, Endurance, and Functional Fitness Factors in Male Patients with Achilles Tendinopathy. *Am J Phys Med Rehabil.* 2013;92(1):68-76.
- [57]. Barreto RV, de Lima LCR, Greco CC, Denadai BS. Protective Effect Conferred by Isometric Preconditioning Against Slow- and Fast-Velocity Eccentric Exercise-Induced Muscle Damage. *Front Physiol.* 2019;10:1203.
- [58]. Larruskain J, Lekue JA, Diaz N, Odriozola A, Gil SM. A comparison of injuries in elite male and female football players : A five-season prospective study. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(1):237-45.
- [59]. Sousa P, Rebelo A, Brito J. Injuries in amateur soccer players on artificial turf : A one-season prospective study. *Phys Ther Sport.* 2013;14(3):146-51.

## ANNEXES

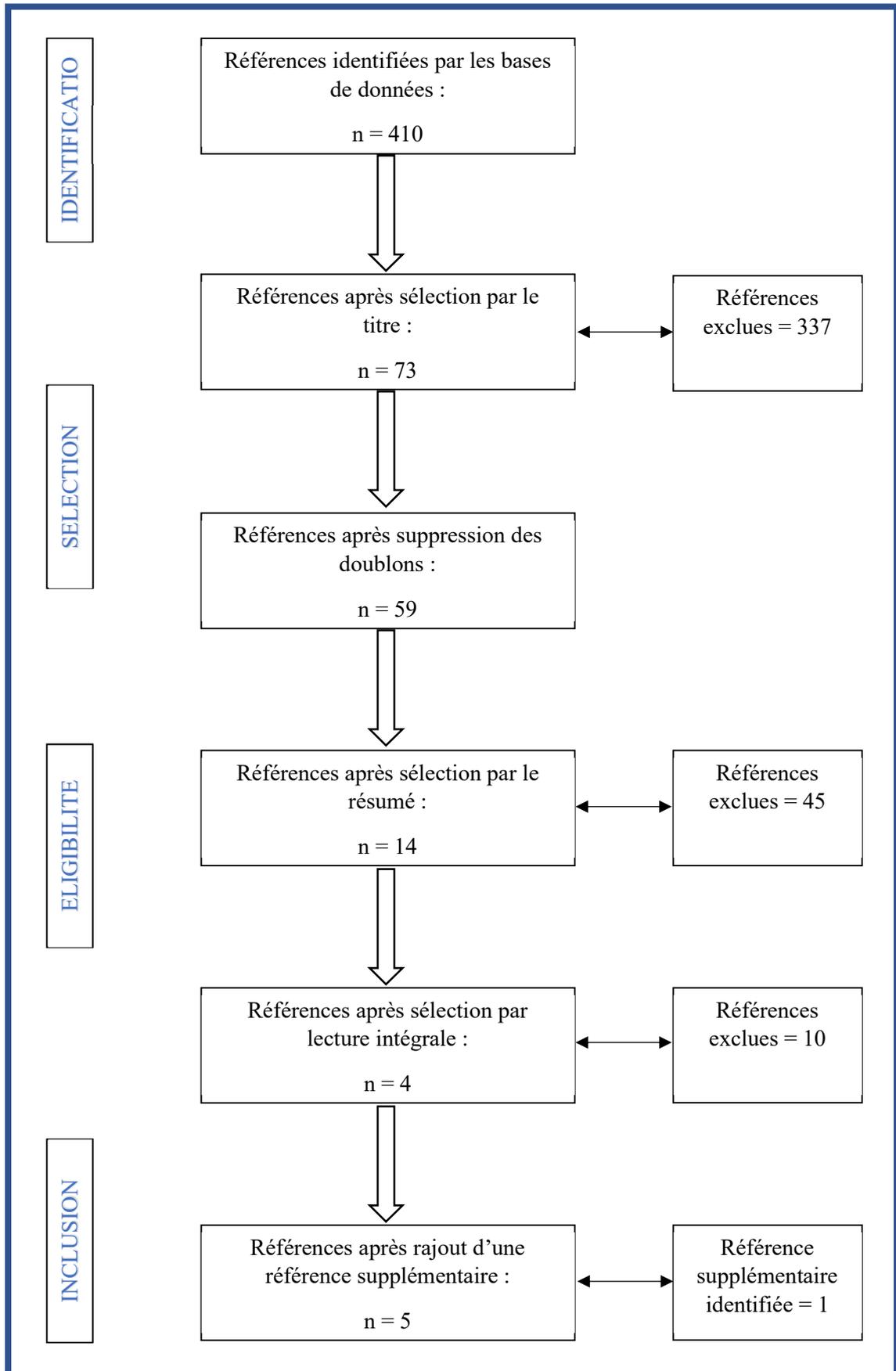
### ANNEXE I : Termes utilisés pour les recherches bibliographiques.

<b>Termes français</b>	<b>English words</b>
Prévention	Prevention
Sport	Sport / athletic
Blessure	Injury / injuries / lesion
Lésion	Injury / injuries / lesion
Elongation	Elongation / lengthening / overstretched
Déchirure	Tear, torn, strain
Claquage	Sprain
Rupture	Rupture / break
Musculaire / muscle	Muscular / muscle
Membres inférieurs	Lower limbs / lower extremities
Cuisse	Thigh
Quadriceps	Quadriceps
Droit fémoral	Rectus femoris

ANNEXE II : Equations de recherche en fonction des bases de données.

Bases de données	Equations de recherche
<b>PubMed</b>	<u>English</u> : (prevention) AND (quadriceps OR thigh OR rectus femoris OR droit fémoral) AND (injur*) AND (musc*)
<b>PEDro</b>	<u>English</u> : Prevention thigh injury / Prevention quadriceps / prevention rectus femoris
<b>Cochrane Library</b>	<u>English</u> : Prevention rectus femoris / prevention quadriceps / prevention thigh
<b>Science Direct</b>	<u>English</u> : Prevention quadriceps / rectus femoris / thigh /lower limb injury
<b>EM Consulte</b>	<u>Français</u> : Prevention blessure quadriceps / droit fémoral / membre inférieur

### ANNEXE III : Diagramme de flux



#### ANNEXE IV : Fiches de lecture détaillées

Titre de l'article	Effects of eccentric exercise on the quadriceps architecture
Auteurs (année)	D. Alonso-Fernandez, R. Abalo-Nunez, C. Mateos-Padorno, M.J. Martinez-Patino (2019)
	<b>DESCRIPTION</b>
<b>INTRODUCTION</b>	
Objectifs de l'étude / question de recherche / hypothèses de recherche	Objectifs de l'étude, question de recherche et hypothèses clairement exprimés.
<b>MATERIEL ET METHODE</b>	
Type d'étude	Etude observationnelle.
Population	<p>28 hommes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Âge : 25,6 +/- 3,1 années</li> <li>- Taille : 178,3 +/- 7,68 centimètres</li> <li>- Poids : 75,6 +/- 7,8 kilogrammes</li> </ul> <p>Il manque des critères d'inclusion et d'exclusion : pratiquants intensifs ou occasionnels, avec précédent de blessure au membre inférieur ou non, expérience du travail excentrique ou non ... Il est noté de se référer à une étude précédente pour avoir ces informations. Il n'y a que des hommes.</p> <p>Pas de groupe témoin : 1 seul groupe de participants.</p>
Critères de jugement principal, critères de jugement secondaires	<p>Evaluation des caractéristiques de l'architecture musculaire des vastes médial et latéral du quadriceps au repos au moyen d'une échographie :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Semaine 1</li> <li>- Semaine 8</li> <li>- Semaine 12</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Longueur du fascicule musculaire</li> <li>2. Epaisseur musculaire</li> <li>3. Angle de pennation</li> </ol>
Protocole utilisé	<p>Protocole de 12 semaines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 semaine d'évaluation et de familiarisation</li> <li>- 7 semaines de travail excentrique : Reverse Nordic Hamstring</li> <li>- 4 semaines sans exercice</li> </ul>
Analyses statistiques	Echographies de différents points de référence anatomique pour chaque participant. Logiciel SPSS version 24.0
<b>RESULTATS</b>	
Présentation, précision et lisibilité des résultats	Présentation claire et précise des résultats par un tableau
<b>DISCUSSION</b>	
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des recherches	<p>Les résultats auraient pu être meilleurs en utilisant un dynamomètre isocinétique : augmentation de l'intensité et plus grande course articulaire.</p> <p>Faible échantillonnage. Absence de femmes dans l'étude. Echographie = opérateur dépendant.</p>
Applicabilité et intérêt clinique	Reverse Nordic Hamstring facilement reproductible. Intérêt de faire progresser le sujet avec une augmentation de l'intensité via des charges plus importantes
Score PEDro	1/10

Biais Cochrane	
Sélection (randomisation)	NON
Sélection (répartition)	NON
PERFORMANCE	Pas en aveugle
DETECTION	Echographie est opérateur dépendant, donc variabilité des mesures possibles et marges d'erreur
ATTRITION	OK
RAPPORTES PAR LES AUTEURS	Précision de l'échographie
AUTRES BIAIS	

Score PEDro	Oui / non	Où
1	NON	Les critères d'éligibilité sont disponibles dans une étude précédente, sauf l'âge, la taille et le poids
2	NON	1 seul groupe
3	NON	1 seul groupe
4	NON	Abandon non précisé
5	NON	
6	NON	
7	NON	
8	NON	Non précisé, les participants ont tous effectué les 3 échographies ?
9	NON	Non précis, les participants ont tous effectué le programme sur 12 semaines ?
10	NON	1 seul groupe
11	OUI	Le tableau 2

Titre de l'article	Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training : rectus femoris vs vastus lateralis
Auteurs (année)	B.M. Baroni, J.M. Geremia, R. Rodrigues, R.A. Franke, K. Karamanidis, M.A. Vaz (2013)
	<b>DESCRIPTION</b>
<b>INTRODUCTION</b>	
Objectifs de l'étude / question de recherche / hypothèses de recherche	Les objectifs et la question de recherche de l'étude sont clairement exprimés. Les hypothèses sont déduites par un paragraphe, sans grande précision.
<b>MATERIEL ET METHODE</b>	
Type d'étude	Etude observationnelle.
Population	Les critères d'éligibilité sont précisés ainsi que les caractéristiques des participants. Pas de groupe contrôle : 1 seul groupe de participants
Critères de jugement principal, critères de jugement secondaires	Evaluation des caractéristiques de l'architecture musculaire du vaste latéral et du droit fémoral du quadriceps au repos au moyen d'une échographie : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Départ</li> <li>- Pré-entraînement (vérification)</li> <li>- Post semaine 4</li> <li>- Post semaine 8</li> <li>- Post semaine 12</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Longueur du fascicule musculaire</li> <li>2. Epaisseur musculaire</li> <li>3. Angle de pennation</li> </ol>
Protocole utilisé	Protocole de 12 semaines d'entraînement avec un dynamomètre isocinétique. 2 sessions par semaine composées d'un échauffement de 5 minutes sur cycloergomètre et de 3 à 5 sets de 10 contractions excentriques maximales. Les semaines 1, 5 et 9 sont des semaines d'adaptations à la charge et comprennent qu'une seule session hebdomadaire.
Analyses statistiques	3 images échographiques sont prises pour les 3 caractéristiques de droit fémoral et du vaste latéral, soit 18 images pour chaque participant à chacun des 5 temps clés de l'étude.
<b>RESULTATS</b>	
Présentation, précision et lisibilité des résultats	Les résultats sont expliqués et présentés sur un tableau (non disponible)
<b>DISCUSSION</b>	
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des recherches	Biais marge erreur de l'échographe. Discussion sur les animaux, les humains jeunes et vieux. Angle de pennation sans consensus versus autres études sur le renforcement excentrique ou concentrique
Applicabilité et intérêt clinique	Que des hommes, quid des femmes ? Dynamomètre isocinétique trop cher pour généraliser ce type de travail
Score PEDro	3/10

<b>Biais Cochrane</b>	
Sélection (randomisation)	NON
Sélection (répartition)	NON
PERFORMANCE	Pas en aveugle
DETECTION	Echographie opérateur dépendant, variabilité des mesures et marges d'erreur
ATTRITION	OK
RAPPORTES PAR LES AUTEURS	Précision échographie
AUTRES BIAIS	

Score PEDro	Oui / non	Où
1	OUI	Critères d'éligibilité précisés
2	NON	1 seul groupe
3	NON	1 seul groupe
4	NON	Abandon non précisé
5	NON	Pas en aveugle
6	NON	
7	NON	
8	OUI	Non précisé, les participants ont tous effectué les échographies
9	OUI	Non précisé, les participants ont tous effectué le programme sur 12 semaines
10	NON	1 seul groupe
11	OUI	Tableau

Titre de l'article	Effectiveness of an injury prevention programme for adult male amateur soccer players : a cluster-randomised controlled trial
Auteurs (année)	A.M.C. van Beijsterveldt, I.G.L. van de Port, M.R. Krist, S.L. Schmickli, J.H. Stubbe, J.E. Frederiks, F.J.G. Backx (2012)
	<b>DESCRIPTION</b>
<b>INTRODUCTION</b>	
Objectifs de l'étude / question de recherche / hypothèses de recherche	Les objectifs, la question et les hypothèses de l'étude sont clairement précisés
<b>MATERIEL ET METHODE</b>	
Type d'étude	Essai contrôlé randomisé par grappe
Population	Les critères d'éligibilité sont précisés. Randomisation par équipe avec groupe contrôle et groupe intervention.
Critères de jugement principal, critères de jugement secondaires	Nombre de blessures sur une saison de football amateur Nombre de joueurs blessés Gravité, temps d'absence, type de blessure, ...
Protocole utilisé	Avant la saison : questionnaire pour création base de données. Les entraîneurs et le personnel de soin remplissent la base de données des blessures pendant la saison
Analyses statistiques	Logiciel SPSS 17 Qualification de la blessure par déclaration les personnes en charge des joueurs
<b>RESULTATS</b>	
Présentation, précision et lisibilité des résultats	Les résultats sont détaillés avec tableaux explicatifs
<b>DISCUSSION</b>	
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des recherches	Discussion critique sur les résultats avec détail des biais. Reporting des blessures et qualification des blessures faites par le staff des équipes : Objectivité ? Programme the 11 non progressif au long de la préparation et de la saison
Applicabilité et intérêt clinique	Les résultats ne montrent pas d'efficacité mais apporte des évolutions faciles à mettre en place
Score PEDro	4/10

Biais Cochrane	
Sélection (randomisation)	OK
Sélection (répartition)	OK par tirage au sort
PERFORMANCE	NON pas en aveugle
DETECTION	NON Les équipes peuvent se contacter, le staff reporte les informations : objectivité ?
ATTRITION	OK Quelques pertes de participants, mais données analysées
RAPPORTES PAR LES AUTEURS	OK Les auteurs énoncent les biais Pas d'allocations en aveugle Les auteurs ne connaissent pas le contenu des sessions d'entraînement
AUTRES BIAIS	

Score PEDro	Oui / non	Où
1	OUI	Paragraphe « Participants »
2	OUI	Les précisions de la répartition aléatoire sont disponibles dans l'étude des mêmes auteurs en 2010 : « Effectiveness and cost-effectiveness of an injury prevention programme for adult male amateur soccer players : design of a cluster-randomised controlled trial ».
3	NON	
4	NON	
5	NON	
6	NON	
7	NON	
8	OUI	23 équipes sur 24
9	OUI	Partie « Effects of the intervention programme »
10	NON	
11	OUI	Partie « Effects of the intervention programme »

Titre de l'article	Rectus femoris muscle injuries in football : a clinically relevant review of mechanisms of injury, risk factors and preventive strategies
Auteurs (année)	J. Mendiguchia, E. Alentorn-Geli, F. Idoate, G. D. Myer (2014)
	<b>DESCRIPTION</b>
<b>INTRODUCTION</b>	Les objectifs de l'étude et la question de recherche sont exprimés, mais il n'y a pas d'hypothèses mentionnées.
Objectifs de l'étude / question de recherche / hypothèses de recherche	
<b>MATERIEL ET METHODE</b>	Revue de littérature
Type d'étude	
Population	Aucune définition de la population n'apparaît.
Critères de jugement principal, critères de jugement secondaires	Aucun critère de jugement mentionné
Protocole utilisé	Aucun protocole mentionné
Analyses statistiques	Aucune analyse statistique mentionnée
<b>RESULTATS</b>	Aucune présentation des résultats
Présentation, précision et lisibilité des résultats	
<b>DISCUSSION</b>	Aucune discussion des résultats, ni justification des résultats. Les réponses à la question de recherche et aux objectifs correspondent aux chapitres de la revue
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des recherches	
Applicabilité et intérêt clinique	Cette revue a un intérêt clinique marquée et son applicabilité est relativement simple
Score PEDro	Non applicable

<b>Biais Cochrane</b>	
Sélection (randomisation)	Non applicable
Sélection (répartition)	Non applicable
PERFORMANCE	Non applicable
DETECTION	Non applicable
ATTRITION	Non applicable
RAPPORTES PAR LES AUTEURS	Non applicable
AUTRES BIAIS	Non applicable

Score PEDro	Oui / non	Où
1	Non applicable	
2	Non applicable	
3	Non applicable	
4	Non applicable	
5	Non applicable	
6	Non applicable	
7	Non applicable	
8	Non applicable	
9	Non applicable	
10	Non applicable	
11	Non applicable	

Titre de l'article	Physical exercises for preventing injuries among adult male football players : a systematic review
Auteurs (année)	J.Pérez-Gomez, J.C. Adsuar, P.E. Alcaraz, J. Carlos-Vivas (2020)
	<b>DESCRIPTION</b>
<b>INTRODUCTION</b>	Objectifs de l'étude et question de recherche formulés, mais pas d'hypothèses formulées
Objectifs de l'étude / question de recherche / hypothèses de recherche	
<b>MATERIEL ET METHODE</b>	Revue de littérature systématique
Type d'étude	
Population	Critères d'éligibilité des études formulés, ainsi que les critères d'exclusion
Critères de jugement principal, critères de jugement secondaires	Score PEDro : 5 points en moyenne
Protocole utilisé	2 examinateurs ont évalué les scores PEDro Bases de données : EMBASE et PubMed
Analyses statistiques	
<b>RESULTATS</b>	Les résultats sont présentés par thèmes et sous forme de tableau
Présentation, précision et lisibilité des résultats	
<b>DISCUSSION</b>	Discussion en rapport avec la littérature, peu de biais exprimés par les auteurs : plus de bases de données et autres langues que l'anglais et l'espagnol.
Discussion des résultats, réponses à la question de recherche, justification des recherches	
Applicabilité et intérêt clinique	Résultats présentent des éléments applicables à la population étudiée : footballeur masculin adulte
Score PEDro	Non applicable

<b>Biais Cochrane</b>	
Sélection (randomisation)	Non applicable
Sélection (répartition)	Non applicable
PERFORMANCE	Non applicable
DETECTION	Non applicable
ATTRITION	Non applicable
RAPPORTES PAR LES AUTEURS	Non applicable
AUTRES BIAIS	Non applicable

Score PEDro	Oui / non	Où
1	Non applicable	
2	Non applicable	
3	Non applicable	
4	Non applicable	
5	Non applicable	
6	Non applicable	
7	Non applicable	
8	Non applicable	
9	Non applicable	
10	Non applicable	
11	Non applicable	

## ANNEXE V : Grille d'évaluation PEDro

1. les critères d'éligibilité ont été précisés non  oui  où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement) non  oui  où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète non  oui  où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants non  oui  où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle" non  oui  où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle" non  oui  où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels non  oui  où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes non  oui  où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter" non  oui  où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels non  oui  où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité non  oui  où:

## ANNEXE VI : Grille d'analyse des biais Cochrane

1. **La génération d'une séquence de randomisation (sequence generation)** peut être à l'origine d'une forme de **biais de sélection** lorsque l'affectation des sujets à un bras de l'étude n'est pas effectuée correctement d'un point de vue méthodologique. Une méthode prévisible (par exemple un numéro d'inclusion pair pour le bras intervention et un numéro impair pour le bras contrôle) peut conduire à une affectation sélective (par exemple des patients plus atteints sont affectés à un certain bras) ou même à ce que des patients ne soient pas inclus.
2. **Le secret d'attribution (allocation concealment)** peut provoquer une forme de biais de sélection lorsque la **randomisation** des sujets n'est pas dissimulée (le risque est par exemple plus élevé avec des enveloppes scellées qu'avec un système de randomisation central ou une randomisation par blocs).
3. **Un biais de performance (performance bias)** se rencontre lorsque l'insu des participants et des soignants n'est pas respecté ou lorsque des éléments entraînent une différence entre le groupe intervention et le groupe contrôle. Dans ce cas, on retombe sur les risques liés à une étude menée en ouvert.
4. **Un biais de détection (detection bias)** se rencontre lorsque l'insu n'est pas mis en place pour les évaluateurs, donc lorsque l'étude n'est pas en triple **aveugle** et que les personnes qui analysent les résultats risquent d'être influencées.
5. **Un biais de migration (attrition bias)** survient lorsque les données des critères de jugement sont incomplètes (comme en cas de sorties d'étude ou de perdus de vue, et cetera).
6. **Le biais de notification (reporting bias)** est le rapport sélectif des critères de jugement.
7. Les formes de biais qui ne sont pas mentionnées dans les domaines 1 à 6 font partie du domaine « **autres** ».

ANNEXE VII : Fiche de lecture globale.

Auteurs (année)	D. Alonso-Fernandez et al (2019)	B.M. Baroni et al (2013)	A.M.C. van Beijsterveldt et al (2012)	J. Mendiguchia et al (2012)	J. Pérez-Gomez et al (2020)
Score PEDro	1/10	3/10	4/10	Non applicable	Non applicable
Type	Etude observationnelle	Etude observationnelle	Essai contrôlé randomisé par groupe	Revue de littérature	Revue de littérature systématique
Objectifs	Déterminer les adaptations de l'architecture musculaire des vastes médial et latéral après un entraînement excentrique, puis après une période de repos	Déterminer les adaptations de l'architecture musculaire du vaste latéral et du droit fémoral après un entraînement excentrique	Déterminer les effets du programme de prévention des blessures « The 11 » sur le nombre et la gravité des blessures chez les joueurs de football adultes amateurs.	Revue des blessures du droit fémoral et présentation des mécanismes biomécaniques, des facteurs de risque et des stratégies de prévention	Identifier les programmes de préventions de blessures basés sur des exercices physiques
Nb / âge	28 / 25,6 ± 3,1 années	20 / 24,05 ± 3,73 années	456 / groupe intervention 223 / 24,4 ± 4,1 années et groupe contrôle 233 / 25,1 ± 4,3 années		+ 18 ans (dont une étude 14-65 ans)
Sexe	Masculin uniquement	Masculin uniquement	Masculin uniquement		Masculin uniquement
Taille / poids	178,3 ± 7,68 cm / 75,6 ± 7,8 kg	175 ± 6 cm / 73,95 ± 6,99 kg	Groupe intervention : 185 ± 10 cm / 79,1 ± 7,4 kg Groupe contrôle : 182 ± 10 cm / 77,4 ± 7,4 kg		
Inclusion	Pratiquant une activité physique de loisir. Aucune expérience dans le travail excentrique.	Sujets actifs physiquement	Homme âgé de 18 à 40 ans, évoluant dans une équipe de haut-niveau amateur aux Pays-Bas, venant de 2 districts géographiquement éloignés		Pratiquant de football adulte : 18-65 ans), 1 à 6 x /semaine, 10 semaines à une saison complète
Exclusion	Blessure membre inférieur dans les 12 mois précédant l'étude.	Programme d'entraînement pour les membres inférieurs dans les 6 mois précédant l'étude. Historique de lésion musculosquelettique sur un membre inférieur entraînant une limitation de performance. Problèmes cardiovasculaires ou respiratoires. Utilisation de compléments alimentaires ou stéroïdes anabolisants.			
Primaires	Longueur fascicule FL Angle de pennation PA Epaisseur du muscle MT	Longueur fascicule FL Angle de pennation PA Epaisseur du muscle MT	Nombre de blessures, nombre de joueurs blessés, gravité blessures, match ou entraînement, nombre d'heures d'exposition, absence, mécanismes lésionnels, localisation lésions		Efficacité programme
Secondaires	Longueur fascicule par rapport à l'épaisseur du muscle RFL	Effets musculaires en fonction du temps			

<b>Protocole</b>	<b>Durée</b>	12 semaines : 1 semaine de familiarisation (2x/sem) 7 semaines d'entraînement (2x/sem) 4 semaines de repos	12 semaines, 2 sessions par semaine	Saison 2009-2010	10 semaines à 1 saison
	<b>Muscles évalués</b>	Vaste médial et vaste latéral du quadriceps	Droit fémoral et vaste latéral du quadriceps		
	<b>Outils</b>	Echographie avec points de référence anatomique marqués et photographiés : semaine 1, 8 et 12.	Echographie avec points de référence anatomique marqués	Staff reporte sur une base de données informatiques	
	<b>Intervention 1</b>	Reverse Nordic Hamstring	Dynamomètre isocinétique BIODEX	The 11 programme de prévention des blessures : gainage, gainage latéral, ischio-jambiers, courses, sauts, changements d'appuis + entraînement habituel	Echauffement, Nordic Hamstring Exercice, YoYo ergomètre, programme de renforcement des adducteurs, proprioception, programme « FIFA 11+ »
	<b>Intervention 2</b>			Entraînement habituel	
	<b>Comparaison</b>				
<b>Résultats</b>	Vaste latéral et vaste médial : ↗ FL, PA et MT entre semaine 1 et semaine 8 et ↘ FL, PA et MT entre semaine 8 et semaine 12. Aucune incidence sur RFL sur les 12 semaines.	Droit fémoral et vaste latéral : même adaptation. ↗ FL et MT entre semaine 1 et semaine 4, puis entre semaine 4 et 8, et enfin stables entre semaine 8 et 12. PA est stable sur les 12 semaines.	Aucune différence notable	Travail excentrique progressif de 20% à 80% de la force maximale isométrique. Progression des volume et intensité pour diminuer les DOMS et produire les adaptations musculaires recherchées. Le travail excentrique est à effectuer à la fin des sessions d'entraînements. Les exercices excentriques de haute intensité interviennent après une période de familiarisation progressives. Un nouveau programme d'exercices peut engendrer des blessures musculaires. Eviter les exercices excentriques de haute intensité pendant les phases importantes de compétition. Travail concentrique de flexion de hanche en début de préparation physique. Limitation des coups de pied dans les premiers entraînements. Les exercices de souplesse musculaire avant et après chaque entraînement.	15-20 mn d'échauffement dynamique, 2-3 séries de 5-12 répétitions de renforcement excentrique type Nordic Hamstring Exercice, équilibre et mobilité au minimum 2 x /semaine, pendant les entraînements de football réduisent la survenue de blessures musculaires.

## ANNEXE VIII : Programme de prévention des blessures FIFA « The 11 ».

### “The F-MARC 11” – the basic programme

#### Background

“The 11” is a simple, catchy and time-efficient preventive programme that comprises ten evidence-based or best-practice exercises (created by a group of international experts, under the leadership of FIFA/F-MARC) and the promotion of fair play. The programme is performed on the field, with the players wearing their usual equipment and football shoes. It requires no equipment except a ball and can be completed in 10-15 minutes (after a short period of familiarisation).

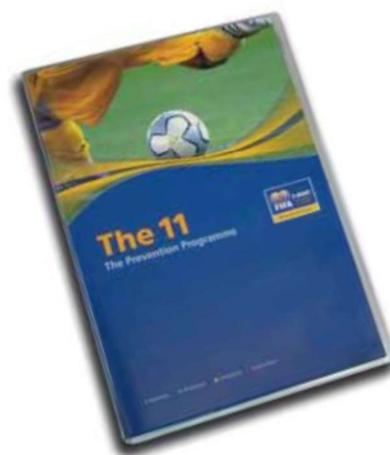
The main targets of the exercise programme are: core strength, neuromuscular control and plyometrics/agility. It is emphasised that “The 11” are basic exercises, which may have many variations. Specific programmes to address a specific pathology or dysfunction should be best designed and implemented by specialised sports physiotherapists and athletic trainers. The first two exercises, “the bench” and the “sideways bench” focus on core strength. These are really basic exercises meant to train strength and stabilisation of the dorsal, ventral and lateral core muscle groups. Other exercises of “The 11” also help to improve core stability, even if their primary aim is other muscle groups. Two exercises focus on the eccentric component of neuromuscular control: “hamstrings” and “cross-country skiing”. In these exercises, the key is the maintenance of a stabilised body position during controlled motion(s). In “hamstrings”, the focus is set on the eccentric work and stabilising activity of the two-joint muscles of the posterior thigh (=hamstring) on the knee, hip and lumbo-pelvic region. In “cross-country skiing” the focus is on the eccentric work and stabilising activity of the quadriceps muscle (with its two-joint rectus femoris muscle also acting on the pelvis) on the knee joint. For both exercises, optimum core stability is a must within the controlled body position: abdominal, back and hip muscles are also indirectly trained. Three exercises were chosen for the static, dynamic and reactive neuromuscular control of the lower extremity: “chest-passing in single-leg stance”, “forward bend in single-leg stance” and “figures of eight in single-leg stance”. In these three exercises the key component is the maintenance of an optimum stabilised body position: proper lower extremity alignment, core stability, head-neck control (aligned with the spine), balance and anticipation. For plyometric and agility

training three exercises were chosen: “jumps over the line” and “bounding” focus more on plyometric skills, whereas “zigzag shuffle” puts more emphasis on agility skills. “Jumps over the line” improves lower extremity power, speed and reactive body control, whereas “zigzag shuffle” focuses on lower extremity reactivity, speed (foot movements), quickness and reactive body control and “bounding” improves lower extremity power, speed and stride length. The key for effective training in all these exercises is the maintenance of an optimum coordinated body position during dynamic performance. The symmetry of the lower limb actions, along with their proper alignment within the body position, is crucial in this type of exercise.

Football injuries can be prevented only partly by improved physical condition of the players. Knowing that a substantial amount of football injuries are caused by foul play, the observance of the Laws of the Game and especially fair play is an essential aspect in the prevention of injury. Fair play involves more than just complying with the existing rules; its essence comprises respect for the opponent and the spirit of the game. It should be promoted not only with regard to the players, but also in relation to the attitudes and behaviour of the coaches, referees and spectators. A positive attitude towards fair play can change intentional behaviour. An increased awareness of the importance of fair play may reduce the incidence of injury and make football a healthier game.

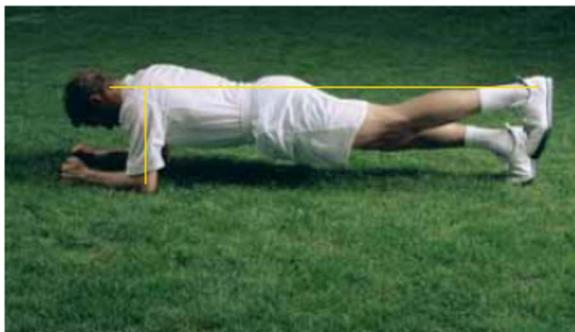
#### Description of “The F-MARC 11” – Instruction for players

Before starting the training programme, always perform an adequate warm-up and dynamic stretching routine.



### 1 - The bench

- **Starting position:** Lie on your stomach. Support your upper body with your arms. Place your feet vertical to the ground.
- **Action:** Lift your stomach, hips and knees so that your body forms a straight line from your shoulders to your heels, parallel to the ground. Your elbows should be directly underneath your shoulders. Tighten the abdominal muscles and buttocks. Pull your shoulder blades towards the centre of your back so that your shoulder blades are level with your back. Lift the right leg a few centimetres from the ground and hold this position for 15 seconds. Return to the starting position, relax and repeat the exercise with the left leg. Perform 1-2 times on each leg.
- **Important:**
  - Your head, shoulders, back and pelvis should be in a straight line
  - Your elbows should be directly underneath your shoulders
  - Do not tilt your head backwards
  - Do not let your stomach drop
  - Do not move your hips upwards
  - When lifting your leg, do not let your pelvis tilt to the side



The bench

### 2 - Sideways bench

- **Starting position:** Lie on one side. Support your upper body with one arm so that your elbow is underneath your shoulder and your forearm is on the ground. Bend your bottom knee 90°. When viewed from above, the shoulders, elbow, hips and both knees should form a straight line.
- **Action:** Lift your top leg and hips until the shoulder, hip and top leg are in a straight line parallel to the ground and hold this position for 15 seconds. Return to the starting position, relax and repeat the exercise on the other side. Perform twice on each side.
- **Important:**
  - When viewed from the front, your upper shoulder, hips and upper leg should be in a straight line
  - Your elbow should be directly underneath your shoulder
  - When viewed from above, your shoulders, elbow, hips and both knees should be in a straight line
  - Do not rest your head on your shoulder
  - Do not let your hips drop
  - Do not tilt your upper shoulder, hips, pelvis or legs forwards or backwards



Sideways bench

### 3 - Hamstrings

- **Starting position:** Kneel down with a straight upright upper body. Knees and lower legs should be hip-width apart. Cross your arms in front of your body. Have a partner pin your ankles firmly to the ground with both hands.
- **Action:** Slowly lean forward keeping your upper body and hips straight. Thighs, hips and upper body stay in a straight line. Try to hold this straight body alignment as long as possible. When the body position can no longer be maintained by the hamstrings then use both hands to control the fall. Perform 5 times.
- **Important:**
  - Your partner must keep your ankles firmly on the ground
  - Your upper body, hips and thigh should be in a straight line
  - Do not bend at your hips
  - Do not tilt your head backwards
  - Perform the exercise slowly at first, but once you feel more comfortable, speed it up



Hamstrings

#### 4 - Cross-country skiing

- **Starting position:** Stand on your right leg and let the other leg hang relaxed. Bend the knee and hips slightly so that the upper body leans forward. When viewed from the front, your hip, knee and foot of the supporting leg should be in a straight line.
- **Action:** Flex and extend the knee of your supporting leg and swing your arms in opposite directions in the same rhythm. Flex your knee as much as possible, but keep your weight balanced on the entire foot. On extension, never lock the knee. Keep your pelvis and upper body stable and facing forwards. Perform 15 times on the right leg, then 15 times on the left leg.
- **Important:**
  - When viewed from the front, the hip, knee and foot of your supporting leg should be in a straight line
  - Keep your upper body and pelvis stable and facing forward
  - Keep your pelvis horizontal and do not let it tilt to the side
  - Balance your weight across the whole foot
  - Do not let the knee of your supporting leg buckle inwards
  - Never let your knees meet



Cross-country skiing

#### 5 - Chest-passing in single-leg stance

- **Starting position:** Two players face each other at a distance of 3m, both standing on their right leg. Knee and hips should be slightly bent. Keep your weight on the ball of your foot or lift your heel from the ground. When viewed from the front, the hip, knee and foot of your supporting leg should be in a straight line.
- **Action:** Throw a ball back and forth, standing on your right leg means throwing with your left arm and vice versa. Catch the ball with both hands and throw it back with one hand. The quicker the exchange of the ball, the more effective the exercise. Perform 10 times on the right leg, then 10 times on the left leg.
- **Important:**
  - When viewed from the front, the hip, knee and foot of your supporting leg should be in a straight line
  - Keep your upper body and pelvis stable and facing forward
  - Keep your pelvis horizontal and do not let it tilt to the side
  - Keep your hips and the knee of your supporting leg always slightly bent
  - Do not let your knee buckle inwards
  - Keep your weight on the ball of your foot or lift your heel fully off the ground



Chest-passing in single-leg stance

### 6 - Forward bend in single-leg stance

- **Starting position:** As in exercise 5, face your partner at a distance of 3m, each of you standing on your right legs.
- **Action:** As in exercise 5. Before throwing back, touch the ground with the ball without putting weight on it. Perform 10 times on the right leg, then 10 times on the left leg.
- **Important:**
  - When viewed from the front, the hip, knee and foot of your supporting leg should be in a straight line
  - Keep your pelvis horizontal and do not let it tilt to the side
  - Keep your hips and the knee of your supporting leg slightly bent throughout
  - Do not let your knee buckle inwards
  - Keep weight only on the ball of your foot, or lift your heel fully off the ground
  - When touching the ground with the ball, do not place your weight on the ball



Forward bend in single-leg stance

### 7 - Figures of eight in single-leg stance

- **Starting position:** As in exercise 5, face your partner at a distance of 3m, each of you standing on your right legs.
- **Action:** As in exercise 5. Before throwing back, swing the ball in a figure of eight through and around both legs, first around your supporting leg with your upper body leaning forward and then around the other leg while standing as upright as possible. Perform 10 times on the right leg, then 10 times on the left leg.
- **Important:**
  - When viewed from the front, the hip, knee and foot of your supporting leg should be in a straight line
  - Keep your pelvis horizontal and do not let it tilt to the side
  - Keep your hips and the knee of your supporting leg slightly bent throughout
  - Do not let your knee buckle inwards
  - Keep weight only on the ball of your foot, or lift your heel fully off the ground
  - Your upper body should move up and down substantially during this exercise



Figures of eight in single-leg stance

### 8 - Jumps over a line

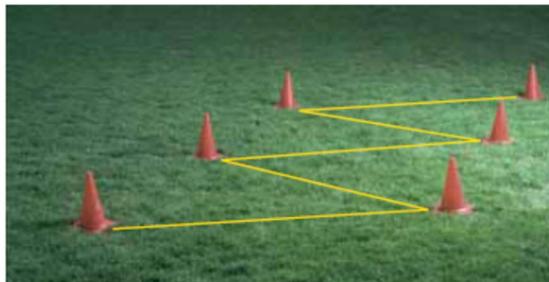
- **Starting position:** Stand on both feet hip-width apart, about 20cm to the side of a line. Bend your knees and hips slightly so the upper body leans a little forward. When viewed from the front, your hip, knee and foot should be in a straight line. Arms are slightly bent and close to the body.
- **Action:** Jump with both feet, sideways over the line and back as quickly as possible. Land softly on the balls of both feet with slightly bent knees. Jump 10 times side to side, then 10 times forwards and backwards over the line.
- **Important:**
  - When viewed from the front, your hips, knees and feet should form two parallel lines
  - Keep your hips and knees slightly bent throughout
  - Never let your knees meet and do not let them buckle inwards
  - Push off both feet and land on the balls of both feet
  - Land softly with your knees bent to cushion impact
  - Never land with extended knees or on your heels
  - A soft landing and quick take-off are more important than the height of the jump



Jumps over a line

### 9 - Zigzag shuffle

- **Starting position:** Stand at the start of the zigzag course (6 marks set 10 x 20 m), legs shoulder-width apart. Bend your knees and hips so your upper body leans substantially forward. One of your shoulders should point in the direction of movement.
- **Action:** Shuffle sideways to the first mark, turn so that the other shoulder points to the next mark and complete the zigzag course as fast as possible. Always take-off and land on the balls of your feet. Complete the course twice.
- **Important:**
  - Always keep your upper body leaning forward with your back straight
  - Keep your hips and knees substantially bent
  - Push off and land on the balls of both feet
  - Land softly with your knees bent to cushion impact
  - Keep knees 'soft' throughout and do not let them buckle inwards
  - Never land with extended knees or on your heels



Zigzag shuffle

### 10 - Bounding

- **Starting position:** Stand on your take-off leg with your upper body upright. The arm of the same side is in front of the body. When viewed from the front, the hip, knee and foot of the take-off leg should be in a straight line.
- **Action:** Spring as high and far as possible off your supporting leg. Bring the knee of your trailing leg up as high as possible and the opposite arm bent in front of the body when bounding. Land softly on the ball of the foot with a slightly bent knee. Cover 30m twice.

#### **Important:**

- When viewed from the front, the hip, knee and foot of your take-off leg should be in a straight line
- Bring your trailing leg and the opposite arm up in the front of your body when bounding
- Land on the ball of your foot and with your knee bent to cushion impact
- Do not let your knee buckle inwards during take-off or landing
- Never land with extended knees or on your heels

### 11 - Fair play

Knowing that a substantial amount of football injuries are caused by foul play, the observance of the Laws of the Game and especially fair play are essential for the prevention of football injuries.

- **Important:** Play fair!



Bounding

## ANNEXE IX : Programme de prévention des blessures FIFA « The 11+ ».

### “The 11+” – a complete warm-up programme

#### Background

“The 11+” is the advanced version of “The 11”, integrating the basic characteristics of the “PEP” with the aim of providing a complete warm-up package for football players and teams. The programme is the result of cooperation between F-MARC, the Oslo Sports Trauma Research Center and the Santa Monica Orthopaedic and Sports Medicine Research Foundation. In a scientific study it was shown that female youth football teams using “The 11+” as a standard warm-up had a significantly lower risk of injuries than teams that warmed up as usual.

#### Description of “The 11+”

“The 11+” has three parts:

**Part I:** running exercises at a slow speed combined with active stretching and controlled partner contacts;

**Part II:** six sets of exercises, focusing on core and leg strength, balance, and plyometrics/agility, each with three levels of increasing difficulty; and

**Part III:** running exercises at moderate/high speed combined with planting/cutting movements. A key point in the programme is to use the proper technique during all of the exercises. Pay full attention to correct posture and good body control, including straight leg alignment, knee-over-toe position and soft landings. “The 11+” should be completed, as a standard warm-up, at least two to three times a week and should take approximately 20 minutes to complete.

### PART 1: Running exercises (8 minutes)

The course is made up of six to ten pairs of parallel cones, approximately 5-6m apart. Two players start at the same time from the first pair of cones, jog along the inside of the cones and do the various exercises on the way. After the last cone they run back along the outside. On the way back, speed can be increased progressively as players warm up.

#### 1 - Straight ahead (2 sets)

Jog straight to the last cone. Make sure you keep your upper body straight. Your hip, knee and foot are aligned. Do not let your knee buckle inwards. Run slightly more quickly on the way back.



Straight ahead

#### 2 - Hip out (2 sets)

Jog to the first cone, stop and lift your knee forwards. Rotate your knee to the side and put your foot down. At the next cone, repeat the exercise on the other leg. Repeat until you reach the other side of the pitch.



Hip out

### 3 - Hip in (2 sets)

Jog to the first cone, stop and lift your knee to the side. Rotate your knee forwards and put your foot down. At the next cone, repeat the exercise on the other leg. Repeat until you reach the other side of the pitch.



Hip in

### 4 - Circling partner (2 sets)

Jog to the first cone. Shuffle sideways towards your partner, shuffle an entire circle around one other (without changing the direction you are looking in) and then shuffle back to the first cone. Repeat until you reach the other side of the pitch.



Circling partner

### 5 - Jumping with shoulder contact (2 sets)

Jog to the first cone. Shuffle sideways towards your partner. In the middle, jump sideways towards each other to make shoulder-to-shoulder contact. Land on both feet with your hips and knees bent. Shuffle back to the first cone. Repeat until you reach the other side of the pitch.



Jumping with shoulder contact

### 6 - Quick forwards and backwards (2 sets)

Run quickly to the second cone then run backwards quickly to the first cone, keeping your hips and knees slightly bent. Repeat, running two cones forwards and one cone backwards until you reach the other side of the pitch.



Quick forwards and backwards

## PART 2: Strength - Plyometrics - Balance (10 minutes)

### 7 - The bench

#### Level 1: Static (3 sets)

- **Starting position:** Lie on your front, support your upper body with your forearms. Elbows directly under your shoulders.
- **Exercise:** Lift upper body, pelvis and legs up until your body is in a straight line from head to foot. Pull in stomach and gluteal muscles and hold the position for 20-30 sec.
- **Important:** Do not sway or arch your back. Do not move your hips upwards.



Static

#### Level 2: Alternate legs (3 sets)

- **Starting position:** Lie on your front, support your upper body with your forearms. Elbows directly under your shoulders.
- **Exercise:** Lift your upper body, pelvis and legs up until your body is in a straight line from head to foot. Pull in your stomach and gluteal muscles. Lift each leg in turn, holding for a count of 2 sec. Continue for 40-60 sec.
- **Important:** Do not sway or arch your back. Do not move your hips upwards. Keep your pelvis stable and do not let it tilt to the side.



Alternate legs

#### Level 3: One leg lift and hold (3 sets)

- **Starting position:** Lie on your front, support your upper body with your forearms. Elbows directly under your shoulders.
- **Exercise:** Lift your upper body, pelvis and legs up until your body is in a straight line. Pull in your stomach and gluteal muscles. Lift one leg about 10-15cm off the ground and hold the position for 20-30 sec.
- **Important:** Do not sway or arch your back. Do not move your hips upwards. Keep pelvis stable and do not let it tilt to the side.

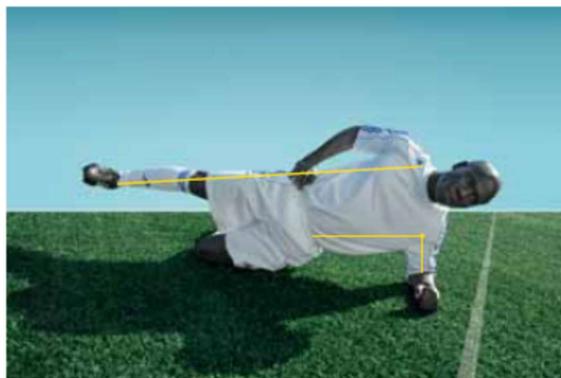


One leg lift and hold

## 8 - Sideways bench

*Level 1: Static (3 sets on each side)*

- **Starting position:** Lie on your side with the knee of the lowermost leg bent to 90 degrees, support yourself on your forearm and lowermost leg. Elbow of your supporting arm directly under your shoulder.
- **Exercise:** Lift your pelvis and uppermost leg until they form a straight line with your shoulder and hold the position for 20-30 sec. Repeat on the other side.
- **Important:** Keep your pelvis stable and do not let it tilt downwards. Do not tilt your shoulders, pelvis or leg forwards or backwards.



Static

*Level 2: Raise and lower hip (3 sets on each side)*

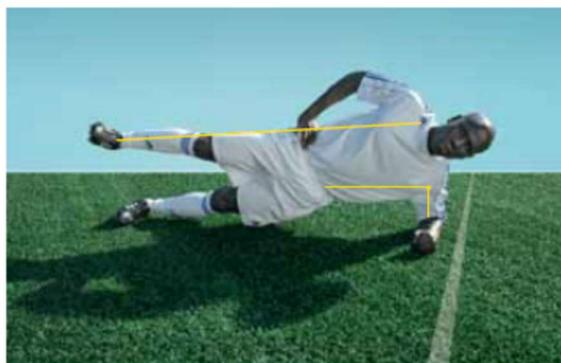
- **Starting position:** Lie on your side with both legs straight, support yourself on forearm. Elbow of your supporting arm directly under shoulder.
- **Exercise:** Raise your pelvis and legs until your body forms a straight line from the uppermost shoulder to the uppermost foot. Lower your hips to the ground and raise them back up again. Continue for 20-30 sec. Repeat on the other side.
- **Important:** Do not tilt your shoulders or pelvis forwards or backwards. Do not rest head on your shoulder.



Raise and lower hip

*Level 3: With leg lift (3 sets on each side)*

- **Starting position:** Lie on your side with both legs straight, support yourself on your forearm and lower leg. Elbow of your supporting arm directly under shoulder.
- **Exercise:** Raise your pelvis and legs until your body forms a straight line from the uppermost shoulder to the uppermost foot. Lift your uppermost leg up and slowly lower it down again. Continue for 20-30 sec. Repeat on the other side.
- **Important:** Keep your pelvis stable and do not let it tilt downwards. Do not tilt your shoulders or pelvis forwards or backwards.



With leg lift

## 9 - Hamstrings

### Level 1: Beginner (1 set)

- **Starting position:** Kneel with your knees hip-width apart; partner pins your ankles firmly to the ground with both hands.
- **Exercise:** Slowly lean forward, while keeping your body straight from the head to the knees. When you can no longer hold the position, gently take your weight on your hands, falling into a press-up position. 3-5 repetitions.
- **Important:** Do the exercise slowly at first, but once you feel more comfortable, speed it up.



Hamstrings

### Level 2: Intermediate (1 set)

- **Starting position and exercise:** as described for level 1. Minimum 7-10 repetitions

### Level 3: Advanced (1 set)

- **Starting position and exercise:** as described for level 1. Minimum of 12-15 repetitions.

## 10 - Single-leg stance

### Level 1: Hold the ball (2 sets on each leg)

- **Starting position:** Stand on one leg, knee and hip slightly bent and hold the ball in both hands.
- **Exercise:** Hold your balance and keep your body weight on the ball of your foot. Hold for 30 sec., and repeat on the other leg. Exercise can be made more difficult by lifting the heel from the ground slightly or passing the ball around your waist and/or under your other knee.
- **Important:** Do not let your knee buckle inwards. Keep your pelvis horizontal and do not let it tilt to the side.



Hold the ball

### Level 2: Throwing ball with partner (2 sets on each leg)

- **Starting position:** Stand on one leg, face a partner at a distance of 2-3m.
- **Exercise:** Keep your balance while you throw the ball to one another. Hold in your stomach and keep weight on the ball of your foot. Continue for 30 sec. and repeat on the other leg. Exercise can be made more difficult by lifting the heel from the ground slightly.
- **Important:** Do not let your knee buckle inwards. Keep your pelvis horizontal and do not let it tilt to the side.



Throwing ball with partner

*Level 3: Test your partner (2 sets on each leg)*

- **Starting position:** Stand on one leg, at arm's length from your partner.
- **Exercise:** Keep your balance while you and your partner in turn try to push the other off balance in different directions. Continue for 30 sec. and repeat on the other leg.
- **Important:** Do not let your knee buckle inwards. Keep your pelvis horizontal and do not let it tilt to the side.



Test your partner

## 11 - Squats

*Level 1: With toe raise (2 sets)*

- **Starting position:** Stand with your feet hip-width apart, hands on your hips.
- **Exercise:** Slowly bend your hips, knees and ankles until your knees are flexed to 90 degrees. Lean your upper body forwards. Then straighten your upper body, hips and knees and stand up on your toes. Then slowly lower down again, and straighten up slightly more quickly. Repeat for 30 sec.
- **Important:** Do not let your knee buckle inwards. Lean your upper body forwards with a straight back.



With toe raise

*Level 2: Walking lunges (2 sets)*

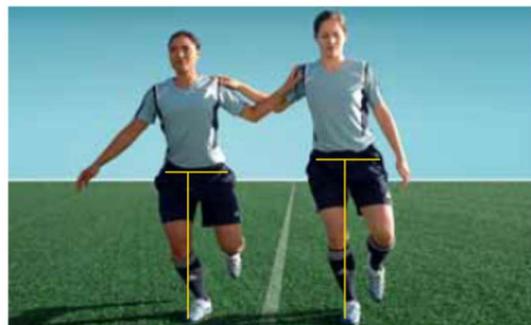
- **Starting position:** Stand with your feet hip-wide apart, hands on your hips.
- **Exercise:** Lunge forward slowly at an even pace. Bend your hips and knees slowly until your leading knee is flexed to 90 degrees. The bent knee should not extend beyond the toes. 10 lunges on each leg.
- **Important:** Do not let your knee buckle inwards. Keep your upper body straight and pelvis horizontal.



Walking lunges

*Level 3: One-leg squats (2 sets on each leg)*

- **Starting position:** Stand on one leg, loosely hold on to your partner.
- **Exercise:** Slowly bend your knee, if possible until it is flexed to 90 degrees, and straighten up again. Bend slowly then straighten slightly more quickly. Repeat on the other leg. 10 squats on each leg.
- **Important:** Do not let your knee buckle inwards. Keep your upper body facing forward and pelvis horizontal.



One-leg squats

## 12 - Jumping

### *Level 1: Vertical jumps (2 sets)*

- **Starting position:** Stand with your feet hip-width apart, hands on your hips.
- **Exercise:** Slowly bend your hips, knees and ankles until your knees are flexed to 90 degrees. Lean your upper body forwards. Hold this position for 1 sec. then jump as high as you can, and straighten your whole body. Land softly on the balls of your feet. Repeat for 30 sec.
- **Important:** Jump off both feet. Land gently on the balls of both feet with your knees bent.



Vertical jumps

### *Level 2: Lateral jumps (2 sets)*

- **Starting position:** Stand on one leg. Bend your hips, knee and ankle slightly and lean your upper body forwards.
- **Exercise:** Jump from your supporting leg approx. 1m to the side onto the other leg. Land gently on the ball of your foot and bend your hips, knee and ankle. Hold this position for about a second and then jump on the other leg. Repeat for 30 sec.
- **Important:** Do not let your knee buckle inwards. Keep your upper body stable and facing forward and your pelvis horizontal.



Lateral jumps

### *Level 3: Box jumps (2 sets)*

- **Starting position:** Stand with your feet hip-width apart, imagine a cross you are standing in the middle of.
- **Exercise:** Jump with both legs forwards and backwards, from side to side, and diagonally across the cross. Keep your upper body slightly leaned forwards. Jump as quickly and explosively as possible. Repeat for 30 sec.
- **Important:** Land softly on the balls of both feet. Bend your hips, knees and ankles on landing. Do not let your knee buckle inwards.



Box jumps

## PART 3: Running exercises (2 minutes)

### 13 - Across the pitch (2 sets)

Run approx 40m across the pitch at 75-80% of maximum pace and then jog the rest of the way. Keep your upper body straight. Your hip, knee and foot are aligned. Do not let your knees buckle inwards. Jog easily back.



Across the pitch

### 14 - Bounding (2 sets)

Take a few warm-up steps then take 6-8 high bounding steps with a high knee lift and then jog the rest of the way. Lift the knee of the leading leg as high as possible and swing the opposite arm across the body. Keep your upper body straight. Land on the ball of the foot with the knee bent and spring. Do not let your knee buckle inwards. Jog back easily to recover.



Bounding

### 15 - Plant & cut (2 sets)

Jog 4-5 steps straight ahead. Then plant on the right leg and cut to change direction to the left and accelerate again. Sprint 5-7 steps (80-90% of maximum) before you decelerate and plant on the left foot and cut to change direction to the right. Do not let your knee buckle inwards. Repeat the exercise until you reach the other side of the pitch, then jog back.



Plant & cut

**Prévention des blessures du quadriceps : une revue systématique.**

**Introduction :** Les blessures musculaires sont très fréquentes chez les sportifs. Bien que les lésions des ischio-jambiers et des adducteurs soient plus nombreuses, celles du quadriceps génèrent des absences plus longues et un taux de récurrence élevé. L'objectif de cette revue systématique de littérature est de proposer des éléments de prévention des lésions musculaires du quadriceps, avec une attention particulière sur le droit fémoral. Elle identifie les sports potentiellement concernés et les éléments qui favorisent une blessure musculaire du quadriceps. **Matériel et Méthodes :** La recherche bibliographique a été effectuée dans les bases de données PubMed, PEDro, la Cochrane Library, mais aussi Science Direct et EM Consulte. La période de recherche porte sur les dix dernières années. **Résultats :** Sur un total d'environ 3 500 articles, seuls cinq articles ont été retenus dans cette revue systématique. Il y a un manque évident d'études sur les modalités de traitement et de prévention des blessures musculaires du quadriceps et en particulier du droit fémoral. Les résultats concernent les programmes de prévention, le renforcement excentrique, le gainage et l'extensibilité musculaire. **Discussion et conclusion :** Le football est le sport où survient le plus de blessures musculaires du quadriceps. De nombreux facteurs de risque sont identifiés. Afin de prévenir une lésion musculaire du quadriceps et notamment du droit fémoral, les exercices physiques, ayant pour objectif d'adapter l'architecture musculaire aux contraintes exercées par le sport pratiqué, sont à privilégier. Un programme de prévention est plus efficace qu'un exercice isolé pour éviter les blessures musculaires du quadriceps dans les sports de sprints et de coups de pied, en particulier le football. Le programme comprend une première partie d'échauffement et de pré-conditionnement. La seconde partie concerne le renforcement excentrique du quadriceps, ou plus précisément du droit fémoral. Le gainage du tronc et l'extensibilité musculo-tendineuse du quadriceps et de son environnement sont importants à associer.

**Mots clés :** blessure musculaire ; droit fémoral ; quadriceps ; prévention.

**Prevention of quadriceps injuries : a systematic review.**

**Background :** Muscle injuries are very common in athletes. Although hamstring and adductor injuries are more common, quadriceps injuries result in longer absences and a high recurrence rate. This systematic review of the literature aims to propose elements for the prevention of quadriceps muscle injuries, with a particular focus on the rectus femoris. It identifies the sports potentially concerned and the elements that favor a quadriceps muscle injury. **Methods :** The literature search was carried out in the databases PubMed, PEDro, the Cochrane Library, but also Science Direct and EM Consulte. The search period was last ten years. **Results :** Out of a total of approximately 3,500 articles, only five articles were included in this systematic review. There is a clear lack of studies on treatment and prevention modalities for quadriceps muscle injuries and in particular for the rectus femoris. The results relate to prevention programs, eccentric strengthening, core strengthening and muscle extensibility. **Discussion and conclusion :** Football is the sport where the most quadriceps muscle injuries occur. Many risk factors have been identified. To prevent a muscular injury of the quadriceps and in particular of the rectus femoris, physical exercises aimed at adapting the muscular architecture to the constraints exerted by the sport practiced are to be favored. A preventive program is more effective than isolated exercise in preventing quadriceps muscle injuries in sprinting and kicking sports, particularly football. The program consists of a warm-up and pre-conditioning part. The second part concerns the eccentric strengthening of the quadriceps, or more precisely the rectus femoris. The core and trunk strengthening, the musculotendinous extensibility of the quadriceps and its environment are important to combine.

**Keywords :** muscular injury ; rectus femoris ; quadriceps ; prevention.