

UFR Staps

Sciences & techniques
des activités physiques
et sportives

MASTER 2
ENTRAINEMENT ET OPTIMISATION
DE LA PERFORMANCE SPORTIVE

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020-2021

**Effet d'un protocole de réhabilitation
individualisé, multifactoriel et algorithmique
sur la réduction du risque de récurrence de
lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers
chez le footballeur de haut niveau blessé**

Présenté par : BIRON Romain

Lieu de stage : Vendée les Herbiers Football

Enseignant.e : LE-SANT Guillaume

www.univ-nantes.fr/staps



UNIVERSITÉ DE NANTES


Attestation

Je soussigné Romain Biron, étudiant en Master 2 à l'Université de Nantes certifie que ce mémoire est strictement le résultat de mon travail personnel.

Il respecte en tous points la charte anti-plagiat de l'Université de Nantes que j'ai rendue signée au moment du dépôt de ma convention de stage. Tout manquement à cette charte entrainerait immédiatement la note de 0.

De plus je certifie que les résultats présentés sont issus d'expérimentations que j'ai personnellement réalisées. Je tiens à la disposition du jury l'ensemble des résultats bruts et traités pour vérification. En cas de demande de la part du jury, la non présentation de ces données entrainerait immédiatement la note de 0.

Fait à Nantes, le 31 mai 2021

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

Remerciements

En premier lieu, j'aimerais remercier mon directeur de mémoire pour son aide à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Je souhaiterais aussi remercier Steph, Benji et Mika pour l'opportunité, l'expérience et les connaissances apportées au cours de ce stage riche en émotions et en thé.

Par la même occasion, je remercie l'ensemble des joueurs du groupe N2 du VHF pour l'accueil et la confiance qu'ils m'ont accordée.

Egalement, je remercie Gaëtan pour ces deux stages qui ont grandement contribué à ma formation professionnelle.

Enfin, je voudrais remercier ma famille et mes amis pour leur soutien pendant ces cinq années d'études qui s'achèvent.

1	Introduction.....	1
2	Revue de Littérature.....	1
2.1	Épidémiologie de la blessure du footballeur de haut niveau.....	1
2.2	La blessure musculaire des ischio-jambiers : de quoi parlons-nous ?.....	2
2.3	Analyse microscopique de la lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers.....	3
2.3.1	Anatomie des ischio-jambiers.....	3
2.3.2	Tissu myo-aponévrotique.....	4
2.3.3	La lésion myo-aponévrotique.....	5
2.4	Analyse macroscopique de la lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers chez le footballeur.....	6
2.4.1	Biomécanique des ischio-jambiers.....	6
2.4.2	Mécanisme lésionnel des ischio-jambiers.....	7
2.4.3	Facteurs de risques de lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers.....	8
2.5	Réhabilitation de la lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers.....	9
2.5.1	La régénération myo-aponévrotique.....	9
2.5.2	Réhabilitation, rééducation et réathlétisation.....	10
3	Objectifs et hypothèses.....	14
4	Matériel et Méthode.....	14
4.1	Population.....	14
4.2	Protocole d'évaluation.....	15
4.2.1	Installation.....	16
4.2.2	Recueil des données.....	16
4.2.3	Traitement des données au sein de l'application.....	17
4.3	Protocole d'intervention.....	18
4.3.1	Réhabilitation individualisée, multifactorielle et algorithmique.....	18
4.3.2	Application du protocole auprès du joueur blessé.....	21
4.4	Analyse statistique.....	22
5	Résultats.....	22
6	Discussion.....	23
6.1	Analyse des résultats.....	23
6.1.1	Analyse qualitative des résultats.....	23
6.1.2	Limites méthodologiques.....	24
6.1.3	Conditions expérimentales.....	25
6.2	Retour sur le protocole d'intervention.....	26
6.2.1	Spécificité des exercices proposés & retour au sport.....	26
6.2.2	Charge d'entraînement conséquente.....	27
6.2.3	Prise en compte des facteurs psycho-sociaux.....	28
6.3	Discussion concernant l'étude initiale.....	28
6.4	Implications pratiques et professionnelles.....	29
7	Conclusion.....	29

Bibliographie

Table des annexes

Résumé

Liste des abréviations

VHF : Vendée les Herbiers Football

N2 : Championnat de France de National 2

UEFA : Union des associations européennes de football

IJ : Ischio-jambiers

LMA : Lésion Myo-Aponévrotique

DOMS : Delayed Onset Muscle Soreness (Douleurs musculaires d'apparition retardée)

BF : Biceps Femoris

BF_{lp} : Longue portion du Biceps Femoris

BF_{cp} : Courte portion du Biceps Femoris

ST : Semitendinosus

SM : Semimembranosus

MEC : Matrice Extracellulaire

JMA : Jonction Myo-Aponévrotique

RTS : Return To Sport (Retour au sport)

RTP : Return To Performance (Retour à la performance)

POLICE : Protection, Optimal Loading (Mise en charge optimale), Ice (Glace), Compression, Élévation

RICE : Rest (Repos), Ice (Glace), Compression, Élévation

NHE : Nordic Hamstring Exercise

CAP : Course à pied

NBPA : Nordic Break-Point (angle de rupture) Angle

1 Introduction

Le travail présenté fait l'objet d'un mémoire de fin d'études en double cursus de masso-kinésithérapie et de Master 2 « Entraînement et Optimisation de la Performance Sportive » respectivement réalisés au sein de l'IFM3R de Saint-Sébastien-sur-Loire et à l'UFR STAPS de Nantes. Au cours de cette ultime année d'études, nous avons réalisé un stage professionnel au sein du club du Vendée les Herbiers Football (VHF) avec le staff de l'équipe sénior évoluant dans le championnat français de National 2 (N2). Ce championnat, considéré comme « amateur » par la Fédération Française de Football, est composé d'équipes dont les footballeurs sont des sportifs de haut niveau et professionnels de par leur activité unique dédiée au football. À l'instar des clubs évoluant dans les championnats professionnels, le staff du VHF est confronté à une importante incidence de blessures au sein de son effectif tout au long des saisons. En effet, le football de haut niveau est un sport où les blessures sont très fréquentes malgré les nombreux moyens mis en place par les clubs pour maintenir leurs joueurs à un niveau de performance optimal (Ekstrand et al., 2021). La lésion myo-aponévrotique (LMA) des ischio-jambiers (IJ) est la blessure la plus rencontrée par les footballeurs de haut niveau au cours de leur carrière mais aussi celle la plus à risque de récidiver. Cette blessure complexe se révèle aujourd'hui comme un facteur limitant de la performance d'une équipe de football de haut niveau de par son incidence et son taux de récurrence élevé.

Notre cursus et notre intérêt pour la masso-kinésithérapie nous a amené à axer nos questionnements d'un point de vue de la blessure et de la réhabilitation du footballeur : En quoi consiste cette blessure ? Pourquoi est-elle spécifique au football ? Quelles sont les conduites à tenir pendant la réhabilitation afin de réduire le risque de récurrence de LMA aux IJ chez le footballeur de haut niveau et ainsi permettre un retour à la performance de ce dernier ? Nous essayerons, en premier lieu, d'apporter un éclairage par l'intermédiaire d'une revue de littérature. À l'issue de cette dernière, nous présenterons le travail mis en place pendant le stage avec l'équipe du VHF. L'objectif de ce mémoire est de déterminer l'effet d'un protocole de réhabilitation individualisé, multifactoriel et algorithmique de Mendiguchia et al. (2017) sur la force excentrique des IJ et, par conséquent, sur le risque de récurrence de LMA des IJ chez le footballeur de haut niveau.

2 Revue de Littérature

2.1 Épidémiologie de la blessure du footballeur de haut niveau

Le football est le sport comptant le plus grand nombre de licenciés en France (Mignon, 2015). Ce sport très populaire recense chaque année un grand nombre de blessés dans sa composante professionnelle. En effet, il a été montré qu'une équipe de football professionnelle de 25 joueurs doit s'attendre à une moyenne de 40 à 50 blessures par saison (Ekstrand et al., 2011). Une récente étude

prospective de près de 18 ans expose un taux moyen d'incidence de blessure de 6,6 blessures pour 1000 heures d'exposition au sein des clubs de l'Union des Associations Européennes de football (UEFA) (Ekstrand et al., 2021). L'incidence lors des matchs est 7 à 10 fois supérieure à celle lors des temps d'entraînement (López-Valenciano et al., 2020). Les blessures des membres inférieurs sont, de loin, les plus fréquentes dans le football de haut niveau et plus particulièrement les blessures de la cuisse qui représentent 31,7% de l'ensemble des blessures selon Jones et al. (2019). Près de la moitié des blessures sont des atteintes du tissu musculo-tendineux. La blessure typique du footballeur est l'atteinte du groupe musculaire des IJ qui représente à elle-seule près de 40% des blessures musculaires et 16% de toutes les blessures dans le monde du football professionnel (Jones et al., 2019). Cette incidence s'explique aussi par un taux de récurrence important de 16% qui serait presque deux fois supérieur par rapport aux autres blessures rencontrées par les footballeurs professionnels (Ekstrand et al., 2011; Liu et al., 2012). La blessure musculaire des IJ est la seule blessure n'ayant pas vu son incidence diminuer depuis le début du 21^{ème} siècle chez les footballeurs professionnels (Ekstrand et al., 2021). En effet, entre 2001 et 2021 le taux d'incidence des blessures aux IJ est resté stable voire a augmenté de 4% entre 2001 et 2014 (Ekstrand et al., 2016).

Les données épidémiologiques des blessures chez les footballeurs de haut niveau montrent donc la nécessité de trouver des solutions afin de réduire l'impact sportif pour l'athlète et le staff mais aussi l'impact économique pour le club (Ekstrand, 2013). La diminution de l'incidence des blessures musculaires et en particulier celles des IJ apparaît donc aujourd'hui comme le défi à relever pour les clubs de football professionnels. Afin de mieux comprendre les enjeux de cette blessure nous allons expliquer en quoi consiste la blessure musculaire aux IJ.

2.2 La blessure musculaire des ischio-jambiers : de quoi parlons-nous ?

Les nombreuses classifications des blessures musculaires sont le témoin de la complexité d'évaluer la gravité de la blessure musculaire. Le consensus de Munich de 2013 permet de classer les différentes atteintes musculaires en fonction du mécanisme lésionnel, de la localisation, des signes cliniques et de l'imagerie (Mueller-Wohlfahrt et al., 2013). Cette classification (*Annexe 1*) expose les deux grandes modalités d'atteinte du tissu musculaire chez une population sportive : la blessure musculaire intrinsèque ou indirecte avec ses différents stades de gravité et la blessure musculaire extrinsèque ou directe comprenant la contusion et la lacération musculaire. Parmi ces modalités, les atteintes musculaires intrinsèques et la contusion sont les plus fréquentes dans le monde du football professionnel (Ekstrand et al., 2011). Ces deux atteintes sont des blessures dites « fermées » c'est-à-dire sans ouvertures cutanées.

Tout d'abord, la contusion musculaire constitue une atteinte extrinsèque du tissu musculaire par écrasement entre l'os sous-jacent et un corps externe. La contusion communément appelée

« béquille » dans le monde du sport peut fréquemment provoquer un hématome et un saignement au sein du tissu musculaire (Beiner & Jokl, 2001; Kary, 2010).

Ensuite, la blessure musculaire intrinsèque comprend :

- Les atteintes dites « fonctionnelles » (type 1 et 2) comme les DOMS pour « Delayed Onset Muscle Soreness » (Hotfiel et al., 2018) (douleurs musculaires d'apparition retardée) et les atteintes de « surcharge ».
- Les atteintes dites « structurelles » (type 3 et 4) comme les LMA pour « lésion myo-aponévrotique » et les ruptures myo-tendineuses partielles et totales.

Ekstrand et al. (2013) ont mis en relation la classification de Munich et les différents types de blessures musculaires retrouvées chez une population de footballeurs de haut niveau. On remarque alors que les atteintes « structurelles » telles que les LMA « mineures » (type 3A) et « modérées » (type 3B) concernent près de 64% de l'ensemble des atteintes musculaires des IJ chez les footballeurs professionnels. Ces blessures musculaires des IJ et plus particulièrement du biceps femoris (BF) dites « partielles » (Ekstrand et al., 2013) constituent la blessure la plus fréquente chez le footballeur professionnel (De Smet & Best, 2000). Elles entraînent une absence d'environ 17 à 35 jours pour le joueur (Ekstrand et al., 2016).

De plus, les LMA mineures et modérées des IJ constituent les blessures les plus récidivantes (De Visser et al., 2012). Le délai d'absence du joueur est d'ailleurs supérieur lorsqu'il s'agit d'une récurrence (Ekstrand et al., 2011).

Réduire l'incidence des LMA partielles des IJ, qu'elles soient primaires mais surtout récidivantes, apparaît aujourd'hui comme la problématique majeure des staffs techniques et médicaux des clubs de football de hauts-niveaux.

La question qui se pose alors est la suivante : **comment expliquer l'incidence et le taux de récurrence aussi important des LMA des IJ chez les footballeurs de haut niveau ?** Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'analyser cette blessure d'un point de vue microscopique mais aussi macroscopique.

2.3 Analyse microscopique de la lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers

Tout d'abord, il est primordial de comprendre l'anatomie et les caractéristiques structurelles des IJ pour expliquer la LMA des IJ.

2.3.1 Anatomie des ischio-jambiers

Les ischio-jambiers constituent le groupe musculaire de la partie postérieure de la cuisse (Timmins et al., 2020) (figure 1). Leur anatomie et architecture est complexe et relativement variable en fonction des individus :

Le **BF** : ce muscle est constitué de deux chefs, la longue portion et la courte portion.

- La longue portion du biceps femoris (BF_{lp}) s'insère en proximal sur la tubérosité ischiatique de l'os pelvien (Sato et al., 2012). Il est constitué d'un tendon intra musculaire central (Brukner & Connell, 2016).
- La courte portion du biceps femoris (BF_{cp}) s'insère en proximal au niveau de la ligne âpre et de la crête supracondylaire latérale du fémur. En distal le BF_{lp} et le BF_{cp} forment un tendon commun qui s'insère sur la tête de la fibula (Strandring & Anand, 2016; Timmins et al., 2020).

Le **semitendinosus** (ST) présente, en proximal, un tendon commun avec le BF_{lp} (Philippon et al., 2015). En distal, l'insertion du ST sur la partie antéro-médio-proximale du tibia forme la région de la « patte d'oie » (Strandring & Anand, 2016).

Le **semimembranosus** (SM) s'insère sur la tubérosité ischiatique de l'os pelvien à la partie antérieure et latérale par rapport au tendon conjoint du BF_{lp} et du ST (Philippon et al., 2015; Storey et al., 2016). En distal, le SM présente un faisceau direct sur la partie postérieure du condyle tibial médial, un faisceau antérieur sur la partie médiale du condyle tibial médial et un faisceau latéral s'insérant sur le condyle fémoral postéro-latéral (LaPrade et al., 2007).

Il est parfois retrouvé un tendon proximal commun au BF_{lp}, ST et SM (Feucht et al., 2015). Retenons principalement que l'architecture musculo-tendineuse des IJ est complexe puisque la taille des tendons, l'angle de pennation et la longueur des faisceaux varie en fonction du muscle du groupe des IJ mais aussi en fonction des individus. Les fibres musculaires des IJ sont majoritairement rapides, de type II (Garrett et al., 1984).

2.3.2 Tissu myo-aponévrotique

Le tissu musculaire squelettique qui constitue les IJ est relié, à différentes échelles d'observation, au tissu conjonctif. D'un point de vue macroscopique on trouve tout d'abord le muscle relié au tendon et à l'épimysium puis le faisceau musculaire relié à son tour avec le péri-mysium et enfin la fibre musculaire avec l'endomysium (figure 2).

En effet, le muscle est constitué d'un squelette de tissu conjonctif, issu des tendons distaux et proximaux, permettant aux fibres musculaires de s'y attacher (Bonnel & Marc, 2009). On retrouve par exemple un « tendon » intra musculaire au sein du muscle BF_{lp} (Brukner & Connell, 2016). Cette architecture « myo-conjonctive » explique les différents angles de pennation et les différentes longueurs de faisceaux musculaires au sein d'un même muscle (Timmins et al., 2020). Ainsi, le tissu

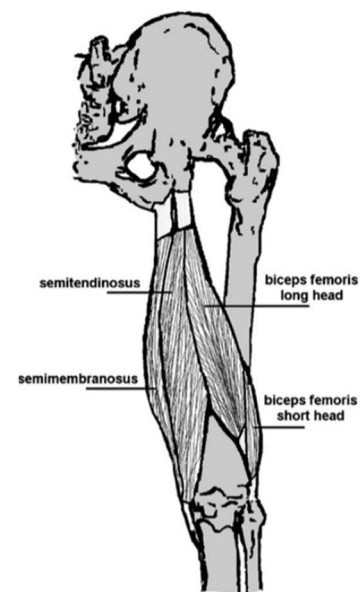


Figure 1 Anatomie des muscles ischio-jambiers adapté de Keading & Borchers (2014).

les complexes protéiques de liaison sont aussi les victimes du mécanisme lésionnel. La LMA constitue finalement un « décollement » entre le tissu conjonctif de soutien et le tissu musculaire provoquant alors :

- Une nécrose des fibres musculaires (Bayer & Järvinen, 2020).
- Un processus inflammatoire et catabolisant du tissu conjonctif. Il s'explique par une « décharge » brutale des forces de traction exercées par les fibres musculaires sur le tissu conjonctif adjacent (Bayer et al., 2014).
- Une destruction des protéines de liaison (Garrett et al., 1988; Tidball et al., 1993).

Les conséquences sur les fonctions vasculaires et nerveuses locales sont irrégulières. On peut parfois assister à la formation d'un hématome suite à la LMA indiquant l'altération de l'apport local en oxygène et en nutriments notamment responsable de l'atrophie musculaire (Koulouris & Connell, 2003). D'un point de vue neurologique, on assiste à une diminution de la capacité d'activation musculaire et plus particulièrement en course musculaire longue (Sole et al., 2011).

2.4 Analyse macroscopique de la lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers chez le footballeur

Le décollement myo-aponévrotique constitue le mécanisme lésionnel de la LMA à l'échelle microscopique du muscle. Sur le terrain de football, quelles sont alors les causes de cette blessure expliquant l'incidence et le taux élevé de récurrence ?

2.4.1 Biomécanique des ischio-jambiers

Les IJ constituent un groupe musculaire complexe traversant, hormis le BFcp, les articulations de la hanche et du genou. Ces muscles poly-articulaires assurent des fonctions de flexion et de rotation du genou, d'extension de hanche et de rétroversion du bassin lors d'une contraction concentrique (Strandring & Anand, 2016; Timmins et al., 2020). Lors de l'activité de la course à pied et plus particulièrement de la course à haute intensité et du sprint, très fréquents lors d'un match de football (Tuo et al., 2019), les IJ jouent un rôle primordial dans la production de force horizontale permettant la propulsion de l'athlète vers l'avant (Morin et al., 2015). Tout d'abord, leur contraction concentrique lors de la phase d'appui, permet l'extension de hanche nécessaire à la poussée du membre inférieur contre le sol. Puis, lors de la phase oscillante, les IJ génèrent un haut niveau de force dans un

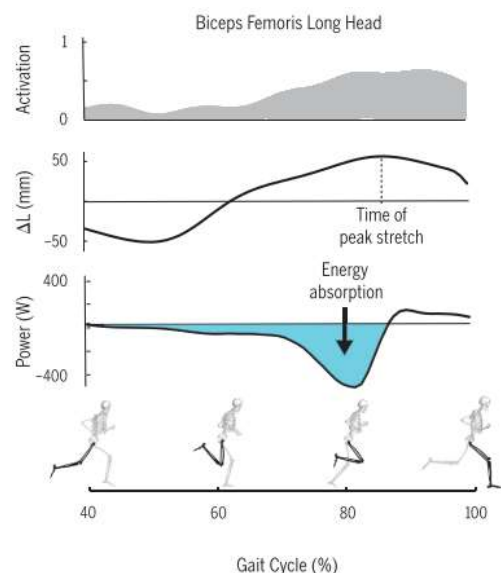


Figure 4 « Pendant la phase oscillante du sprint, les ischio-jambiers sont activés, étirés et absorbent l'énergie de décélération de la jambe oscillante créant les circonstances potentielles de la blessure en excentrique » adapté de Heiderscheit et al. (2010).

régime excentrique pour freiner le mouvement de flexion de hanche et d'extension de genou. Cette activation, particulièrement élevée en fin de phase oscillante, permet de préparer l'impact du pied au sol qui nécessite une force importante pour maintenir la vitesse de l'athlète lors de la course à pied (figure 4)(Morin et al., 2015). Parmi les trois muscles IJ, le BF est celui dont l'allongement est le plus important en fin de phase oscillante lors du sprint. Par conséquent, il est celui qui subit la charge excentrique la plus élevée expliquant en partie son atteinte majoritaire lors des blessures par rapport aux deux autres muscles (De Smet & Best, 2000; Thelen et al., 2005).

De ce fait, l'analyse de la biomécanique complexe des IJ lors de la course à haute intensité et surtout du sprint est nécessaire afin de comprendre le mécanisme lésionnel et les facteurs de risques de LMA aux IJ chez les footballeurs de haut niveau.

2.4.2 Mécanisme lésionnel des ischio-jambiers

Sur le terrain, il existe deux grands mécanismes lésionnels provoquant la LMA au sein du tissu musculaire des IJ (Danielsson et al., 2020). Le premier concerne la contraction excentrique et le second celui de l'hyper-étirement. Ce dernier correspond à l'étirement des IJ au-delà de leurs capacités d'allongement plastique dans une position extrême de flexion de hanche et d'extension de genou (Askling et al., 2007, 2008). Dans le football, il s'agit des situations de frappes de balles et plus particulièrement de la fin de la frappe de balle où le membre inférieur se retrouve dans la position d'étirement des IJ qui est parfois accentuée passivement par un adversaire lors d'un duel. Une étude suggère que ce mécanisme de blessure peut aussi être retrouvé dans la situation où le joueur, lancé dans un sprint, tend la jambe en avant pour atteindre ou intercepter le ballon au sol (Worth, 1969).

Le mécanisme lésionnel de la contraction excentrique intervient quant à lui lors de la course à haute intensité et surtout lors du sprint (Danielsson et al., 2020). En football ce mécanisme est beaucoup plus fréquent que celui de l'hyper-étirement (Woods et al., 2004). En effet, un footballeur de haut niveau effectue en moyenne 16 sprints par matchs pour une distance totale d'environ 200 mètres parcourue à une vitesse supérieure à 25km/h (Ingebrigtsen et al., 2014; Tuo et al., 2019). Ce mécanisme correspond aux derniers instants de la phase oscillante précédents le début de la phase de contact lors du cycle de la course à pied (Heiderscheit et al., 2005; Schache et al., 2009, 2010). A cet instant, on assiste à une augmentation importante du niveau de force excentrique des IJ par absorption de l'énergie cinétique du membre inférieur oscillant (Morin et al., 2015). La sollicitation des IJ lors du sprint est très importante puisqu'à vitesse maximale, la charge excentrique subie par les IJ est 50% plus élevée que pour une course à 80% de la vitesse maximale (Chumanov et al., 2007).

Ainsi, au football, le sprint sollicite les IJ du joueur à un niveau de contrainte excentrique très élevé. Ce niveau de contrainte multiplié par le nombre important de sprints effectués lors d'un match de football font de cette action, le mécanisme lésionnel majeur des IJ.

2.4.3 Facteurs de risques de lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers

Pour conclure cette analyse, il faut s'intéresser aux différents facteurs de risques de ce type de blessure. Une récente revue systématique a présenté un état des lieux de l'ensemble des facteurs de risques de blessure aux IJ dans le sport (Green et al., 2020). Parmi les facteurs de risques non-modifiables on retrouve en première place l'âge avancé de l'athlète. Ensuite, l'historique des blessures de l'athlète représente un facteur de risque conséquent. En effet, les antécédents de blessures musculaires récents (pendant la même saison) et anciens aux IJ concernent les deuxièmes et troisièmes facteurs de risques non-modifiables les plus importants. Enfin, on retrouve les antécédents de blessure au(x) genou(x) (rupture du ligament croisé antérieur) et de blessure musculaire au(x) mollet(s).

Ensuite, concernant les facteurs de risques modifiables, la qualité musculaire des IJ constitue un facteur de risque important de LMA (Pizzari et al., 2020). Tout d'abord, un faible niveau de force excentrique des IJ apparaît aujourd'hui comme le facteur de risque modifiable le plus influent et celui présentant le plus haut niveau de preuve. En effet, un faible niveau de force excentrique des IJ ne permet pas au joueur d'encaisser les contraintes biomécaniques importantes subies lors des nombreux sprints d'un match de football. On retrouve ensuite, à un niveau de preuve inférieur, les facteurs de risques suivants (Pizzari et al., 2020) :

- Faible niveau de force isométrique des IJ
- Faible endurance musculaire des IJ
- Faible longueur des faisceaux musculaires du BF1p

De plus, la charge d'entraînement semble jouer un rôle non négligeable sur le risque de LMA aux IJ. L'augmentation brutale de celle-ci et notamment des courses à haute intensité et des sprints constitue un facteur de risque majeur (Duhig et al., 2016; Ruddy et al., 2018). Par ailleurs, une sous-exposition à la compétition, et donc au sprint et à la course à haute intensité augmenterait aussi le risque de se blesser aux IJ pour le joueur (Moreno-Perez et al., 2021). Ainsi, implicitement, une sous-exposition des IJ à la charge excentrique est synonyme d'une augmentation du risque de LMA aux IJ lors des matchs où cette exposition y est conséquente.

Enfin, aucun consensus n'est établi concernant le risque de blessure en fonction du poste occupé sur le terrain par les joueurs de champ. Les gardiens de but sont quant-à-eux moins à risque de se blesser comparativement aux joueurs de champs (Della Villa et al., 2018). Les attaquants et les joueurs de couloir seraient potentiellement plus à risque de se blesser lors des matchs puisque ces joueurs sont ceux effectuant le plus de courses à haute intensité et de sprints (Andrzejewski et al., 2015). Cependant, des recherches complémentaires sont nécessaires pour éclaircir ce point.

La LMA des IJ est donc une blessure multifactorielle. Toutefois, certains facteurs de risques semblent plus influents que d'autre. En effet, la survenue d'une telle blessure chez un joueur de football,

entraîne une diminution du niveau de force des IJ qui peut perdurer 2 à 3 ans après la blessure (Charlton et al., 2018; Mendiguchia et al., 2014). Cette diminution de force provoque alors, à son tour, une augmentation du risque de LMA aux IJ due à une incapacité de subvenir à la contrainte biomécanique demandée par le sprint. Ainsi, ce cercle vicieux permet de comprendre, en partie, le fort taux de récurrence des LMA aux IJ.

Finalement, si l'on devait tracer le portrait d'un footballeur présentant un risque élevé de LMA aux IJ ce serait celui d'un footballeur en **fin de carrière** présentant de **nombreux antécédents de blessures aux IJ** avec un **faible niveau de force excentrique des IJ** et évoluant à un poste exposé à beaucoup de **courses à haute intensité et de sprints** comme les joueurs de couloirs (latéraux et ailiers) ou les attaquants.

2.5 Réhabilitation de la lésion myo-aponévrotique des ischio-jambiers

Suite à ce constat concernant la LMA aux IJ du footballeur, on peut désormais se demander quelles sont les pistes pour optimiser la régénération myo-aponévrotique des IJ et par conséquent permettre un retour à la performance du footballeur et une réduction du risque de récurrence.

2.5.1 La régénération myo-aponévrotique

Le processus de régénération qui fait suite à la LMA concerne à la fois le tissu musculaire, le tissu conjonctif et les complexes protéiques de liaison afin de permettre un recollement de la jonction myo-aponévrotique (JMA).

Tout d'abord, concernant le tissu musculaire, les fibres musculaires sont composées de cellules satellites présentes sur la membrane plasmique (Mackey & Kjaer, 2017; Mauro, 1961). « Ces cellules satellites sont considérées comme précurseuses de la myogenèse » (Bayer & Järvinen, 2020). Les premières heures qui suivent la LMA correspondent à l'entrée dans la myogenèse, le cycle cellulaire de régénération musculaire (*Annexe 2*). En parallèle, on assiste à la migration de cellules immunitaires telles que les macrophages responsables du traitement des cellules nécrosées. Ce cycle est composé d'une première étape d'activation des cellules satellites par l'intermédiaire de marqueurs et de signaux de dommages musculaires comme MyoD, la desmine et la myogénine (Yin et al., 2013). Puis d'une deuxième étape de prolifération cellulaire où la cellule satellite se divise en nombre important et passe à l'état de myoblaste. Enfin, une troisième phase de différenciation cellulaire permet la transformation et la fusion des myoblastes en myotubes afin de former une nouvelle fibre musculaire (Mackey & Kjaer, 2017; Yin et al., 2013). Plusieurs études ont montré que la présence d'« une membrane basale saine permettrait de guider et d'orienter la cellule satellite lors de son cycle de régénération cellulaire » (Bayer & Järvinen, 2020) vers son site d'attache aponévrotique (Caldwell et al., 1990; Mackey & Kjaer, 2017). En effet, l'absence de tissu extra cellulaire de soutien entraînerait la formation d'un tissu cicatriciel musculo-conjonctif anarchique et non fonctionnel (Järvinen et al.,

2005). Le tissu musculaire est donc doté d'un important potentiel de régénération intimement lié au tissu conjonctif avoisinant.

Ensuite, « le tissu conjonctif présente quant à lui un potentiel de régénération beaucoup moins important » (Bayer & Järvinen, 2020) avec une pauvreté en termes de nombre de cellule, de cycle cellulaire et de vascularisation (Ahmed et al., 1998; Clegg et al., 2007; Heinemeier et al., 2013). La régénération conjonctive s'effectue par l'intermédiaire de la réaction inflammatoire et de ses différentes phases (Bayer et al., 2014).

Enfin concernant les complexes protéiques de liaison entre la cellule musculaire et le tissu aponévrotique, peu d'études permettent de comprendre précisément leur processus de régénération. Cependant, on assiste au sein des myocytes en cours de régénération, à l'augmentation de l'expression de l'intégrine $\alpha 7\beta 1$, qui constitue l'un des complexes protéiques de liaisons (Kääriäinen et al., 2002). De plus, il est possible d'optimiser la régénération des protéines de liaison par l'intermédiaire de conduites spécifiques que nous développerons par la suite.

La JMA constitue donc un site anatomique complexe, de haute activité cellulaire et supportant un haut niveau de charge brutalement diminué lors de la blessure par détachement des structures musculaires et aponévrotiques (Bayer & Järvinen, 2020; Dreyer et al., 2006; Jakobsen et al., 2018). Ainsi, retrouver l'équilibre myo-aponévrotique est indispensable pour répondre aux contraintes fonctionnelles auxquelles les muscles IJ doivent répondre lors de l'activité du football.

Quels sont alors les moyens à notre disposition pour accompagner et optimiser cette régénération myo-aponévrotique et ainsi pouvoir solliciter de nouveau les IJ sur de hauts niveaux de charge, comme le sprint, sans pour autant risquer une récurrence ?

2.5.2 Réhabilitation, rééducation et réathlétisation

Diminuer le risque de récurrence de LMA aux IJ est complexe puisque les antécédents de blessures et l'âge des footballeurs ne constituent pas un facteur de risque modifiable. L'objectif est donc d'agir sur les facteurs de risques modifiables tels que la force excentrique des IJ, la longueur des faisceaux musculaires...

En premier lieu, on peut intervenir sur ces facteurs de risques par l'intermédiaire de stratégies de prévention primaires, qui ont montré leur efficacité dans le monde du football professionnel chez des sujets sains (Ekstrand et al., 2021). Cependant, si l'on est capable de diminuer l'incidence, on ne peut éviter totalement la blessure du footballeur de haut niveau (Ekstrand et al., 2021). Ainsi, la seconde stratégie correspond à une prévention secondaire qui s'effectue chez les joueurs blessés tout au long de leur réhabilitation. Les stratégies de rééducation et de réathlétisation, qu'on appellera ici « réhabilitation » doivent permettre au joueur de (Heiderscheit et al., 2010; Sherry et al., 2015) :

- 1- Revenir à son meilleur niveau de performance : *Return to performance* (RTP)
- 2- Réduire le risque de récurrence de LMA aux IJ.

Selon Wangensteen et al. (2020) cinq grandes phases constituent la réhabilitation de l'athlète selon une « progression basée sur des critères » (Heiderscheit et al., 2010; Wangensteen et al., 2020) ou « algorithmique » (Mendiguchia & Brughelli, 2011) suite à une blessure aux IJ (figure 5). Le passage d'une phase de réhabilitation à la suivante doit être validé par un ensemble de tests, de critères et d'objectifs remplis par l'athlète. En cas de non validation, l'athlète continue sa réhabilitation dans la phase où il se situe jusqu'à la validation des critères correspondants. Lors de ce processus, le retour au sport (RTS) de l'athlète ne constitue pas une décision prise en fin de la réhabilitation. Il s'agit davantage d'un continuum de réhabilitation dont les grands principes à respecter et les objectifs à atteindre vont être détaillés (Arderm et al., 2016; Bisciotti et al., 2019).

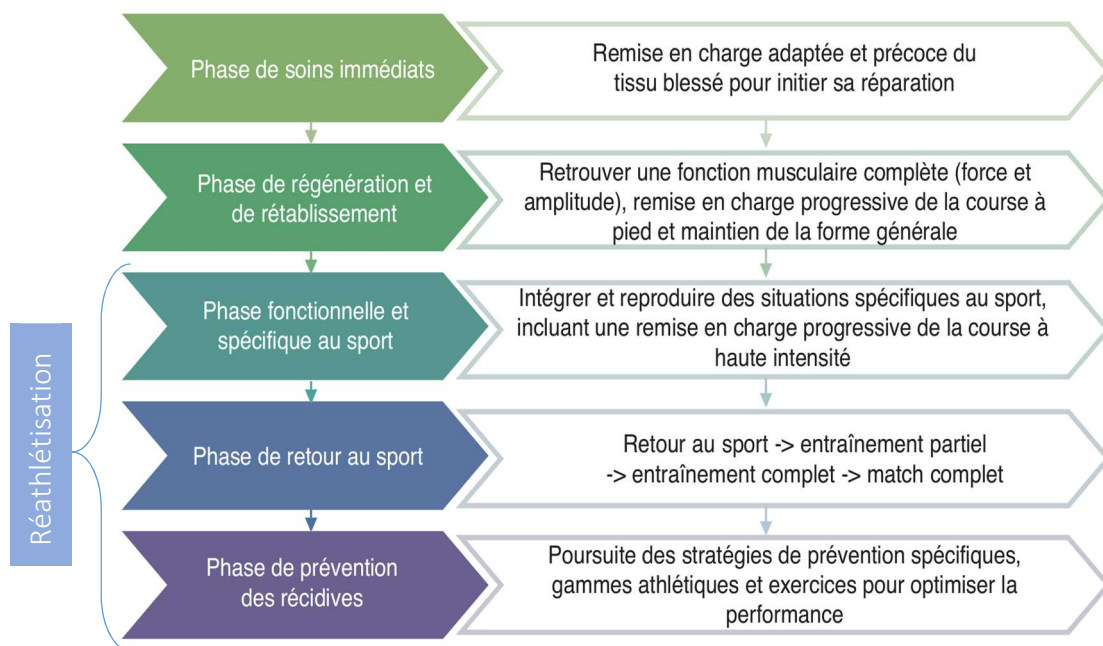


Figure 5 « Phases et objectifs majeurs de la réhabilitation après une blessure aux ischio-jambiers » adapté de Wangensteen et al. (2020).

- Approche multifactorielle : collaboration et prise en charge bio-psycho-sociale

Il est important de comprendre que de nombreux facteurs entrent en jeu bien au-delà de la dimension physique, lors de toutes les phases de la réhabilitation du footballeur de haut niveau.

Le caractère multifactoriel concerne les trois entités qui doivent guider les différentes prises de décisions lors de la réhabilitation (Arderm et al., 2016; Bisciotti et al., 2019; Wangensteen et al., 2020) :

- Le staff médical : médecin, masseur-kinésithérapeute, ostéopathe...
- Le staff technique : entraîneur, préparateur physique...
- L'athlète : approche centrée sur le sportif

Le staff médical ne constitue pas l'unique acteur et auteur de la réhabilitation. Une coopération « saine » et l'échange continu d'informations entre ces trois entités permettent selon Ghrairi et al. (2019) de réduire le risque de récurrence des blessures musculaires chez les footballeurs.

Le caractère multifactoriel concerne aussi l'approche bio-psycho-sociale de l'athlète (Bisciotti et al., 2019; Santi & Pietrantonio, 2013). La prise en compte des facteurs biologiques mais aussi psychologiques et sociaux (*Annexe 3*) joue un rôle primordial dans l'optimisation de la réhabilitation de l'athlète et donc son RTP (Arden et al., 2016). Certes, la gravité de l'atteinte tissulaire lors d'une LMA aux IJ est une donnée de pronostic importante (Kerkhoffs et al., 2013) mais les facteurs biologiques ne sont pas les seuls influençant la qualité de la réhabilitation et les prises de décisions quant au RTP (Arden et al., 2016; Bisciotti et al., 2019).

- Phase de soins immédiats

Les premiers jours suivants la blessure constituent l'application du protocole POLICE selon les dernières recommandations (Bleakley et al., 2011; Wangenstein et al., 2020). Ce protocole permet d'accompagner les premiers instants du processus de régénération myo-aponévrotique.

Protection, Optimal Loading, Ice (glace), Compression, Élévation : ce protocole permet une amélioration plus rapide des signes cliniques, tels que la douleur et l'hématome, comparé à un repos complet de l'athlète dans les premiers jours post-blessure (Bleakley et al., 2011).

L'*Optimal Loading* est « la charge optimale appliquée aux structures permettant de maximiser leur potentiel d'adaptation et de régénération » (Glasgow et al., 2015). Le terme de mécanisation est utilisé pour évoquer cette « charge optimale » et progressive en début de réhabilitation (Khan & Scott, 2009). La mécanisation et l'activité cardiovasculaire permettent de répondre aux besoins immédiats et cruciaux de vascularisation et d'innervation du tissu myo-aponévrotique blessé depuis peu (Bayer et al., 2018; Koulouris & Connell, 2003; Sole et al., 2011). L'application précoce de ces principes contribue d'une part à réduire l'atrophie musculaire et la formation d'un tissu cicatriciel non fonctionnel et d'autre part à stimuler la régénération tissulaire. Le délai de RTS du sportif peut être diminué de près de 3 semaines par la mise en place de cette phase de soins immédiats adaptée (Bayer et al., 2017; Järvinen et al., 2005, 2007).

- Phase de régénération et de rétablissement

La survenue d'une LMA aux IJ chez un joueur de football entraîne une diminution du niveau de force des IJ qui peut perdurer 2 à 3 ans après la blessure (Charlton et al., 2018; Mendiguchia et al., 2014). Ainsi, récupérer la force musculaire des IJ est un objectif important de la réhabilitation d'autant plus qu'il s'agit d'un facteur de risque majeur de récurrence. Tous les modes de contraction peuvent être utilisés pendant la réhabilitation cependant, la sollicitation en excentrique apparaît aujourd'hui comme le moyen le plus pertinent pour plusieurs raisons :

- Stimulation des cellules satellites responsables de la régénération de la fibre musculaire (Dreyer et al., 2006).
- Stimulation de la synthèse des protéines de liaisons myo-aponévrotiques (Douglas et al., 2017).
- Sollicitation préférentielle des fibres musculaires de type II, majoritairement présentes au sein des IJ (Cermak et al., 2013).
- Sollicitation de niveaux de force plus importants par rapport aux autres modes de contraction (Douglas et al., 2017).
- Allongement des faisceaux musculaires (Pincheira et al., 2021).
- Préventif du mécanisme lésionnel excentrique (Ishøi et al., 2019).

Ainsi, selon Hickey et al. (2019) la sollicitation en excentrique des IJ doit être implémentée de manière progressive, adaptée et précoce dès que le footballeur le tolère en vue d'accompagner la myogenèse qui débute très tôt après la blessure (cf. 2.5.1 ; Mackey & Kjaer, 2017). Le « protocole-L » d'Askling et al. (2013) et le « Nordic Hamstring Exercice » (NHE) (cf. 4.2.2), par exemple, constituent des exercices de renforcement musculaire en allongement des IJ. Ils permettent, en plus de leurs bénéfices précédemment cités, une meilleure récupération des amplitudes par rapport aux étirements passifs (Wangenstein et al., 2020).

- Phase fonctionnelle et spécifique au sport & phase de retour au sport
 - *Remise en charge progressive de la course à pied*

Le principe de remise en charge optimale et progressive du footballeur est aussi valable pour la course à pied (CAP). En effet, le football est un sport où le joueur est amené à courir des distances importantes à des allures parfois très rapides (Ingebrigtsen et al., 2014; Tuo et al., 2019). Selon Silder et al. (2013) le footballeur doit reprendre la CAP, dans un format adapté, dès l'instant où ce dernier est « capable de marcher normalement sans douleur » (Wangenstein et al., 2020). Le format de CAP proposé au footballeur va ensuite évoluer progressivement au fil de la réhabilitation pour atteindre des situations spécifiques au football, telles que les sprints. Cette évolution progressive est cruciale puisqu'une exposition inhabituelle à des hauts niveaux de sollicitations en course à pied constitue un facteur de risque de blessure aux IJ (Duhig et al., 2016; Ruddy et al., 2018).

- *Spécificité au sport*

Pendant les phases de réathlétisation (figure 5) le RTP du joueur et la réduction du risque de récurrence sont les objectifs majeurs. Ainsi, la réalisation de situations et d'exercices spécifiques au footballeur et à son poste comme les blocages, les accélérations et les sprints est importante. La charge d'entraînement lors des séances de réathlétisation doit progressivement se rapprocher (Moreno-Perez et al., 2021) voire dépasser celle de l'entraînement collectif pour permettre un RTP optimal et prévenir du risque de récurrence (Ishøi et al., 2019; Verroll et al., 2005).

- Phase de prévention des récidives

Enfin, l'objectif de prévention secondaire fait aujourd'hui partie intégrante des nombreux programmes de réhabilitation de blessures aux IJ décrits dans la littérature. Les récents travaux de synthèse de la littérature concernant ces protocoles permettent de comprendre les axes importants à respecter dans la prise en charge des sportifs de haut niveau blessés aux IJ afin réduire le risque de récurrence (Ishøi et al., 2019; Wangensteen et al., 2020). Ainsi, les protocoles comprenant des exercices d'allongement actifs des IJ et de stabilisation du tronc et du bassin montrent une diminution du risque de récurrence (Askling et al., 2013; Sherry & Best, 2004). Le protocole individualisé, multifactoriel et algorithmique de Mendiguchia et al. (2017) est un programme complet allant du premier jour post-blessure jusqu'au RTS du footballeur. Il comprend notamment les deux types d'exercices précédemment cités. Les résultats de ce programme de réhabilitation montrent une réduction significative du risque de récurrence de LMA aux IJ chez les footballeurs de haut niveau. Cependant, des recherches complémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats initiaux et donc l'efficacité de ce protocole.

3 Objectifs et hypothèses

Au travers de cette revue de la littérature, nous pouvons faire le constat que certaines interventions pendant la réhabilitation permettraient de réduire le risque de récurrence de LMA aux IJ chez les footballeurs de haut niveau.

L'objectif principal de ce travail est de constater si la mise en place d'un programme de réhabilitation individualisé, multifactoriel et algorithmique de Mendiguchia et al. (2017) permet de réduire le risque de récurrence de LMA aux IJ chez les joueurs blessés de l'effectif professionnel du VHF. Plus précisément, nous nous intéresserons au premier facteur de risque modifiable de LMA aux IJ : la force excentrique des IJ (Pizzari et al., 2020). L'objectif est de constater si ce programme de réhabilitation permet une amélioration de la force excentrique des IJ, et de manière indirecte, une diminution du risque de récurrence de LMA aux IJ. Selon les résultats de l'étude de Mendiguchia et al. (2017) nous nous attendons à une amélioration du niveau de force excentrique entre les valeurs pré et post-intervention.

4 Matériel et Méthode

L'ensemble du protocole détaillé par la suite a été mis en place au cours de notre stage au sein du club de football du VHF entre décembre 2020 et mai 2021.

4.1 Population

L'équipe première du VHF est constituée de 20 joueurs professionnels évoluant en N2. Au cours de la période de stage, un seul joueur du groupe a subi une LMA aux IJ (tableau 1). Cette LMA était

localisée au niveau du BF1p gauche. La gravité de cette blessure a été établie de type 3a sur la classification de Munich (Mueller-Wohlfahrt et al., 2013). Ce joueur possède un profil de sprinteur, enchainant de nombreuses courses à haute intensité lors des matchs et des entraînements selon l'entraîneur. Sa blessure est survenue lors d'un entraînement le 4 février 2021.

Tableau 1 Données anthropométriques du joueur blessé ayant participé au protocole de réhabilitation.

	Age	Taille	Masse corporelle	Indice de masse corporelle	Blessure
Joueur n°1	29 ans	1m85	79kg	23,1kg/m ²	LMA BF1p gauche – 3a

4.2 Protocole d'évaluation

Afin d'évaluer la force excentrique des IJ des joueurs, nous avons utilisé le « Nordic Break-Point Angle » (NBPA). En effet, l'angle de flexion de genou au moment de la rupture du NHE est positivement corrélé au niveau de force excentrique des IJ. Ainsi, plus l'amplitude au NHE est importante et plus le niveau de force excentrique des IJ l'est aussi. Il s'agit d'un test valide, reproductible, fiable, de faible coût et nécessitant peu de matériel (Lee et al., 2017, 2018; Sconce et al., 2015) :

- Un tapis de gym (Movit ®, Sweden)
- Une caméra haute fréquence d'acquisition à 240 images par secondes (iPad Pro, Apple ®, 2018, United States of America)
- Des autocollants qui serviront de marqueurs anatomiques (ruban adhésif 389, 3M ®, Japan)
- Une application de calcul d'angulation vidéo. Nous avons utilisé l'application Nordics© développée spécialement pour le calcul d'angle du NBPA par Carlos Balsalobre-Fernandez en 2017.

Ce type d'intervention dite prospective nécessite de réaliser notre batterie de tests sur l'ensemble des joueurs du groupe. Notre problématique repose sur une inconnue : l'éventuelle blessure aux IJ de l'un ou de plusieurs joueurs du VHF. Les tests pré-intervention ont été réalisés entre le 18 décembre 2020 et le 5 janvier 2021 au cours de séances d'entraînements collectives. Par conséquent, pour chaque joueur, nous avons recueilli les « conditions expérimentales » des tests réalisés afin de reproduire au mieux ces conditions dans nos futurs tests post-intervention : date, contenu de la séance, etc. L'ensemble du protocole d'évaluation décrit par la suite a été reproduit à l'identique pour le joueur blessé une semaine après la fin de l'intervention. Son test post-intervention a été réalisé le 3 mars 2021.

Au préalable de la mise en place du protocole d'évaluation, la signature d'un formulaire de consentement (*Annexe 4*) par l'ensemble des joueurs nous a permis le recueil et l'exploitation

anonyme des données et des images de ces derniers. De plus, les données anthropométriques du poids (kg) et de la taille à genou (m) de chaque joueur ont été renseignées au sein de l'application Nordics©. Ces données, permettent de créer un profil pour chaque joueur ce qui permettra un traitement facilité des vidéos et des données de NBPA.

4.2.1 Installation

Dans un premier temps, l'installation du matériel débute par le traçage au crayon sur un tapis de gym, de marqueurs correspondant à la position des genoux du sujet lors du NHE. La caméra haute fréquence est ensuite installée au sol à une distance de 5 mètres par rapport au tapis de gym. L'objectif photographique de notre caméra doit se trouver en face des marqueurs tracés sur le tapis. Suite à cette installation, nous demandons au joueur de se positionner à genoux sur les marqueurs, dans la position de départ du NHE, avec les mains sur ses épaules opposées. Les 3 autocollants sont placés sur la malléole externe de la cheville, le condyle tibial externe et le grand trochanter du fémur du côté de notre caméra. Ainsi, cette installation nous permet de filmer le NHE des joueurs dans un plan sagittal idéal afin de minimiser les erreurs de mesures.

4.2.2 Recueil des données

Suite à l'installation et avant le début de l'enregistrement de la vidéo haute fréquence, des explications sont données aux joueurs quant à la tâche à accomplir : « Tu vas devoir réaliser deux répétitions maximales de Nordic séparées de 5 secondes de repos » (les joueurs du VHF connaissent l'exercice du NHE). De plus, les consignes concernant la réalisation du NHE sont les suivantes :

- « Descend le plus lentement et le plus bas possible »
- « Garde le dos droit »
- « Garde un alignement épaules, bassin et genoux »
- « Décroise les mains lorsque tu ne peux plus tenir la position »
- « Sers-toi de tes bras pour remonter une fois la descente effectuée »

Ces consignes ont pour objectif de se rapprocher d'un environnement expérimental pour limiter les erreurs de mesures. Lors de l'exécution du NHE, si les consignes annoncées ne sont pas respectées par le joueur, il lui est demandé de recommencer la répétition de la bonne manière. En effet, l'angle de flexion de hanche, la vitesse d'exécution et l'amplitude du mouvement du NHE ont une influence conséquente sur le niveau de force excentrique produit par les IJ (Lee et al., 2017; Wiesinger et al., 2020). La consigne concernant le décroisement des mains nous servira ensuite pour le traitement des données. Enfin, il est important que le joueur ne revienne pas dans la position initiale en réalisant un NHE de manière inversée, en concentrique, ce qui induirait une fatigue supplémentaire pour la deuxième répétition.

Ensuite, lorsque l'enregistrement de la vidéo haute fréquence est lancé, le joueur est invité à effectuer son NHE (figure 6). Après la première répétition, ce dernier se remet dans la position de départ et, après 5 secondes de décompte, effectue une deuxième répétition en respectant les mêmes consignes. Lorsque les 2 répétitions de NHE sont terminées, l'enregistrement de la vidéo haute fréquence est arrêté. Ce protocole s'est déroulé de manière identique pour l'ensemble des joueurs.

4.2.3 Traitement des données au sein de l'application

Au total, nous avons recueilli 20 vidéos hautes fréquences. Suite à ce recueil, l'étape de traitement des vidéos a été effectuée grâce à l'application Nordics©. Une fois le profil d'un joueur sélectionné le traitement de sa vidéo s'effectue par la recherche de l'image précise où ce dernier décolle ses mains de ses épaules. Lorsque cette image est détectée, l'alignement des marqueurs digitaux de l'application avec les autocollants représentant les marqueurs anatomiques permet à l'application de trouver le NBPA (figure 7). Ce processus est répété pour la deuxième répétition du NHE ce qui conduit à obtenir deux mesures d'angles pour chaque joueur afin d'optimiser la précision de la mesure (figure 8).



Figure 6 Réalisation d'une répétition d'un Nordic Hamstring Exercise par un joueur du VHF lors des tests pré-intervention.

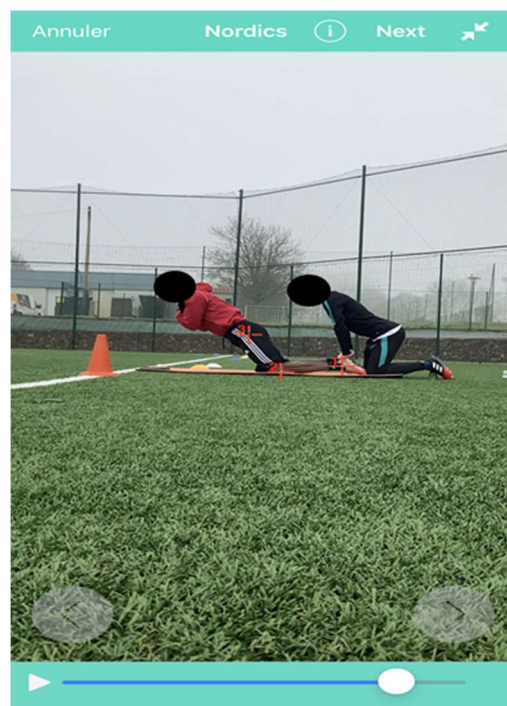


Figure 7 Interface de l'application Nordics©. Alignement des marqueurs digitaux aux marqueurs anatomiques et recherche de l'image de rupture du Nordic Hamstring Exercise.

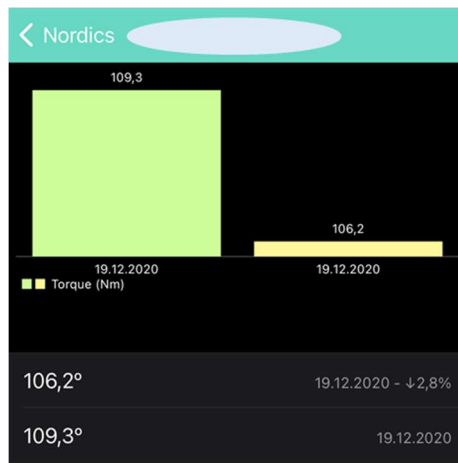


Figure 8 Interface de l'application Nordics©. Résultats des angles de rupture pour un joueur du VHF.

4.3 Protocole d'intervention

4.3.1 Réhabilitation individualisée, multifactorielle et algorithmique

Le protocole d'intervention s'appuie sur l'approche de Mendiguchia et al. (2017) présentant le protocole individualisé, multifactoriel et algorithmique de réhabilitation après une LMA aux IJ chez des footballeurs semi-professionnels. Ce protocole est divisé en trois grandes phases :

- Phase de soins post-blessure
- Phase de régénération
- Phase fonctionnelle

La phase de soins post-blessure débute dès les premiers instants après la blessure du joueur et se termine au bout de 5 jours. Ces 5 jours constituent l'application du protocole RICE pour « Rest Ice Compression Elevation » correspondant aux étapes de repos, d'application de froid sur la zone blessée, de compression et de mise en élévation du membre inférieur (Bleakley et al., 2011).

A 6 jours post blessure (J+6) débute **la phase de régénération**. Cette phase est composée d'une séance de travail par jour comprenant les axes suivants (*Annexe 5*) :

- Thérapie manuelle
- Étirements dynamiques
- Renforcement des muscles fessiers
- Renforcement des muscles IJ
- Renforcement des muscles stabilisateurs de cheville
- Contrôle lombo-pelvien
- Technique de course à pied

Cette séance est réalisée tous les jours et concerne à la fois le membre inférieur blessé et sain. En plus de ce travail, un programme de conditionnement aérobie est mis en place dès que le joueur est capable de réaliser au moins 3 sessions de technique de course sans gêne ni douleur dans la phase de

régénération. Ce programme est constitué d'une séance tous les 3 jours incluant 4 séries de 5 minutes de course à pied à intensité faible ou modérée selon le ressenti du joueur.

Au début et à la fin de chaque semaine, pendant la phase de régénération, une batterie de tests est réalisée pour autoriser ou non le joueur à passer dans la phase fonctionnelle (tableau 2).

Tableau 2 Critères de progression permettant le passage du joueur de la phase de régénération à la phase fonctionnelle adapté de Mendiguchia et al. (2017).

Variable	Test	Critère de réussite
Douleur	Flexion de genou à 15° isométrique en procubitus	Pas de douleur
Force des IJ en course longue	Flexion de genou à 15° isométrique en procubitus	Asymétrie inférieure à 10% par rapport au côté sain
Déficits neurologiques	Slump test (Maitland, 1985)	Pas de douleur
Souplesse des IJ	Test d'extension active du genou (Reurink et al., 2013)	Asymétrie inférieure à 10% par rapport au côté sain
Souplesse des fléchisseurs de hanche	Test de Thomas modifié (Harvey, 1998)	Asymétrie inférieure à 5 cm par rapport au côté sain et genou sous l'horizontale

Le caractère algorithmique de ce protocole réside dans le passage d'une phase à la suivante. En effet, lorsque l'ensemble de ces tests sont validés, le joueur continue sa réhabilitation en passant à la phase fonctionnelle. Cependant, si seulement l'un de ces tests n'est pas validé le joueur continue de travailler dans la phase de régénération jusqu'à validation du test manquant (figure 9). Dans cette situation, il est possible d'ajouter une seconde séance de régénération par jour.

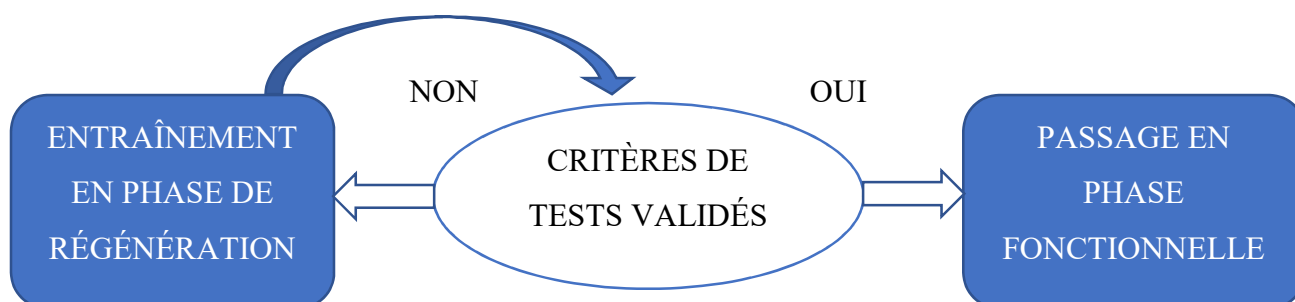


Figure 9 Schématisation du protocole de réhabilitation algorithmique adapté de Mendiguchia et al. (2017)

La phase fonctionnelle est divisée par blocs de travail d'une durée de 3 jours. Le premier jour du bloc constitue un travail de technique de course et de sprint comprenant les axes de travail suivants (Annexe 6) :

- Thérapie manuelle
- Technique de course

Le deuxième jour concerne un travail de renforcement musculaire (*Annexe 7*):

- Thérapie manuelle
- Étirements dynamiques
- Renforcement des muscles fessiers
- Renforcement des muscles IJ
- Pliométrie
- Renforcement des muscles stabilisateurs de cheville
- Contrôle lombo-pelvien

Enfin le troisième et dernier jour du bloc est moins conséquent (*Annexe 8*):

- Thérapie manuelle
- Étirements dynamiques
- Contrôle lombo-pelvien

Le programme de conditionnement aérobie dans la phase fonctionnelle est toujours programmé une fois tous les 3 jours. Cependant, il comprend 2 séries de 10 minutes de course à pied à intensité modérée ou haute selon le ressenti du joueur.

Dans le même raisonnement que pour la phase précédente, la validation d'une batterie de tests réalisée en début et fin de chaque semaine de la phase fonctionnelle permet de constater si le joueur est apte à retourner au sport (tableau 3).

Tableau 3 Critères de progression permettant le passage du joueur de la phase fonctionnelle au retour au sport adapté de Mendiguchia et al. (2017).

Variable	Test	Critère de réussite
Douleur	Palpation	Pas de douleur
Force (IJ/IJ) et ratio (IJ/Quadriceps)	Test isocinétisme de flexion/extension de genou à 60°/s	Asymétrie de force inférieure à 10% sur le ratio IJ/IJ Ratio IJ/Quadriceps supérieur à 0,45 (Biodex®) ou 0,47 (Cybex®)
Force des extenseurs de hanche	Extension de hanche en procubitus	Asymétrie inférieure à 10% entre les 2 membres inférieurs
Distance	Triple saut monopodal (Hamilton et al., 2008)	Asymétrie inférieure à 10% entre les 2 membres inférieurs

Endurance (nombre de répétitions)	Single leg bridge test (Freckleton et al., 2014)	Plus de 25 répétitions et asymétrie inférieure à 10% entre les 2 membres inférieurs
Capacités de torsion	Active straight leg raise test (Liebenson et al., 2009)	Pas de compensations
Sensation d'insécurité et douleur	Askling H-test (Askling et al., 2013)	Pas de douleur et de sensation d'insécurité.

De la même manière, l'ensemble de ces tests doit être validé pour permettre le RTS. Par ailleurs, le joueur doit au minimum avoir effectué 3 sessions d'un bloc de travail de 3 jours soit un total de 9 jours dans la phase fonctionnelle, même si l'ensemble des tests sont validés avant ces 9 jours.

4.3.2 Application du protocole auprès du joueur blessé

Lors de notre stage, nous avons essayé de suivre au mieux ce protocole avec le joueur dont la blessure est survenue le 4 février 2020 (figure 10). Nous avons choisi de mettre en place le protocole POLICE, détaillé précédemment (cf. 2.5.2) à la place du protocole RICE mentionné dans l'étude de Mendiguchia et al. (2017) pour les 5 premiers jours de réhabilitation du joueur. En accord avec le masseur-kinésithérapeute responsable du VHF et les recommandations de la littérature (Bleakley et al., 2011; Wangensteen et al., 2020) ce protocole nous semblait plus adapté pour les soins post-blessure immédiats.

Ainsi, après 5 jours de protocole POLICE, le joueur blessé a effectué 4 jours de travail dans la phase de régénération. Les tests de passage en phase fonctionnelle ont tous été validés à la fin de la première semaine. Ensuite, le joueur a réalisé les 3 blocs de 3 jours de travail en phase fonctionnelle et validé l'ensemble des tests de RTS à la fin du deuxième bloc de 3 jours. L'absence d'appareil d'isocinétisme au sein de la structure de stage nous a contraints à abandonner ce test de RTS.

Au total, la durée d'indisponibilité du joueur a été de 20 jours. Les séances de réhabilitation du joueur blessé ont été planifiées en parallèle des entraînements collectifs prévus par le staff du VHF. Ainsi, le joueur blessé a suivi la même planification horaire des entraînements et des jours de repos que les joueurs non blessés. Au cours des séances de réhabilitation, une augmentation progressive de la charge d'entraînement a été réalisée. Pour exemple, le Hip Thrust est effectué par le joueur avec une charge de 32 kg en phase de régénération puis de 48 kg en phase fonctionnelle. En phase fonctionnelle, le sprint remplace les gammes athlétiques de la phase de régénération pour se rapprocher des contraintes propres au footballeur. Les séances sont progressivement plus intenses et volumineuses (*Annexe 9*). À l'issue de cette période de réhabilitation qui a pris fin le 24 février 2021, 5 jours de repos ont été laissés à l'ensemble du groupe par le staff technique du VHF compte tenu de la planification « particulière » compétitions (saison impactée par la covid-19). Le joueur a donc

repris l'entraînement avec le groupe le 1^{er} mars 2021 et effectué les tests d'évaluation post-intervention le 3 mars 2021, soit 7 jours après la fin de l'intervention.

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
1 ^{er} février GROUPE	2 février GROUPE	3 février GROUPE	4 février BLESSURE IJ/ POLICE	5 février POLICE	6 février POLICE	7 février POLICE
8 février POLICE	9 février R	10 février R	11 février R	12 février R+A+T	13 février REPOS	14 février F.1
15 février F.2+A	16 février F.3	17 février F.1	18 février F.2+A	19 février F.3+T	20 février F.1	21 février REPOS
22 février F.2	23 février F.3+A	24 février REPOS	25 février REPOS	26 février REPOS	27 février REPOS	28 février REPOS
1 ^{er} mars REPRISE GROUPE	2 mars GROUPE	3 mars GROUPE + Evaluation post- intervention				

Figure 10 Planification du programme de réhabilitation réalisé par le joueur blessé entre le 4 février 2020 et le 3 mars 2021. GROUPE : Le joueur s'entraîne collectivement.

POLICE : Protection, Optimal Loading, Ice, Compression, Elevation. R : Séance en phase de régénération. A : Travail aérobic. F.1/2/3 : Séance en phase fonctionnelle jour 1,2 ou 3.

T : Réalisation des tests de passage à la phase suivante.

4.4 Analyse statistique

Les données ont fait l'objet d'un traitement sur le logiciel Excel® (Windows Office, version 2019) afin d'obtenir une valeur d'angle moyenne pour les deux mesures du temps pré-intervention de l'ensemble des joueurs. Les résultats de l'évaluation post-intervention du joueur blessé ont été traités de manière similaire sur le logiciel Excel® (Windows Office, version 2019). Néanmoins, au vu du faible nombre de joueurs blessés aux IJ pendant la période de stage, les données de l'unique participant blessé aux IJ feront l'objet d'une analyse qualitative.

5 Résultats

Après avoir réalisé l'évaluation post-intervention nous avons pu recueillir les données du test NBPA de l'unique joueur blessé aux IJ lors de notre période de stage. Ainsi les résultats des tests de ce dernier avant et après l'intervention serviront de base pour notre analyse. Ce joueur présente un angle de rupture au NHE de 105,45° le 18 décembre 2020 (pre-test). Au 3 mars 2021 (post-test), l'angle de rupture au NHE est de 116,2° (tableau 4). La différence d'angle moyen au test NBPA entre les deux temps d'évaluation est de 10,75° soit une augmentation d'environ 10,2% (figure 11).

Tableau 4 Résultats des tests NBPA du joueur blessé pour l'évaluation pré et post-intervention

	NBPA pré-intervention		NBPA post-intervention	
Date	18/12/2020		03/03/2021	
Joueur 1	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 1	Mesure 2
NBPA (°)	103,4	107,5	113,5	118,9
Moyenne (°)	105,45		116,2	

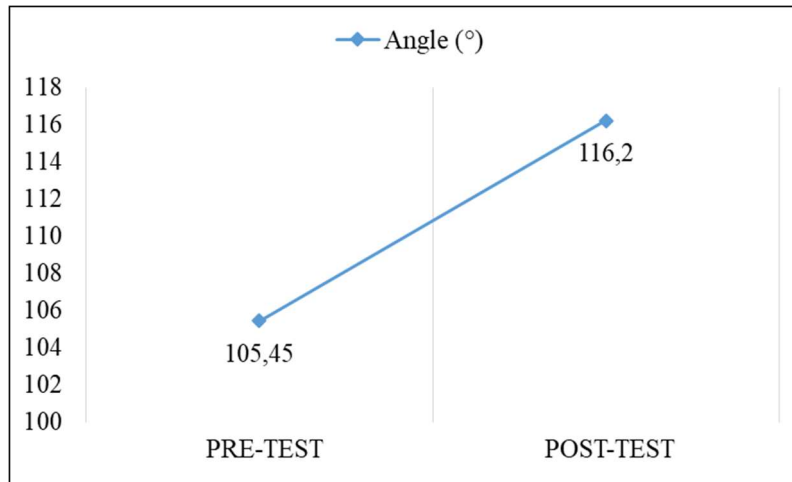


Figure 11 Evolution des résultats aux tests NBPA du joueur blessé entre l'évaluation pré et post-intervention

6 Discussion

6.1 Analyse des résultats

6.1.1 Analyse qualitative des résultats

L'analyse de ces résultats doit se porter sur des critères qualitatifs et empiriques qui font partie intégrante de l'entraînement sportif selon le staff du VHF qui nous a accompagné lors de ce stage. On peut donc s'interroger sur les informations clés que nous devons retenir de cette intervention.

Tout d'abord, nous pouvons constater que le niveau de force excentrique des IJ du joueur blessé n'a pas diminué entre les deux temps d'évaluation. Ainsi, le risque de blessure aux IJ pour ce joueur n'a pas augmenté à cause d'une diminution de force excentrique suite à cette blessure.

L'évolution minimale au test NBPA nécessaire pour considérer qu'une augmentation de force des IJ est cliniquement significative est de $7,87^\circ$ selon Lee et al. (2017) et de $8,03^\circ$ selon Lee et al. (2018). Ainsi, nous pouvons en déduire que le joueur présente un gain de force excentrique aux IJ cliniquement significatif entre les deux temps d'évaluation. De manière secondaire et indirecte, une diminution du risque de récurrence de LMA aux IJ est donc observable pour ce joueur. En admettant que la blessure du joueur ait provoqué une perte de force des IJ, on peut émettre l'hypothèse que le gain de force mesuré est lié à l'application du protocole de réhabilitation. (Charlton et al., 2018; Mendiguchia et al., 2014).

Enfin, un dernier critère qualitatif semble intéressant à prendre en compte dans l'analyse des résultats.

Le ressenti du joueur lors de sa reprise avec le groupe et lors des semaines suivantes fut très positif. Le joueur a fait part à plusieurs reprises de son contentement quant aux bonnes sensations qu'il a pu retrouver lors de sa pratique du football et notamment lors des sprints et des frappes de balles. Par ailleurs, ce joueur n'a subi aucune autre blessure suite à sa réhabilitation jusqu'à la fin de la saison en mai 2021. Ainsi, on peut interpréter cela favorablement vis-à-vis du protocole mis en place au cours de la réhabilitation.

6.1.2 Limites méthodologiques

Les résultats présentés sont néanmoins à nuancer au vu de plusieurs points de discussion que nous allons exposer.

En premier lieu, notre population étudiée est réduite. Un seul sujet a pu être intégré au sein de notre intervention. Ce nombre est insuffisant pour analyser statistiquement les résultats et par conséquent les éventuels effets de notre intervention. Finalement, l'expérimentation présentée s'apparente davantage à une étude de cas qu'à une étude de cohorte prospective. Cette population réduite peut s'expliquer par le fait que seuls quatre matchs ont été réalisés par les joueurs, au cours des 6 mois de la période de stage, dans le cadre de la Coupe de France. Le championnat de N2 ayant été suspendu depuis fin octobre 2020 à cause de la crise sanitaire de la covid-19. On sait que le risque de blessure pour le footballeur est supérieur pendant les matchs par rapport aux entraînements (López-Valenciano et al., 2020). Ainsi, cette absence de compétition est probablement à l'origine de la faible incidence des LMA aux IJ au sein de l'effectif du VHF.

En second lieu, l'absence de groupe contrôle, qui n'aurait pas reçu d'intervention ou une intervention différente à celle proposée, ne nous permet pas d'évaluer un potentiel effet significatif du groupe intervention. On peut se demander si une autre intervention plus classique de réhabilitation des IJ chez ce footballeur n'aurait pas conduit à retrouver des résultats similaires à ceux présentés ici. Aucune conclusion statistique n'est donc possible. Par conséquent, seule une analyse intergroupe avec une population suffisante nous aurait permis de conclure sur un potentiel effet de notre intervention.

Enfin, le caractère prospectif du protocole est aussi un point de discussion à prendre en compte dans l'analyse des résultats. Notons que le joueur blessé a réalisé son test NBPA pré-intervention le 18 décembre 2020. Sa blessure est intervenue le 4 février 2021 et son test post-intervention le 3 mars 2021. Ainsi, le temps écoulé hors protocole d'intervention pour le joueur entre les deux tests d'évaluation est de 56 jours contre 20 jours d'intervention en réhabilitation. Notre protocole d'intervention a occupé seulement 26% du temps entre le 18 décembre 2020 et le 3 mars 2021. L'influence de ce dernier peut donc aussi être discutée de ce point de vue-là. Nous ne pouvons affirmer que l'évolution des résultats entre les deux temps d'évaluation est davantage liée à notre protocole d'intervention plus qu'à d'autres causes. La participation du joueur aux matchs de Coupe

de France et aux entraînements entre le 18 décembre 2020 et le 4 février 2021 a pu contribuer au gain de force des IJ observé. Cependant ce point de discussion est difficile à maîtriser dans un protocole d'intervention prospectif comme celui-ci. L'idéal aurait été de tester le joueur juste avant sa blessure. Néanmoins, la blessure est un événement qui ne peut être anticipée et qui demeure une inconnue.

6.1.3 Conditions expérimentales

Si nos hypothèses initiales étaient de constater un effet de l'intervention proposée, nous avons probablement omis la composante professionnelle de notre stage. Il s'agit avant tout d'un stage de terrain au sein duquel l'intégration d'un protocole expérimental strict est complexe compte tenu de nombreux facteurs : planification des entraînements, enjeux compétitifs, matériel à disposition, conditions expérimentales... Concernant les conditions expérimentales d'évaluation, elles ne sont pas assez exigeantes pour limiter au mieux le risque de biais de mesures. Malgré la qualité en termes de fiabilité et de validité du test du NBPA (Lee et al., 2017, 2018; Sconce et al., 2015), il est certain qu'une prise de recul et une modération vis-à-vis de nos résultats est nécessaire au vu des conditions expérimentales. L'évaluation pré-intervention du NBPA a été réalisée au cours d'une séance d'entraînement ce qui implique des conditions environnementales particulières qui sont difficilement reproductibles à l'identique lors de l'évaluation post-intervention. Ainsi, le choix des 5 secondes de repos laissés aux joueurs entre les deux répétitions de NHE a été établi en fonction des contraintes temporelles imposées par l'entraînement collectif du 18 décembre 2020. Cette condition a donc été conservée pour tester les autres joueurs par la suite. De plus, la majeure partie des tests pré-intervention ont été réalisés en extérieur, au cours d'une séance d'entraînement en hiver. Le positionnement des marqueurs anatomiques ne s'est donc pas effectué à même la peau mais sur les vêtements des joueurs. Cela implique une augmentation du risque d'erreur de mesure malgré une tentative de maîtrise de ces derniers.

Au vu de ces différents axes d'analyses et de discussions, on peut affirmer que **le joueur blessé ayant suivi l'intervention de réhabilitation de Mendiguchia a augmenté son niveau de force excentrique des IJ** pendant la période séparant les deux évaluations. Par conséquent, **le risque pour ce joueur de subir une récurrence de LMA aux IJ a été réduit. Néanmoins nous ne pouvons conclure sur le déterminant de cette évolution positive** mais seulement émettre l'hypothèse d'une influence du programme de réhabilitation sur le niveau de force des IJ du joueur blessé. Il est difficile de conclure que le programme de réhabilitation individualisé, multifactoriel et algorithmique permet de réduire le risque de récurrence de LMA aux IJ chez un footballeur de haut niveau dans le cadre de notre étude de cas. Les points de discussion présentés ne nous permettent pas d'affirmer que c'est l'application du programme de réhabilitation qui a permis d'augmenter de 10,75° l'angle de rupture au NHE. Ainsi, notre intervention en réhabilitation ne peut être clairement considérée comme le

déterminant de cette augmentation de force pour le footballeur blessé. Il aurait peut-être été judicieux de tester l'ensemble du groupe une seconde fois, au même instant que le joueur blessé le 3 mars 2021, pour constater si cette évolution des résultats était propre au joueur blessé et donc potentiellement lié au protocole mis en place. Toutefois, dans un souci de respect du calendrier d'entraînement et de compétitions prévu par le staff, nous avons fait le choix de ne pas mettre en œuvre une seconde batterie de tests au début du mois de mars.

6.2 Retour sur le protocole d'intervention

Le protocole de réhabilitation proposé par Mendiguchia et al. (2017) mérite aussi quelques points de discussion. Les points forts de ce programme sont nombreux. Il s'agit d'un protocole complet allant de la blessure au RTS de l'athlète et détaillant pour chaque jour de réhabilitation la conduite à tenir. Pourtant, comme tout protocole d'intervention, ce dernier présente aussi quelques limites.

6.2.1 Spécificité des exercices proposés & retour au sport

Dans un premier temps, nous avons pu noter un manque d'exercices spécifiques au sport de l'athlète. En l'occurrence des exercices spécifiques au footballeur que nous avons suivi. Lors de la phase fonctionnelle, les exercices spécifiques à la fonction des IJ sont nombreux : sprints, renforcement musculaire, contrôle lombo-pelvien... Néanmoins, l'ensemble de ce travail ne comporte pas de modulations possibles en fonction du sport de l'athlète. Nous avons donc fait le choix d'adapter certains exercices proposés en ajoutant, par exemple, un travail avec ballon lors de certaines sessions de réhabilitation. L'objectif de cette réalisation d'exercices spécifiques au football est de permettre une meilleure adhérence du joueur à la réhabilitation mais aussi de limiter l'impact d'une absence prolongée des terrains sur les qualités techniques et cognitives du joueur de football (Pruna et al., 2019).

Puis, lorsque l'on observe le protocole de l'étude initiale, la validation de la batterie de tests pendant la phase fonctionnelle est synonyme pour l'auteur de l'article d'un RTS. Cependant, selon les dernières recommandations, nous avons pu constater que le RTS ne constitue pas la fin de la réhabilitation mais bel et bien une étape continue au cours de cette dernière. En effet le RTS est défini par le consensus de 2016 comme un retour de l'athlète à son sport pratiqué avant la blessure mais à un niveau de performance en deçà de celui désiré par l'athlète (Ardern et al., 2016). Ainsi, comme décrit par Wangensteen et al. (2020) précédemment, la phase de RTS est évolutive en débutant par un entraînement partiel de l'athlète jusqu'à la réalisation d'un match complet de ce dernier. Dans notre cas, après avoir réalisé l'ensemble des étapes du protocole, le joueur blessé a réintégré progressivement l'entraînement avec le groupe et n'a pas repris directement en effectuant un match de 90 minutes. Ainsi, le protocole de Mendiguchia et al. (2017) n'explore finalement que les premières phases de l'ensemble de la réhabilitation nécessaire chez un footballeur de haut niveau. Il est important de comprendre qu'à l'issue immédiate de ce protocole, le joueur n'est pas en capacité

de réaliser une compétition à un haut niveau de performance qui était le sien avant la blessure, de par le manque d'entraînement collectif qui doit préparer le joueur à la compétition. Le RTS du footballeur n'est donc pas, dans la majorité des cas, synonyme d'un RTP de ce dernier (Ardern et al., 2016).

6.2.2 Charge d'entraînement conséquente

Ensuite, nous pouvons constater que l'ensemble du protocole de réhabilitation constitue une charge d'entraînement très conséquente pour un joueur blessé. Les séances décrites par Mendiguchia dans son article sont importantes en termes de volume et d'intensité lorsqu'elles sont réalisées en pratique. Rares étaient les séances où la durée ne dépassait pas 1 heure et 30 minutes et où le niveau d'effort perçu sur l'échelle CR10 de Borg (Borg, 1982) n'excédait pas le score de 6 sur 10 (*Annexe 9*). Au cours de la réhabilitation mise en place lors du stage, le joueur a, par exemple, pu nous faire part de courbatures d'intensité importante.

Par ailleurs, la première séance du protocole de réhabilitation en phase fonctionnelle comporte un total de 16 répétitions de sprint. Dans notre cas, cette première séance en phase fonctionnelle est intervenue 10 jours après la blessure du joueur. La réalisation précoce de sprints au cours de la réhabilitation peut créer une certaine appréhension chez le joueur concernant sa capacité à réaliser cet exercice sans douleur.

De plus, la planification hebdomadaire des séances de réhabilitation n'est pas décrite dans l'article initial. Ainsi nous avons fait le choix de suivre la planification des entraînements collectifs prévue par le staff du VHF pour les séances de réhabilitation de notre joueur. Par conséquent, au cours des deux premières semaines de réhabilitation, le joueur blessé a réalisé 6 séances sur 7 jours de la semaine.

Enfin, au cours du jour 1 du troisième bloc en phase fonctionnelle le 20 février 2021, le joueur a ressenti une douleur importante à la face antérieure de la cuisse droite lors d'un sprint. Le diagnostic médical et l'imagerie réalisées rapidement après cet épisode, n'ont montré aucune atteinte structurelle du tissu myo-aponévrotique du quadriceps. Cette blessure de surcharge, survenue au cours de la réhabilitation d'une autre blessure, a naturellement fait naître une inquiétude et une appréhension chez le joueur quant au protocole de réhabilitation mis en place. Cet événement nous montre que ce protocole représente une charge d'entraînement importante et que le ressenti du joueur blessé est un indicateur extrêmement important à prendre en compte au cours de la réhabilitation. L'ajout d'un jour de repos supplémentaire au cours de chaque semaine nous aurait peut-être permis d'éviter cet épisode contraignant pour le joueur. L'article de Mendiguchia et al. (2017) ne fait pas référence à un épisode similaire rencontré lors de leur étude. Ainsi, aucune recommandation n'est mentionnée dans le cas de douleur(s) ou de courbature(s) importantes ressenties par l'athlète au cours de la réhabilitation hormis pour le travail aérobie qui peut être suspendu en cas de douleur. Les auteurs de l'article sont conscients que ce programme de réhabilitation constitue une charge de travail importante. Ils justifient ce point

en évoquant l'importance de stimuler l'athlète à des niveaux de sollicitations qui seront les siens lors de la compétition. Par ailleurs, ils proposent de tester ce programme sur une population saine dans le cadre d'une prévention primaire.

L'utilisation de ce programme dans le cadre d'une réhabilitation semble donc intéressant mais nécessite une attention particulière concernant le ressenti de l'athlète vis-à-vis de la charge d'entraînement afin de ne pas faire pencher la balance bénéfice-risque du mauvais côté.

6.2.3 Prise en compte des facteurs psycho-sociaux

Pour finir, comme évoqué précédemment, le protocole de Mendiguchia et al. (2017) souligne une dimension multifactorielle au cours de la réhabilitation en utilisant des critères bio-psycho-sociaux pour évaluer le passage de l'athlète d'une phase à une autre. Effectivement, ce critère est indispensable à respecter pour optimiser la réhabilitation du joueur suite à une LMA aux IJ (Bisciotti et al., 2019). Néanmoins, sur l'ensemble des tests proposés dans l'étude, seul l'Askling H-test présente un critère de validation lié à une composante psycho-sociale : « pas de douleur et de sensation d'insécurité ». L'appréhension de l'athlète sur ce test semble donc être le seul déterminant psychologique permettant un RTS. Ainsi, le RTS de l'athlète dans le protocole repose presque exclusivement sur des tests physiques et quantitatifs. Le caractère multifactoriel de ce protocole peut donc être remis en question. L'utilisation de tests, et/ou de questionnaires prenant en compte les facteurs psycho-sociaux de l'athlète peut être judicieux en complément des tests physiques, afin de constater l'aptitude de l'athlète à retourner au sport (Gómez-Piqueras et al., 2020). La considération de la dimension psycho-sociale de l'athlète est primordiale et ne doit pas se faire au détriment de l'unique dimension physique.

6.3 **Discussion concernant l'étude initiale**

Les hypothèses initialement formulées dans notre travail reposent sur les résultats de l'étude de Mendiguchia et al. (2017). Ces résultats sont cliniquement, largement en faveur du protocole algorithmique comparativement au groupe contrôle concernant une diminution du risque de récurrence de LMA aux IJ chez des footballeurs semi-professionnels. Cependant, les résultats de l'étude initiale sont aussi soumis à certains points de discussion. En premier lieu, l'échantillon de sujets de l'étude est réduit ce qui conduit à nuancer les résultats proposés par l'article. En second lieu, l'étude a inclus des footballeurs blessés aux IJ selon un « grade 1 ». Ce « grade 1 » correspond, selon Peetrans (2001) à une « élévation minimale de moins de 5% du muscle ». Il est alors difficile de comprendre à quel type d'atteinte ce « grade 1 » correspond au sein de la classification de Munich (*Annexe 1*). Toutefois, les auteurs évoquent ce « grade 1 » comme l'atteinte des IJ la plus fréquente et la plus à risque de récurrence. On peut donc supposer que cela correspond aux LMA partielles (3a et 3b de Munich). Ainsi, les résultats de l'étude de Mendiguchia et al. (2017) ne concernent qu'un certain type de blessure des

IJ. De futurs travaux doivent permettre d'évaluer cette intervention sur une population plus large et sur différents stades de gravité de blessure aux IJ.

6.4 Implications pratiques et professionnelles

Cette expérience professionnelle enrichissante nous permet d'extraire des implications pratiques dans le cadre de notre future carrière. Tout d'abord, le test NBPA est un outil intéressant au vu de son faible coût matériel et temporel et de son efficacité de mesure. L'utilisation de ce dernier dans le cadre des batteries de tests de début ou de présaison semble pertinente pour évaluer la force excentrique des IJ d'un groupe de footballeurs évoluant dans un club ne disposant pas de matériel de pointe comme le VHF par exemple. Cependant, l'établissement de conditions expérimentales strictes semble important au moment des tests. Les mesures effectuées en début de saison peuvent servir à la fois de base d'évaluation de l'évolution de la force des IJ au cours de la saison mais aussi de test de RTS pour les footballeurs blessés. Il est toutefois nécessaire de garder à l'esprit qu'il s'agit d'une mesure indirecte et implicite de la force excentrique des IJ. Son interprétation quant à l'estimation du risque de blessure reste donc quelque peu limitée (Opar et al., 2021).

Ensuite, concernant le protocole de réhabilitation algorithmique, nous serons certainement amenés à l'utiliser au cours de notre carrière professionnelle au vu des résultats prometteurs de l'étude initiale et de l'étude de cas réalisée au sein du club du VHF. Si notre étude ne permet pas de conclure sur l'efficacité de ce programme afin de réduire le risque de récurrence, les exercices et les tests proposés par ce dernier sont pertinents dans le cadre de la prise en charge d'un sportif de haut niveau blessé aux IJ. La mise en place de ce programme requiert, cependant, des précautions à prendre concernant la planification de la charge d'entraînement et la prise en compte du ressenti de l'athlète au cours des séances de réhabilitation. La satisfaction du footballeur pris en charge lors du stage concernant son RTP, nous encourage à utiliser ce programme de réhabilitation pour des sportifs de haut niveau ou du moins certaines modalités pour des sportifs amateurs par exemple.

Il serait intéressant d'investiguer cette méthode algorithmique et individualisée pour la prise en charge des blessures d'autres chefs musculaires comme les quadriceps, les adducteurs et les triceps suraux mais aussi pour d'autres types de blessures telles que les atteintes ligamentaires, tendineuses, etc.

7 Conclusion

Réduire le risque de récurrence de LMA aux IJ chez les footballeurs de haut niveau demeure un enjeu de taille. Il est probable que le gain de force excentrique des IJ enregistré pour le joueur blessé soit lié au protocole de réhabilitation mis en place. Cependant, nous ne pouvons l'affirmer avec certitude compte tenu de nos biais méthodologiques et de notre faible population étudiée. L'intervention mise en place au cours de ce stage ne permet pas de conclure sur une possible réduction du risque de récurrence de LMA des IJ par l'utilisation d'un protocole de réhabilitation individualisé, multifactoriel

et algorithmique pour le footballeur de haut niveau. Ainsi, il est difficile de confirmer l'hypothèse initialement émise selon laquelle le protocole de Mendiguchia et al. (2017) permettrait une augmentation du niveau de force excentrique des IJ des sujets blessés entre les deux temps d'évaluation et, par conséquent, une diminution du risque de récurrence de LMA des IJ.

La poursuite de ces investigations serait pertinente afin de confirmer ou de réfuter les résultats initiaux présentés dans l'étude de Mendiguchia et al. (2017). En effet, ce protocole présente un réel potentiel. Il pourrait servir de base de réhabilitation adaptable suite à une LMA des IJ et ainsi répondre aux enjeux importants liés à cette blessure dans le monde du football et du sport de haut niveau de manière générale. La mise en application pratique du protocole pendant le stage nous encourage à continuer d'utiliser ce dernier au cours de notre carrière professionnelle. Son utilisation sera modulée en fonction du patient et/ou du sportif que nous serons amenés à prendre en charge.

Bibliographie

- Ahmed, I. M., Lagopoulos, M., McConnell, P., Soames, R. W., & Sefton, G. K. (1998). Blood Supply of the Achilles Tendon. *J Orthop Res*, *16*, 591–596.
- Andrzejewski, M., Chmura, J., Pluta, B., & Konarski, J. M. (2015). Sprinting activities and distance covered by top level Europa league soccer players. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *10*(1), 39–50. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.10.1.39>
- Arden, C. L., Glasgow, P., Schneiders, A., Witvrouw, E., Clarsen, B., Cools, A., Gojanovic, B., Griffin, S., Khan, K. M., Moksnes, H., Mutch, S. A., Phillips, N., Reurink, G., Sadler, R., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Wangensteen, A., Wilk, K. E., & Bizzini, M. (2016). 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(14), 853–864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278>
- Askling, C. M., Tengvar, M., Saartok, T., & Thorstensson, A. (2007). Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching: Clinical, magnetic resonance imaging, and recovery characteristics. *American Journal of Sports Medicine*, *35*(10), 1716–1724. <https://doi.org/10.1177/0363546507303563>
- Askling, C. M., Tengvar, M., Saartok, T., & Thorstensson, A. (2008). Proximal hamstring strains of stretching type in different sports: Injury situations, clinical and magnetic resonance imaging characteristics, and return to sport. *American Journal of Sports Medicine*, *36*(9), 1799–1804. <https://doi.org/10.1177/0363546508315892>
- Askling, C. M., Tengvar, M., & Thorstensson, A. (2013). Acute hamstring injuries in Swedish elite football: A prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *British Journal of Sports Medicine*, *47*(15), 953–959. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092165>
- Bayer, Monika L., Hoegberget-Kalisz, M., Jensen, M. H., Olesen, J. L., Svensson, R. B., Couppe, C., Boesen, M., Nybing, J. D., Kurt, E. Y., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2018). Role of tissue perfusion, muscle strength recovery, and pain in rehabilitation after acute muscle strain injury: A randomized controlled trial comparing early and delayed rehabilitation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *28*(12), 2579–2591. <https://doi.org/10.1111/sms.13269>
- Bayer, Monika L., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2017). Early versus Delayed Rehabilitation after Acute Muscle Injury. *New England Journal of Medicine*, *377*(13), 1300–1301. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1708134>
- Bayer, Monika L., Schjerling, P., Herchenhan, A., Zeltz, C., Heinemeier, K. M., Christensen, L., Krosgaard, M., Gullberg, D., & Kjaer, M. (2014). Release of tensile strain on engineered human tendon tissue disturbs cell adhesions, changes matrix architecture, and induces an inflammatory phenotype. *PLoS ONE*, *9*(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086078>
- Bayer, Monika Lucia, & Järvinen, T. A. H. (2020). Basic Muscle Physiology in Relation to Hamstring Injury and Repair. In *Prevention and Rehabilitation of Hamstring Injuries* (Springer, pp. 31–63).
- Beiner, J. M., & Jokl, P. (2001). Muscle Contusion Injuries: Current Treatment Options. *J Am Acad Orthop Surg*, *9*(4), 227–237.
- Bisciotti, G. N., Volpi, P., Alberti, G., Aprato, A., Artina, M., Auci, A., Bait, C., Belli, A., Bellistri, G., Bettinsoli, P., Bisciotti, A., Bisciotti, A., Bona, S., Bresciani, M., Bruzzone, A., Buda, R., Buffoli, M., Callini, M., Canata, G., ... Chamari, K. (2019). Italian consensus statement (2020) on return to play after lower limb muscle injury in football (soccer). *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, *5*(1). <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000505>
- Bleakley, C. M., Glasgow, P., & MacAuley, D. C. (2011). PRICE needs updating, should we call the POLICE? In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 46, Issue 4, pp. 220–221). <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090297>
- Bonnel, F., & Marc, T. (2009). Le muscle nouveaux concepts. In *Sauramps Médical* (SAURAMPS

MEDICAL).

- Borg, Gunnar. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381.
- Brewer, B. W. (2007). Psychology of Sport Injury Rehabilitation. In N. W. & sons Hoboken (Ed.), *Handbook of Sport Psychology* (pp. 404–424).
- Brukner, P., & Connell, D. (2016). Serious thigh muscle strains: Beware the intramuscular tendon which plays an important role in difficult hamstring and quadriceps muscle strains. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 50, Issue 4, pp. 205–208). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095136>
- Caldwell, C. J., Matthey, D. L., & Weller, D. R. O. (1990). Role of the basement membrane in the regeneration of skeletal muscle. In *Neuropathology and Applied Neurobiology* (Vol. 16).
- Cermak, N. M., Snijders, T., McKay, B. R., Parise, G., Verdijk, L. B., Tarnopolsky, M. A., Gibala, M. J., & Van loon, L. J. C. (2013). Eccentric Exercise Increases Satellite Cell Content in Type II Muscle Fibers. *American College of Sports Medicine*, 45(2), 230–237. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318272cf47>
- Charlton, P., Raysmith, B., Wollin, M., Rice, S., Purdam, C., Clark, R., & Drew, M. (2018). Full training but not full function: Isometric hamstring strength deficits identified up to three years following injury in Australian Football athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, S33. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.09.076>
- Chumanov, E. S., Heiderscheit, B. C., & Thelen, D. G. (2007). The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *Journal of Biomechanics*, 40(16), 3555–3562. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.05.026>
- Clegg, P. D., Strassburg, S., & Smith, R. K. (2007). Cell phenotypic variation in normal and damaged tendons. *International Journal of Experimental Pathology*, 88(4), 227–235. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2613.2007.00549.x>
- Danielsson, A., Horvath, A., Senorski, C., Alentorn-Geli, E., Garrett, W. E., Cugat, R., Samuelsson, K., & Hamrin Senorski, E. (2020). The mechanism of hamstring injuries – a systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03658-8>
- De Smet, A., & Best, T. (2000). MR Imaging of the Distribution and Location of Acute Hamstring Injuries in Athletes. *American Journal of Roentgenology*, 174(2), 393–399. www.ajronline.org
- De Visser, H. M., Reijman, M., Heijboer, M. P., & Bos, P. K. (2012). Risk factors of recurrent hamstring injuries: A systematic review. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 46, Issue 2, pp. 124–130). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090317>
- Della Villa, F., Mandelbaum, B. R., & Lemak, L. J. (2018). The Effect of Playing Position on Injury Risk in Male Soccer Players: Systematic Review of the Literature and Risk Considerations for Each Playing Position. In *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.)* (Vol. 47, Issue 10). NLM (Medline). <https://doi.org/10.12788/ajo.2018.0092>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. In *Sports Medicine* (Vol. 47, Issue 5, pp. 917–941). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0628-4>
- Dreyer, H. C., Blanco, C. E., Sattler, F. R., Schroeder, E. T., & Wiswell, R. A. (2006). Satellite cell numbers in young and older men 24 hours after eccentric exercise. *Muscle and Nerve*, 33(2), 242–253. <https://doi.org/10.1002/mus.20461>
- Duhig, S., Shield, A. J., Opar, D., Gabbett, T. J., Ferguson, C., & Williams, M. (2016). Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1536–1540. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095679>
- Ekstrand, J., Häggglund, M., & Waldén, M. (2011). Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(7), 553–558. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.060582>
- Ekstrand, Jan. (2013). Keeping your top players on the pitch: The key to football medicine at a professional level. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 723–724. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092771>

- Ekstrand, Jan, Askling, C., Magnusson, H., & Mithoefer, K. (2013). Return to play after thigh muscle injury in elite football players: Implementation and validation of the Munich muscle injury classification. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 769–774. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-092092>
- Ekstrand, Jan, Spreco, A., Bengtsson, H., & Bahr, R. (2021). Injury rates decreased in men's professional football: an 18-year prospective cohort study of almost 12 000 injuries sustained during 1.8 million hours of play. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103159>
- Ekstrand, Jan, Waldén, M., & Hägglund, M. (2016). Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 731–737. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095952>
- Ervasti, J. M., & Campbell, K. P. (1991). Membrane Organization of the Dystrophin-Glycoprotein Complex. In *Cell* (Vol. 66).
- Feucht, M. J., Plath, J. E., Seppel, G., Hinterwimmer, S., Imhoff, A. B., & Brucker, P. U. (2015). Gross anatomical and dimensional characteristics of the proximal hamstring origin. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(9), 2576–2582. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3124-0>
- Freckleton, G., Cook, J., & Pizzari, T. (2014). The predictive validity of a single leg bridge test for hamstring injuries in Australian rules football players. *British Journal of Sports Medicine*, 48(8), 713–717. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092356>
- Garett W.E., Califf J.C., & Bassett F.H. (1984). Histochemical correlates of hamstring injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 12(2), 98–103.
- Garrett, W. E., Nikolaou, P. K., Ribbeck, B. M., Glisson, R. R., & Seaber, A. V. (1988). The effect of muscle architecture on the biomechanical failure properties of skeletal muscle under passive extension. In *THE AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE* (Vol. 16, Issue 1).
- Ghrai, M., Loney, T., Pruna, R., Malliaropoulos, N., & Valle, X. (2019). Effect of poor cooperation between coaching and medical staff on muscle re-injury in professional football over 15 seasons. *Open Access Journal of Sports Medicine*, Volume 10, 107–113. <https://doi.org/10.2147/oajsm.s221292>
- Glasgow, P., Phillips, N., & Bleakley, C. (2015). Optimal loading: key variables and mechanisms. *British Journal of Sports Medicine*, 49(5), 278–279. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094443>
- Gómez-Piqueras, P., Arden, C., Prieto-Ayuso, A., Robles-Palazón, F. J., Cejudo, A., Sainz de Baranda, P., & Olmedilla, A. (2020). Psychometric Analysis and Effectiveness of the Psychological Readiness of Injured Athlete to Return to Sport (PRIA-RS) Questionnaire on Injured Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1536. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051536>
- Green, B., Bourne, M. N., Van Dyk, N., & Pizzari, T. (2020). Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI): A 2020 systematic review and meta-Analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 54, Issue 18, pp. 1081–1088). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100983>
- Hamilton, R. T., Shultz, S. J., Schmitz, R. J., & Perrin, D. H. (2008). Triple-Hop Distance as a Valid Predictor of Lower Limb Strength and Power. In *Journal of Athletic Training* (Vol. 43, Issue 2). http://meridian.allenpress.com/jat/article-pdf/43/2/144/1608906/1062-6050-43_2_144.pdf
- Harvey, D. (1998). Assessment of the flexibility of elite athletes using the modified Thomas test. In *BJSM* (Vol. 32).
- Heiderscheit, B. C., Hoerth, D. M., Chumanov, E. S., Swanson, S. C., Thelen, B. J., & Thelen, D. G. (2005). Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: A case study. *Clinical Biomechanics*, 20(10), 1072–1078. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.07.005>
- Heiderscheit, B. C., Sherry, M. A., Silder, A., Chummanov, E. S., & Thelen, D. G. (2010). Hamstring

- strain injuries: Recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. In *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* (Vol. 40, Issue 2, pp. 67–81). Movement Science Media. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3047>
- Heinemeier, K. M., Schjerling, P., Heinemeier, J., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2013). Lack of tissue renewal in human adult Achilles tendon is revealed by nuclear bomb 14C. *FASEB Journal*, 27(5), 2074–2079. <https://doi.org/10.1096/fj.12-225599>
- Hickey, Jack, Timmins, Ryan, Maniar, Nirav, Rio, Ebonie, & Hickey, Peter. (2019). Pain-free versus pain-threshold rehabilitation following acute hamstring strain injury: A randomised controlled trial. *JOSPT*, 1–35.
- Hotfiel, T., Freiwald, J., Hoppe, M. W., Lutter, C., Forst, R., Grim, C., Bloch, W., Hüttel, M., & Heiss, R. (2018). Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletzung-Sportschaden*, 32(4), 243–250. <https://doi.org/10.1055/a-0753-1884>
- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G. H., Drust, B., & Wisløff, U. (2014). Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *European Journal of Sport Science*, 15(2), 101–110. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.933879>
- Ishøi, L., Krommes, K., Husted, R. S., Juhl, C. B., & Thorborg, K. (2019). 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). In *British Journal of Sports Medicine*. BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101228>
- Jakobsen, J. R., Jakobsen, N. R., Mackey, A. L., Koch, M., Kjaer, M., & Krogsgaard, M. R. (2018). Remodeling of muscle fibers approaching the human myotendinous junction. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(8), 1859–1865. <https://doi.org/10.1111/sms.13196>
- Järvinen, T. A. H., Järvinen, T. L. N., Kääriäinen, M., Äärimaa, V., Vaittinen, S., Kalimo, H., & Järvinen, M. (2007). Muscle injuries: optimising recovery. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 21(2), 317–331. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2006.12.004>
- Järvinen, T. A. H., Järvinen, T. L. N., Kääriäinen, M., Kalimo, H., & Järvinen, M. (2005). Muscle injuries: Biology and treatment. In *American Journal of Sports Medicine* (Vol. 33, Issue 5, pp. 745–764). <https://doi.org/10.1177/0363546505274714>
- Jones, A., Jones, G., Greig, N., Bower, P., Brown, J., Hind, K., & Francis, P. (2019). Epidemiology of injury in English Professional Football players: A cohort study. *Physical Therapy in Sport*, 35, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.10.011>
- Kääriäinen, M., Nissinen, L., & Kaufman, S. J. (2002). Expression of alpha7beta1 integrin splicing variants during skeletal muscle regeneration. In *Article in American Journal Of Pathology*. <https://www.researchgate.net/publication/11174894>
- Kaeding, C., & Borchers, J. (2014). Hamstring and quadriceps injuries in athletes. In *Springer*.
- Kary, J. M. (2010). Diagnosis and management of quadriceps strains and contusions. In *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine* (Vol. 3, Issues 1–4, pp. 26–31). Humana Press Inc. <https://doi.org/10.1007/s12178-010-9064-5>
- Kerkhoffs, G. M. M. J., van Es, N., Wieldraaijer, T., Sierevelt, I. N., Ekstrand, J., & van Dijk, C. N. (2013). Diagnosis and prognosis of acute hamstring injuries in athletes. In *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* (Vol. 21, Issue 2, pp. 500–509). <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2055-x>
- Khan, K. M., & Scott, A. (2009). Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair. *Br J Sports Med*, 43(4), 247–252. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.054239>
- Koulouris, G., & Connell, D. (2003). Evaluation of the hamstring muscle complex following acute injury. *Skeletal Radiology*, 32(10), 582–589. <https://doi.org/10.1007/s00256-003-0674-5>
- LaPrade, R. F., Morgan, P. M., Wentorf, F. A., Johansen, S., & Engebretsen, L. (2007). The anatomy of the posterior aspect of the knee: An anatomic study. *Journal of Bone and Joint Surgery -*

Series A, 89(4), 758–764. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.00120>

- Lee, Justin W Y, Car, Ming-Jing, Yung, Patrick S H, & Chan, Kai-Ming. (2018). Reliability, Validity, and Sensitivity of a Novel Smartphone-Based Eccentric Hamstring Strength Test in Professional Football Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 13(5), 620–624.
- Lee, J. W. Y., Li, C., Yung, P. S. H., & Chan, K.-M. (2017). The reliability and validity of a video-based method for assessing hamstring strength in football players. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 15(1), 18–21. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2017.04.001>
- Liebenson, C., Karpowicz, A. M., Brown, S. H. M., Howarth, S. J., & McGill, S. M. (2009). The Active Straight Leg Raise Test and Lumbar Spine Stability. *PM and R*, 1(6), 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.03.007>
- Liu, H., Garrett, W. E., Moorman, C. T., & Yu, B. (2012). Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. In *Journal of Sport and Health Science* (Vol. 1, Issue 2, pp. 92–101). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2012.07.003>
- López-Valenciano, A., Ruiz-Pérez, I., Garcia-Gómez, A., Vera-Garcia, F. J., De Ste Croix, M., Myer, G. D., & Ayala, F. (2020). Epidemiology of injuries in professional football: A systematic review and meta-analysis. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 54, Issue 12, pp. 711–718). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099577>
- Mackey, A. L., & Kjaer, M. (2017). The breaking and making of healthy adult human skeletal muscle in vivo. *Skeletal Muscle*, 7(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s13395-017-0142-x>
- Magnusson, S., & Hansen, P. (2003). Differential strain patterns of the human gastrocnemius aponeurosis and free tendon, in vivo. *Acta Physiol Scand*, 177(2), 185–195.
- Maitland, Geoffrey. (1985). The Slump Test: Examination and Treatment. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 31(6), 215–219.
- Mauro, A. (1961). Satellite cell of skeletal muscle fibers. *J Biophys Biochem Cytol.*, 9, 493–495. <http://rupress.org/jcb/article-pdf/9/2/493/1078104/493.pdf>
- Mendiguchia, J., Samozino, P., Martinez-Ruiz, E., Brughelli, M., Schmikli, S., Morin, J. B., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Progression of mechanical properties during on-field sprint running after returning to sports from a hamstring muscle injury in soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 35(8), 690–695. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1363192>
- Mendiguchia, Jurdan, & Brughelli, M. (2011). A return-to-sport algorithm for acute hamstring injuries. *Physical Therapy in Sport*, 12(1), 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.07.003>
- Mendiguchia, Jurdan, Martinez-Ruiz, E., Edouard, P., Morin, J. B., Martinez-Martinez, F., Idoate, F., & Mendez-Villanueva, A. (2017). A Multifactorial, Criteria-based Progressive Algorithm for Hamstring Injury Treatment. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(7), 1482–1492. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001241>
- Mignon, Patrick. (2015). POINT DE REPÈRE - LA PRATIQUE SPORTIVE EN FRANCE : ÉVOLUTIONS, STRUCTURATION ET NOUVELLES TENDANCES. *Informations Sociales*, 1(187), 10–13.
- Monti, Ryan J, Roy, Roland R, Hodgson, John A, & Edgerton, Reggie V. (1999). Transmission of forces within mammalian skeletal muscles. *Journal of Biomechanics*, 32.
- Moreno-Perez, V., Paredes, V., Pastor, D., Garrosa, F., Vielcazat, S., Coso, J., & Mendez-Villanueva, A. (2021). Under-exposure to official matches is associated with muscle injury incidence in professional footballers. *Biology of Sport*, 38(4), 563–571. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.100360>
- Morin, J. B., Gimenez, P., Edouard, P., Arnal, P., Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Mendiguchia, J. (2015). Sprint acceleration mechanics: The major role of hamstrings in horizontal force production. *Frontiers in Physiology*, 6(DEC). <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00404>
- Mueller-Wohlfahrt, H. W., Haensel, L., Mithoefer, K., Ekstrand, J., English, B., McNally, S., Orchard, J., Van Dijk, N., Kerkhoffs, G. M., Schamasch, P., Blotner, D., Swaerd, L., Goedhart, E., & Uebelacker, P. (2013). Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 47(6), 342–350.

<https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091448>

- Opar, D. A., Timmins, R. G., Behan, F. P., Hickey, J. T., Van Dyk, N., Price, K., & Maniar, N. (2021). Is Pre-season Eccentric Strength Testing During the Nordic Hamstring Exercise Associated with Future Hamstring Strain Injury? A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s40279-021-01474-1>
- Organisation du muscle squelettique*. (n.d.). https://www.researchgate.net/figure/Organisation-du-muscle-squelettique-Schema-adapte-du-site_fig1_40783388
- Pettrons, P. (2001). Ultrasound of muscles. *European Radiology*, 12(1), 35–43. <https://doi.org/10.1007/s00330-001-1164-6>
- Philippon, M. J., Ferro, F. P., Campbell, K. J., Michalski, M. P., Goldsmith, M. T., Devitt, B. M., Wijdicks, C. A., & LaPrade, R. F. (2015). A qualitative and quantitative analysis of the attachment sites of the proximal hamstrings. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(9), 2554–2561. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3074-6>
- Pincheira, P. A., Boswell, M. A., Franchi, M. V., Delp, S. L., & Lichtwark, G. A. (2021). *Biceps femoris long head sarcomere and fascicle length adaptations after three weeks of eccentric exercise training*. <https://doi.org/10.1101/2021.01.18.427202>
- Pizzari, T., Green, B., & Van Dyk, N. (2020). Extrinsic and intrinsic risk factors associated with hamstring injury. In *Prevention and Rehabilitation of Hamstring Injuries* (Springer, pp. 83–116).
- Pruna, R., Valle, X., Iqbal, Z., Maffulli, N., & Malliaropoulos, N. (2019). Sport specific rehabilitation: the Barcelona Football Club vision. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 08(03), 308–309. <https://doi.org/10.32098/mltj.03.2018.02>
- Reurink, G., Goudswaard, G. J., Oomen, H. G., Moen, M. H., Tol, J. L., Verhaar, J. A. N., & Weir, A. (2013). Reliability of the active and passive knee extension test in acute hamstring injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 41(8), 1757–1761. <https://doi.org/10.1177/0363546513490650>
- Ruddy, J. D., Pollard, C. W., Timmins, R. G., Williams, M. D., Shield, A. J., & Opar, D. A. (2018). Running exposure is associated with the risk of hamstring strain injury in elite Australian footballers. *Br J Sports Med*, 52, 919–928. <https://doi.org/10.1136/bjsports>
- Samilt, C. E., & Bonilla, E. (1990). Immunocytochemical study of dystrophin at the myotendinous junction. *Muscle Nerve*, 13(6), 493–500.
- Santi, G., & Pietrantonio, L. (2013). Psychology of sport injury rehabilitation: A review of models and interventions. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(4), 1029–1044. <https://doi.org/10.4100/jhse.2013.84.13>
- Sato, K., Nimura, A., Yamaguchi, K., & Akita, K. (2012). Anatomical study of the proximal origin of hamstring muscles. *Journal of Orthopaedic Science*, 17(5), 614–618. <https://doi.org/10.1007/s00776-012-0243-7>
- Schache, A. G., Kim, H. J., Morgan, D. L., & Pandy, M. G. (2010). Hamstring muscle forces prior to and immediately following an acute sprinting-related muscle strain injury. *Gait and Posture*, 32(1), 136–140. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.03.006>
- Schache, A. G., Wrigley, T. V., Baker, R., & Pandy, M. G. (2009). Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait and Posture*, 29(2), 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.10.054>
- Sconce, E., Jones, P., Turner, E., Comfort, P., & Graham-Smith, P. (2015). The validity of the nordic hamstring lower for a field-based assessment of eccentric hamstring strength. *Journal of Sport Rehabilitation*, 24(1), 13–20. <https://doi.org/10.1123/JSR.2013-0097>
- Sherry, MA, & Best, TM. (2004). A Comparison of 2 Rehabilitation Programs in the Treatment of Acute Hamstring Strains. *JOSPT*, 34(3), 116–125.
- Sherry, M. A., Johnston, T. S., & Heiderscheit, B. C. (2015). Rehabilitation of Acute Hamstring Strain Injuries. *Clinics in Sports Medicine*, 34(2), 263–284. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2014.12.009>
- Silder, A., Sherry, M. A., Sanfilippo, J., Tuite, M. J., Hetzel, S. J., & Heiderscheit, B. C. (2013). Clinical and Morphological Changes Following 2 Rehabilitation Programs for Acute Hamstring Strain Injuries: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical*

- Therapy*, 43(5), 284–299. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.4452>
- Sole, G., Milosavljevic, S., Nicholson, H., & Sullivan, S. J. (2011). Selective strength loss and decreased muscle activity in hamstring injury. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 41(5), 354–363. <https://doi.org/10.2519/jospt.2011.3268>
- Storey, R. N., Meikle, G. R., Stringer, M. D., & Woodley, S. J. (2016). Proximal hamstring morphology and morphometry in men: an anatomic and MRI investigation. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 26(12), 1480–1489. <https://doi.org/10.1111/sms.12625>
- Strandring, S., & Anand, N. (2016). Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice. In Elsevier.
- THELEN, D. G., CHUMANOV, E. S., HOERTH, D. M., BEST, T. M., SWANSON, S. C., LI, L., YOUNG, M., & HEIDERSCHEIT, B. C. (2005). Hamstring Muscle Kinematics during Treadmill Sprinting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(1), 108–114. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000150078.79120.C8>
- Tidball, J. G., & Quan, D. M. (1992). Reduction in myotendinous junction surface area of rats subjected to 4day spaceflight. *J Appl Physiol*, 73(1), 59–64. www.physiology.org/journal/jappl
- Tidball, J. G., Salem, G., Zernicke, R., & Zer-, R. (1993). Site and mechanical conditions for failure of skeletal muscle in experimental strain injuries. In *J. Appl. Physiol.* (Vol. 74, Issue 3). www.physiology.org/journal/jappl
- Timmins, R., Woodley, S., Shield, A., & Opar, D. (2020). Anatomy of the hamstrings. In *Prevention and Rehabilitation of Hamstring Injuries* (Springer, pp. 1–30). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-31638-9>
- Townsend, D. W. (2014). Finding the sweet spot: Assembly and glycosylation of the dystrophin-associated glycoprotein complex. *Anatomical Record*, 297(9), 1694–1705. <https://doi.org/10.1002/ar.22974>
- Tuo, Q., Wang, L., Huang, G., Zhang, H., & Liu, H. (2019). Running performance of soccer players during matches in the 2018 FIFA world cup: Differences among confederations. *Frontiers in Psychology*, 10(MAY). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01044>
- Verroll, G. M., Slavotinek, J. P., & Barnes, P. G. (2005). The effect of sports specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian Rules football players. *British Journal of Sports Medicine*, 39(6), 363–368. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018697>
- Wangensteen, A., Askling, C., Hickey, J., Purdam, C., Van der Made, A. D., & Thorborg, K. (2020). Rehabilitation of Hamstring Injuries. In *Prevention and Rehabilitation of Hamstring Injuries* (pp. 225–270).
- Wiesinger, H. P., Gressenbauer, C., Kösters, A., Scharinger, M., & Müller, E. (2020). Device and method matter: A critical evaluation of eccentric hamstring muscle strength assessments. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(2), 217–226. <https://doi.org/10.1111/sms.13569>
- Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., & Hodson, A. (2004). The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football - Analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38(1), 36–41. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002352>
- Worth, D. R. (1969). THE HAMSTRING INJURY IN AUSTRALIAN RULES FOOTBALL. *Australian Journal of Physiotherapy*, 15(3), 111–113. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(14\)61080-1](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(14)61080-1)
- Yin, H., Price, F., & Rudnicki, M. A. (2013). Satellite Cells and the Muscle Stem Cell Niche. *Physiol Rev*, 93, 23–67. <https://doi.org/10.1152/physrev.00043.2011.-Adult>

TABLE DES ANNEXES

Annexe I : Classification des blessures musculaires issue du consensus de Munich

Annexe II : Etapes de la régénération de la cellule musculaire (myogénèse)

Annexe III : Modèle bio-psycho-social de la blessure sportive

Annexe IV : Formulaire de consentement

Annexe V : Séance de réhabilitation en phase de régénération

Annexe VI : Jour 1 du bloc de 3 jours en phase de fonctionnelle

Annexe VII: Jour 2 du bloc de 3 jours en phase de fonctionnelle.

Annexe VIII : Jour 3 du bloc de 3 jours en phase de fonctionnelle

Annexe IX : Programme des séances de réhabilitation du joueur blessé

Annexe I :

Classification des blessures musculaires issue du consensus de Munich

(adapté de Mueller-Wohlfahrt et al., 2013)

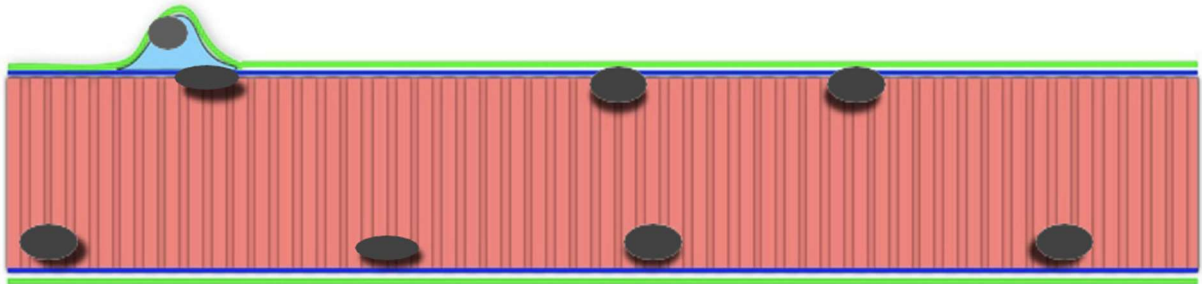
A. Indirect Muscle Disorder/ Injury	Functional Muscle Disorder	Type 1: Overexertion-related Muscle Disorder	Type 1A: Fatigue-induced Muscle Disorder
			Type 1B: DOMS
	Structural Muscle Injury	Type 2: Neuromuscular Muscle Disorder	Type 2A: Spine-related Muscle Disorder
			Type 2B: Muscle-related Muscle Disorder
	Structural Muscle Injury	Type 3: Partial Muscle Tear	Type 3A: Minor Partial Muscle Tear
			Type 3B: Moderate Partial Muscle Tear
Type 4: (Sub)Total Tear	Subtotal or Complete Muscle Tear		
		Tendinous Avulsion	
B. Direct Muscle Injury		Contusion	
		Laceration	

Annexe II :

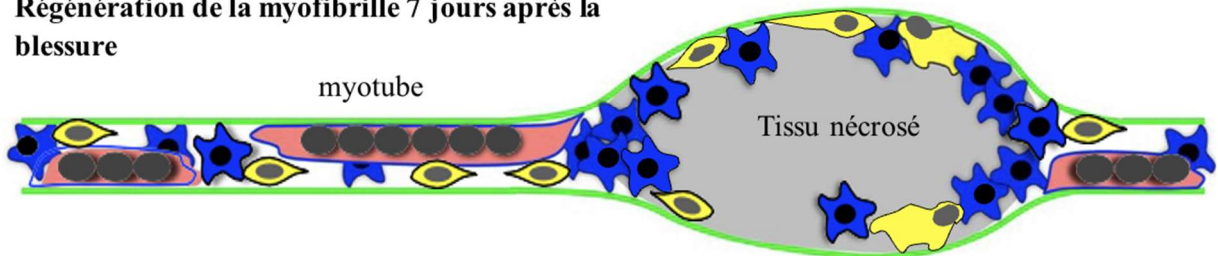
Etapes de la régénération de la cellule musculaire (myogénèse)

(adapté de Mackey & Kjaer, 2017)

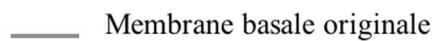
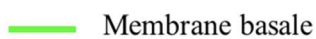
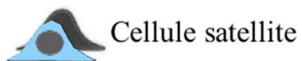
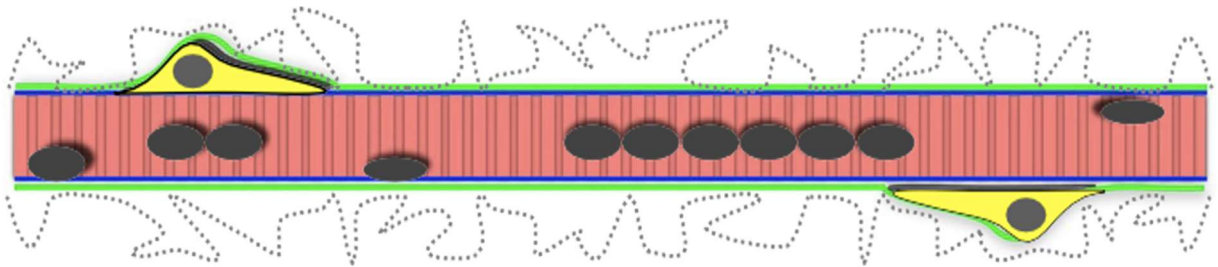
Myofibrille saine



Régénération de la myofibrille 7 jours après la blessure



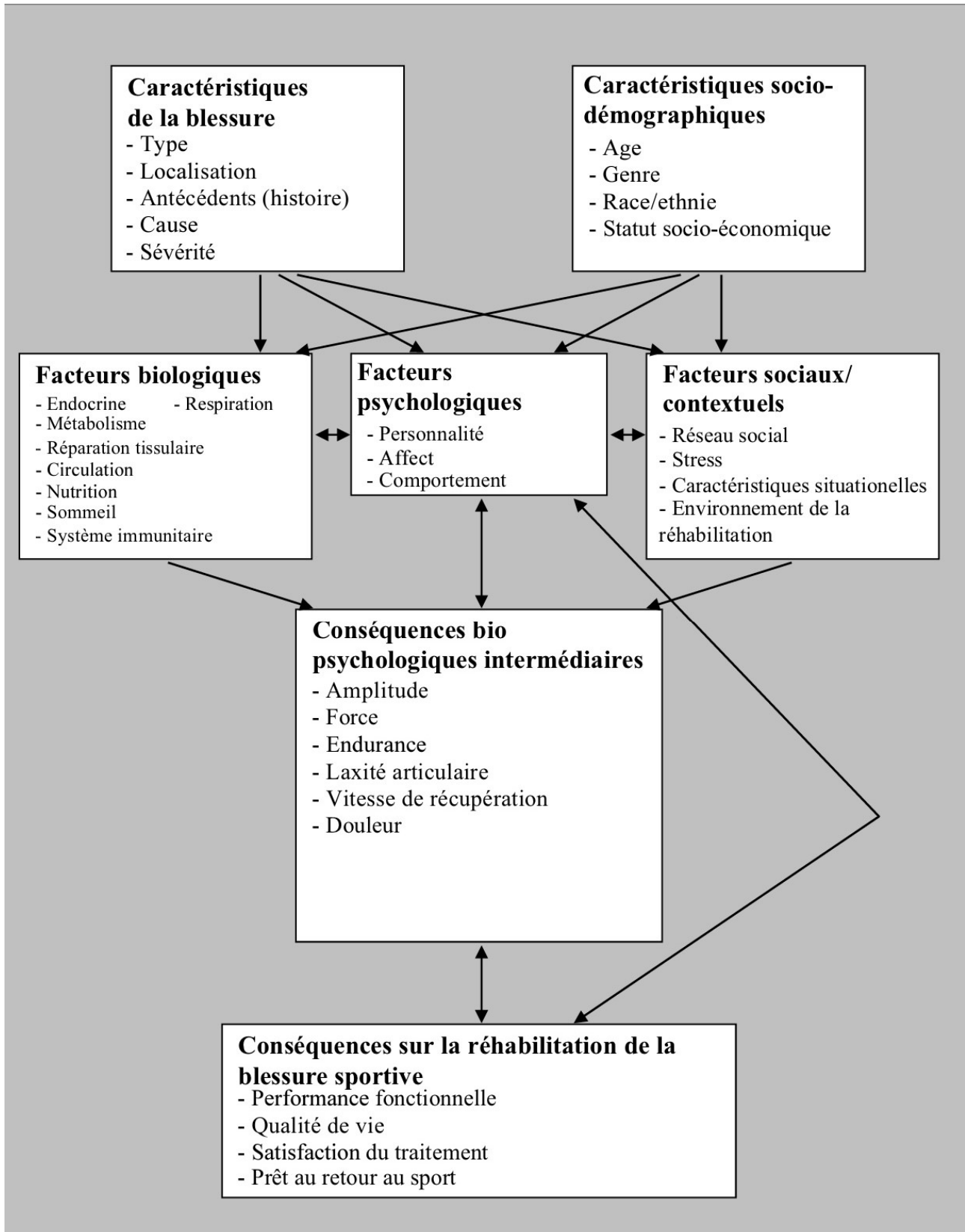
Régénération de la myofibrille 30 jours après la blessure



Annexe III :

Modèle bio-psycho-social de la blessure sportive

(adapté de Brewer, 2007; Santi & Pietrantonio, 2013)



Annexe IV :

Formulaire de consentement



UNIVERSITÉ DE NANTES

Objet : Demande d'autorisation, de réaliser et d'utiliser une photographie et/ou une vidéo et/ou un enregistrement audio à des fins de formation professionnelle.

Madame, Monsieur,

Afin de constituer un support nécessaire à la réalisation d'un document écrit, faisant lui-même l'objet d'une soutenance, dans le cadre d'un travail universitaire de Master 2 Entraînement et Optimisation de la Performance Sportive, les étudiant(e)s font appel à l'imagerie et son numérique.

En signant ce document, j'autorise Romain Biron, dans le respect de l'anonymat à exploiter, utiliser et diffuser les données recueillies par l'intermédiaire d'un enregistrement vidéo dans le strict cadre d'un travail universitaire.

Conformément à la loi, le libre accès aux données audio et vidéos qui vous concernent est garanti. Vous pourrez à tout moment disposer du droit de retrait de ces supports si vous le jugez utile

Fait aux Herbiers, le .../.../....

Signature de l'intéressé (précédé de la mention « lu et approuvé ») :

Signature de l'investigateur (Romain Biron) :

Annexe V :

Séance de réhabilitation en phase de régénération

(adapté de Mendiguchia et al., 2017)

Thérapie manuelle

- Massage (éviter la zone blessée) : IJ, triceps sural et fascia plantaire
- Mobilisation articulaire lombaire
- Mobilisation neurale en Slider (3*12 rep)
- Stimulation électrique neuro-musculaire

Étirements dynamiques

- Psoas avec rétroversion pelvienne (4*15s)
- Étirements dynamiques du quadriceps (2*8 rep)
- Étirements dynamiques des IJ avec fitball (2*8 rep)
- Étirements dynamiques des IJ en décubitus dorsal (2*8 rep)
 - o Départ flexion de genou
 - o Départ flexion de hanche

Renforcement des muscles fessiers : au choix chaque jour en fonction de la douleur et tolérance

- Option A :
 - o Extension de hanche en procubitus (2*10 rep*3s)
 - o Pont pelvien à une jambe avec kick controlatéral vers le haut (si toléré) (2*5 rep*3s)
 - o Pont pelvien (50% de la masse corporelle ; 3*6rep*3s)
- Option B :
 - o Hip thrust (40% de la masse corporelle ; 3*6rep*3s)
 - o Pont pelvien à une jambe avec kick controlatéral (si toléré) (10% de la masse corporelle ; 2*4 rep*3s)
 - o Hip thrust à une jambe avec kick controlatéral (si toléré) (3*6 rep*3s)
- Moyen fessier :
 - o Clamshell avec élastique (3*6 rep*3s)
 - o Abduction de hanche en latéro-cubitus avec élastique (3*6 rep*3s)

Renforcement des IJ

- Isométrique en procubitus (course moyenne et longue) (2*5rep*5s)
- Isométrique debout en course longue (2*5 rep*5s)
- Isométrique en rétroversion de bassin (2*5rep*3s)
- Excentrique manuel en procubitus jusqu'à toléré (2*8rep)

Stabilisateurs de cheville

- Double leg hamstring/gastrocnemius dissociation drill (3*6 rep)
- Single leg hamstring/gastrocnemius dissociation drill (2*6 rep)
- Alternance droite/gauche en saut sur pointe de pied (25% de la masse corporelle ; 2*10rep)

Contrôle lombo-pelvien

- Gainage latéral les pieds surélevés avec perturbations (2*5rep*5s)
- Gainage superman (2*5rep*5s)
- Gainage face avec bras devant et rétroversion du bassin (2*4rep*5s)
- Ciseaux jambiers mains sur le sol (2*5rep*5s)

Technique de course

- Exercices de courses dans le plan frontal :
 - o Pas chassés à intensité basse à modérée (10m*5rep)
 - o Pas croisés à intensité basse à modérée (10m*5rep)
 - o Pas avant-arrière par rapport à une ligne en bougeant latéralement à intensité basse à modérée (10m*5rep)
- Exercices de courses dans le plan sagittal
 - o 8 gammes athlétiques (skipping, montée de genoux...)
 - o Course sur 5m + 5m de décélération (4 rep)
 - o Course sur 10m + 5m de décélération (3 rep)
 - o Course sur 15m + 5m de décélération (2 rep)

Contenu vidéo disponible à l'adresse suivante : <http://links.lww.com/MSS/A882>

Annexe VI :

Jour 1 du bloc de 3 jours en phase de fonctionnelle

(adapté de Mendiguchia et al., 2017)

Thérapie manuelle

- Massage (éviter la zone blessée) : IJ, triceps sural et fascia plantaire
- Mobilisation articulaire lombaire
- Mobilisation neurale en Slider (3*12 rep)

Technique de course

- Échauffement :
 - o Etirements balistiques des IJ (2*6 rep)
 - o Triple extension balistique contre résistance élastique en position debout (2*5 rep)
- Gammes athlétiques sur haies avec médecine-ball tenu au-dessus de la tête (1 série en marchant à faible intensité, 1 série en bondissant à intensité supérieure)
 - o Griffé 1 jambe (2 rep)
 - o Griffé 2 jambes (2 rep)
 - o Skipping (2 rep)
 - o De profil (2 rep)
- Marche militaire (15m*2rep)
- Fente + deadlift (4 rep pour chaque membre inférieur)
- Fente + griffé (4 rep pour chaque membre inférieur)
- Skipping puis course progressive (20m*4 rep)
- Sprint bondissant (15m*3 rep)
- Sprint avec saut de haies (15m*1 rep)
- Sprint (15 secondes de repos pour chaque seconde de sprint)
 - o 5m (3 rep)
 - o 10m (3 rep)
 - o 15m (4 rep)
 - o 20m (3 rep)
 - o 30m (2 rep)
 - o 40m (1 rep)
- Sprint résisté en poussant ou tractant sur 5m (3 rep) et 10m (2 rep) (30% de la masse corporelle)

Contenu vidéo disponible à l'adresse suivante : <http://links.lww.com/MSS/A883>

Annexe VII :

Jour 2 du bloc de 3 jours en phase de fonctionnelle

(adapté de Mendiguchia et al., 2017)

Thérapie manuelle

- Massage (éviter la zone blessée) : IJ, triceps sural et fascia plantaire
- Mobilisation articulaire lombaire
- Mobilisation neurale en Slider (3*12 rep)

Étirements dynamiques

- Mobilité dynamique des IJ + étirements du psoas (2*5 rep)
- Étirements des IJ contre un mur (pousser/tirer) (3*3 rep)

Renforcement des muscles fessiers : au choix chaque jour en fonction de la douleur et tolérance

- Option A :
 - o Hip thrust à une jambe (10% de la masse corporelle ; 3*4 rep*3s)
 - o Hip thrust à 2 jambes (60% de la masse corporelle ; 3*8 rep*3s)
 - o Marche contre résistance (75% de la masse corporelle ; 15m*2 rep)
- Option B :
 - o Hip thrust à une jambe avec kick controlatéral (2*4 rep*3s)
 - o Extension du MI avec perturbations (2*4 rep)
 - o Triple extension balistique contre résistance élastique en position debout avec flexion de hanche controlatérale (2*3 changements)
- Moyen fessier (élastique aux genoux)
 - o Pas chassés avec élastique (5m*5 allers-retours)
 - o Marche du monstre avec élastique (5m*5 allers-retour)

Renforcement IJ : 4 exercices par session avec 2 exercices composante hanche et 2 exercices composante genou

- Composante hanche
 - o Deadlift à 2 jambes avec médecine ball de 4kg (2*8 rep)
 - o Fente (15% de la masse corporelle ; 2*6 rep)
 - o Deadlift/diver à une jambe avec 15kg en finissant le mouvement sur un banc (2*6 rep)
- Composante genou
 - o Slide leg curl à 2 jambes (2*6 rep)
 - o NHE (2*4 rep)
 - o Sprinter leg curl (2*6 rep)

Pliométrie

- Sauts à pieds joint avec réception en flexion du tronc/antéversion de bassin (2*4 rep)
- Double leg hop jump avec 5kg (2*4 rep)
- 2 sauts consécutifs en fente (3 fois)
- Single leg hop jump (2*3 rep)

Stabilisateurs de cheville

- Rebond alternés droite/gauche vers l'avant sur pointe de pied (20% de la masse corporelle ; 10m*4 rep)
- Rebond alternés droite/gauche vers l'avant et diagonale sur pointe de pied (20% de la masse corporelle ; 10m*4 rep)

Contrôle lombo-pelvien

- Gainage dynamique avec bras sur ballon de Klein (2*3 rep)
- Ciseaux jambiers mains sur le buste (2*5rep*5s)
- En position diver, rotation du buste avec 4kg (2*6 rep)
- TRX hélicoptère (2*4 rep)
- Sprinter push/pull talon surélevée en position longue des IJ (2*6 rep)

Contenu vidéo disponible à l'adresse suivante : <http://links.lww.com/MSS/A883>

Annexe VIII :

Jour 3 du bloc de 3 jours en phase de fonctionnelle

(adapté de Mendiguchia et al., 2017)

Thérapie manuelle

- Massage (éviter la zone blessée) : IJ, triceps sural et fascia plantaire
- Mobilisation articulaire lombaire
- Mobilisation neurale en Slider (3*12 rep)

Étirements dynamiques

- Mobilité dynamique des IJ + étirements du psoas (2*5 rep)
- Étirements des IJ contre un mur (pousser/tirer) (3*3 rep)

Contrôle lombo-pelvien

- Gainage dynamique avec bras sur ballon de Klein (2*3 rep)
- Ciseaux jambiers mains sur le buste (2*5rep*5s)
- En position diver, rotation du buste avec 4kg (2*6 rep)
- TRX hélicoptère (2*4 rep)
- Sprinter push/pull talon surélevée en position longue des IJ (2*6 rep)

Contenu vidéo disponible à l'adresse suivante : <http://links.lww.com/MSS/A883>

Annexe IX :

Programme des séances de réhabilitation du joueur blessé

	PHASE DE REGENERATION				PHASE FONCTIONNELLE	
	09-févr	10-févr	11-févr	12-févr	14-févr	
Etirements dynamiques	Psoas avec rétroversion pelvienne (4*15s) Étirements dynamiques du quadriceps (2*8 rep) Étirements dynamiques des IJ avec fitball (2*8 rep) Étirements dynamiques des IJ en décubitus dorsal (2*8 rep) o Départ flexion de genou o Départ flexion de hanche	IDEM	IDEM	IDEM		
Renforcement fessiers	Extension de hanche en procubitus (2*10 rep*3s) Pont pelvien à une jambe avec kick controlatéral vers le haut (si toléré) (2*5 rep*3s) Pont pelvien (39,5kg ; 3*6rep*3s) Clamshell avec élastique (3*6 rep*3s) Abduction de hanche en latérocubitus avec élastique (3*6 rep*3s)					Hip thrust (32 kg ; 3*6rep*3s) Pont pelvien à une jambe avec kick controlatéral (si toléré) (8 kg ; 2*4 rep*3s) Hip thrust à une jambe avec kick controlatéral (si toléré) (3*6 rep*3s) Clamshell avec élastique (3*6 rep*3s) Abduction de hanche en latérocubitus avec élastique (3*6 rep*3s)
Renforcement ischio-jambiers	Isométrique en procubitus (course moyenne et longue) (2*5rep*5s) Isométrique debout en course longue (2*5 rep*5s) Isométrique en rétroversion de bassin (2*5rep*3s) Excentrique manuel en procubitus jusqu'à toléré (2*8rep)					
Renforcement stabilisateurs de cheville	Double leg hamstring/gastrocnemius dissociation drill (3*6 rep) Single leg hamstring/gastrocnemius dissociation drill (2*6 rep) Alternance droite/gauche en saut sur pointe de pied (20kg ; 2*10rep)					
Contrôle lombo-pelvien	Gainage latéral les pieds surélevés avec perturbations (2*5rep*5s) Gainage superman (2*5rep*5s) Gainage face avec bras devant et rétroversion du bassin (2*4rep*5s) Ciseaux jambiers mains sur le sol (2*5rep*5s)					
Technique de course	Exercices de courses dans le plan frontal : o Pas chassés à intensité basse à modérée (10m*5rep) o Pas croisés à intensité basse à modérée (10m*5rep) o Pas avant-arrière par rapport à une ligne en bougeant latéralement à intensité basse à modérée (10m*5rep) Exercices de courses dans le plan sagittal o 8 gammes athlétiques (skipping, montée de genoux...) o Course sur 5m + 5m de décélération (4 rep) o Course sur 10m + 5m de décélération (3 rep) o Course sur 15m + 5m de décélération (2 rep) 3 remises pied droit / 3 remises pied gauche à chaque série de gammes et de course					IDEM
Pliométrie						
Aérobic				CAP : 4*5' à intensité faible ou modérée		
Volume (minutes)	95	90	95	115	80	
Intensité perçue (10)	7	6	6	6	8	

PHASE FONCTIONNELLE

15-févr	16-févr	17-févr	18-févr
Mobilité dynamique des IJ + étirements du psoas (2*5 rep) Étirements des IJ contre un mur (pousser/tirer) (3*3 rep)	Mobilité dynamique des IJ + étirements du psoas (2*5 rep) Étirements des IJ contre un mur (pousser/tirer) (3*3 rep)		Mobilité dynamique des IJ + étirements du psoas (2*5 rep) Étirements des IJ contre un mur (pousser/tirer) (3*3 rep)
Hip thrust à une jambe (8 kg ; 3*4 rep*3s) Hip thrust à 2 jambes (48 kg ; 3*8 rep*3s) Marche contre résistance (60 kg ; 15m*2 rep) Pas chassés avec élastique (5m*5 allers-retours) Marche du monstre avec élastique (5m*5 allers-retour)			Hip thrust à une jambe avec kick controlatéral (2*4 rep*3s) Extension du MI avec perturbations (2*4 rep) Triple extension balistique contre résistance élastique en position debout avec flexion de hanche controlatérale (2*3 changements) Pas chassés avec élastique (5m*5 allers-retours) Marche du monstre avec élastique (5m*5 allers-retour)
Composante hanche : o Deadlift à 2 jambes avec médecine ball de 4kg (2*8 rep) o Fente (12 kg ; 2*6 rep) Composante genou : o Slide leg curl à 2 jambes (2*6 rep) o NHE (2*4 rep)			Composante hanche : o Deadlift à 2 jambes avec médecine ball de 4kg (2*8 rep) o Deadlift/diver à une jambe avec 15kg en finissant le mouvement sur un banc (2*6 rep) Composante genou : o Sprinter leg curl (2*6 rep) o NHE (2*4 rep)
Rebond alternés droite/gauche vers l'avant sur pointe de pied (16 kg ; 10m*4 rep) Rebond alternés droite/gauche vers l'avant et diagonale sur pointe de pied (16 kg ; 10m*4 rep)			Rebond alternés droite/gauche vers l'avant sur pointe de pied (16 kg ; 10m*4 rep) Rebond alternés droite/gauche vers l'avant et diagonale sur pointe de pied (16 kg ; 10m*4 rep)
Gainage dynamique avec bras sur ballon de Klein (2*3 rep) Ciseaux jambiers mains sur le buste (2*5rep*5s) En position diver, rotation du buste avec 4kg (2*6 rep) TRX hélicoptère (2*4 rep) Sprinter push/pull talon surélevée en position longue des IJ (2*6 rep) Jeu long contre résistance élastique (2*5 rep)	Gainage dynamique avec bras sur ballon de Klein (2*3 rep) Ciseaux jambiers mains sur le buste (2*5rep*5s) En position diver, rotation du buste avec 4kg (2*6 rep) TRX hélicoptère (2*4 rep) Sprinter push/pull talon surélevée en position longue des IJ (2*6 rep)		Gainage dynamique avec bras sur ballon de Klein (2*3 rep) Ciseaux jambiers mains sur le buste (2*5rep*5s) En position diver, rotation du buste avec 4kg (2*6 rep) TRX hélicoptère (2*4 rep) Sprinter push/pull talon surélevée en position longue des IJ (2*6 rep) Jeu long contre résistance élastique (2*5 rep)
		Échauffement : o Etirements balistiques des IJ (2*6 rep) o Triple extension balistique contre résistance élastique en position debout (2*5 rep) Gammes athlétiques sur haies avec médecine ball tenu au-dessus de la tête (1 série en marchant à faible intensité, 1 série en bondissant à intensité supérieure) o Griffé 1 jambe (2 rep) o Griffé 2 jambes (2 rep) o Skipping (2 rep) o De profil (2 rep) Marche militaire (15m*2rep) Fente + deadlift (4 rep pour chaque membre inférieur) Fente + griffé (4 rep pour chaque membre inférieur) Skipping puis course progressive (20m*4 rep) Sprint bondissant (15m*3 rep) Sprint avec saut de haies (15m*1 rep) Sprint (15 secondes de repos pour chaque seconde de sprint) : 5m (3 rep) 10m (3 rep) 15m (4 rep) 20m (3 rep) 30m (2 rep) 40m (1 rep) Sprint résisté en poussant ou tractant sur 5m (3 rep) et 10m (2 rep) (24 kg)	
Sauts à pieds joint avec réception en flexion du tronc/antéversion de bassin (2*4 rep) Double leg hop jump avec 5kg (2*4 rep) 2 sauts consécutifs en fente avec une tête (3 fois) Single leg hop jump avec une tête (2*3 rep)			Sauts à pieds joint avec réception en flexion du tronc/antéversion de bassin (2*4 rep) Double leg hop jump avec 5kg (2*4 rep) 2 sauts consécutifs en fente avec une tête (3 fois) Single leg hop jump avec une tête (2*3 rep)
CAP : 2*10' à intensité modérée ou élevée			CAP : 2*10' à intensité modérée ou élevée
120	35	85	115
9	6	7	8

PHASE FONCTIONNELLE

MOYENNE

19-févr	20-févr	22-févr	23-févr	
Mobilité dynamique des IJ + étirements du psoas (2*5 rep) Étirements des IJ contre un mur (pousser/tirer) (3*3 rep)		Mobilité dynamique des IJ + étirements du psoas (2*5 rep) Étirements des IJ contre un mur (pousser/tirer) (3*3 rep)	Mobilité dynamique des IJ + étirements du psoas (2*5 rep) Étirements des IJ contre un mur (pousser/tirer) (3*3 rep)	
		Hip thrust à une jambe avec kick controlatéral (2*4 rep*3s) Extension du MI avec perturbations (2*4 rep) Triple extension balistique contre résistance élastique en position debout avec flexion de hanche controlatérale (2*3 changements) Pas chassés avec élastique (5m*5 allers-retours) Marche du monstre avec élastique (5m*5 allers-retour)		
		Composante hanche : o Fente (12 kg ; 2*6 rep) o Deadlift/diver à une jambe avec 15kg en finissant le mouvement sur un banc (2*6 rep) Composante genou : o Sprinter leg curl (2*6 rep) o NHE (2*4 rep) Rebond alternés droite/gauche vers l'avant sur pointe de pied (16 kg ; 10m*4 rep) Rebond alternés droite/gauche vers l'avant et diagonale sur pointe de pied (16 kg ; 10m*4 rep)		
Gainage dynamique avec bras sur ballon de Klein (2*3 rep) Ciseaux jambiers mains sur le buste (2*5rep*5s) En position diver, rotation du buste avec 4kg (2*6 rep) TRX hélicoptère (2*4 rep) Sprinter push/pull talon surélevée en position longue des IJ (2*6 rep)		Gainage dynamique avec bras sur ballon de Klein (2*3 rep) Ciseaux jambiers mains sur le buste (2*5rep*5s) En position diver, rotation du buste avec 4kg (2*6 rep) TRX hélicoptère (2*4 rep) Sprinter push/pull talon surélevée en position longue des IJ (2*6 rep) Jeu long contre résistance élastique (2*5 rep)	Gainage dynamique avec bras sur ballon de Klein (2*3 rep) Ciseaux jambiers mains sur le buste (2*5rep*5s) En position diver, rotation du buste avec 4kg (2*6 rep) TRX hélicoptère (2*4 rep) Sprinter push/pull talon surélevée en position longue des IJ (2*6 rep)	
	Échauffement : o Etirements balistiques des IJ (2*6 rep) o Triple extension balistique contre résistance élastique en position debout (2*5 rep) Gammes athlétiques sur haies avec médecine ball tenu au-dessus de la tête (1 série en marchant à faible intensité, 1 série en bondissant à intensité supérieure) o Griffé 1 jambe (2 rep) o Griffé 2 jambes (2 rep) o Skipping (2 rep) o De profil (2 rep) Marche militaire (15m*2rep) Fente + deadlift (4 rep pour chaque membre inférieur) Fente + griffé (4 rep pour chaque membre inférieur) Skipping puis course progressive (20m*4 rep) Sprint bondissant (15m*3 rep) Sprint avec saut de haies (15m*1 rep) Sprint (15 secondes de repos pour chaque seconde de sprint) : 5m (3 rep) 10m (3 rep) 15m (4 rep) 20m (3 rep) 30m (2 rep) 40m (1 rep) Sprint résisté en poussant ou tractant sur 5m (3 rep) et 10m (2 rep) (24 kg)			
		Sauts à pieds joint avec réception en flexion du tronc/antéversion de bassin (2*4 rep) Double leg hop jump avec 5kg (2*4 rep) 2 sauts consécutifs en fente avec une tête (3 fois) Single leg hop jump avec une tête (2*3 rep)		
			CAP : 2*10' à intensité modérée ou élevée	
30	75	100	50	83,5
6	8	8	6	7,00

Résumé

Introduction & Objectifs : La lésion myo-aponévrotique (LMA) des ischio-jambiers (IJ) constitue la blessure la plus fréquente et récidivante rencontrée par les footballeurs de haut niveau. La force excentrique des IJ représente le facteur de risque majoritaire de cette blessure. La réhabilitation qui suit la blessure aux IJ doit permettre au footballeur de revenir à son meilleur niveau de performance sans pour autant risquer une future blessure similaire. Le protocole de réhabilitation individualisé, multifactoriel et algorithmique de Mendiguchia et al. (2017) semble permettre une diminution significative du risque de récurrence de LMA des IJ. L'objectif de notre étude est de déterminer l'effet de ce protocole de réhabilitation sur la force excentrique des IJ et, par conséquent, sur le risque de récurrence de LMA des IJ chez le footballeur de haut niveau.

Matériel & Méthode : Un protocole prospectif a été réalisé avec l'équipe professionnelle du Vendée Les Herbiers Football. La force excentrique des IJ des joueurs a été évaluée grâce à l'angle de rupture de flexion de genou lors de la réalisation d'un Nordic Hamstring Exercise (NHE). Un seul joueur a subi une LMA des IJ et a donc pu effectuer le protocole de réhabilitation individualisé, multifactoriel et algorithmique. A l'issue de cette période de réhabilitation une seconde évaluation de la force excentrique des IJ a été réalisée pour ce joueur.

Résultats : Une augmentation de 10,75 degrés de l'angle de rupture de flexion de genou lors du NHE du joueur blessé a été enregistrée entre les deux temps d'évaluation. Une amélioration cliniquement significative de la force excentrique des IJ du joueur blessé a donc été constatée.

Discussion & Conclusion : Nous ne pouvons affirmer que le gain de force excentrique des IJ du joueur blessé soit lié au protocole de réhabilitation mis en place compte tenu de nos biais méthodologiques et de notre faible population étudiée. Ainsi, il est difficile de conclure sur une possible réduction du risque de récurrence de LMA des IJ par l'utilisation d'un protocole de réhabilitation individualisé, multifactoriel et algorithmique pour le footballeur de haut niveau au travers de notre étude de cas. Ce protocole devrait faire l'objet de plus d'investigations.

Mots clés

- Footballeur(s)
- Ischio-jambiers/IJ
- Lésion myo-aponévrotique/LMA
- Protocole de Réhabilitation
- Récidive

Abstract

Introduction & Objectives: Hamstring strain injury (HSI) is the most often injury for professional soccer players with a high rate of re-injuries. Hamstring eccentric strength is the major modifiable risks factors of HSI. During the rehabilitation the aim is to return to performance for the soccer player but also to prevent the risk of hamstring re-injury. The individualised, multifactorial and algorithmic rehabilitation program of Mendiguchia and al. (2017) shows a significant reduction of hamstring re-injuries for professional soccer players. Our aim is to determine if this rehabilitation program allows an improvement in eccentric hamstring strength and therefore a reduction of hamstring re-injury risk for elite soccer player.

Material & Method: A prospective protocol was implemented with the Vendée Les Herbiers Football team's elite players. Soccer players' hamstring eccentric strength was assessed using the Nordic hamstring exercise Break-Point Angle (NBPA). Only one soccer player underwent an HSI and was, therefore, able to complete the individualized, multifactorial and algorithmic rehabilitation protocol. At the end of this rehabilitation period a second hamstring eccentric strength assessment was carried out for this player.

Results: A 10.75 degrees improvement of the NBPA was recorded between the different evaluation times. Therefore, a significant clinically improvement of the injured soccer player's hamstring eccentric strength was noted.

Discussion & Conclusion: We cannot conclude that the improvement of the injured player's hamstring eccentric strength is linked to the rehabilitation protocol implemented given our methodological biases and our small studied population. Thus, it is difficult to conclude on a possible hamstring strain re-injuries risk reduction through the use of an individualized, multifactorial and algorithmic rehabilitation protocol for elite soccer player in our case study. Further investigations should be realized for this protocol.

Key words

- Soccer player(s)
- Hamstring
- Muscle Strain Injury
- Rehabilitation Protocol
- Re-injury