

Lésions musculaires du membre inférieur et kinésithérapie

François Delvaux^{1,2}, Jean-François Kaux^{1,2} & Jean-Louis Croisier^{1,2}

¹ Département des Sciences de l'Activité Physique & de la Réadaptation, Université de Liège, Belgique

² SportS², Centre Médical d'Excellence de la FIFA, Réseau Francophone Olympique de Recherche en Médecine du sport, Centre de Médecine du Sport de la FIMS, CHU & Université de Liège, Belgique

Correspondance : François Delvaux, PT, PhD

Université de Liège, Liège, Belgique

Allée des Sports 4 – 4000 Liège – Belgique

+32 4 366.38.95

fdelvaux@uliege.be

Adresses mails co-auteurs :

jfkaux@uliege.be

jlcroisier@uliege.be

Résumé

Les lésions musculaires du membre inférieur représentent des pathologies particulièrement fréquentes dans la plupart des sports à dimension explosive comme le football ou les disciplines courtes en athlétisme. Les taux élevés de récidive plaident en faveur d'une rééducation de qualité, au travers de différentes phases distinctes depuis le traitement immédiat sur terrain jusqu'au retour sur terrain, et basée sur de multiples paramètres : une remise en charge précoce et progressive jusqu'à développer des intensités similaires à celles rencontrées lors de l'activité sportive pratiquée par le patient, l'éducation à l'auto-gestion et à la place centrale de l'exercice dans le traitement, une action sur les principaux facteurs de risque lésionnels, une gestion de charge de qualité et un programme de réathlétisation adapté. Le kinésithérapeute adaptera les sollicitations d'une part en fonction de la discipline sportive pratiquée par le patient afin d'orienter la rééducation vers une tâche spécifique, et d'autre part en fonction de l'évolution du patient, objectivée par des évaluations régulières. Dans l'optique de réduire le risque de récidive à moyen et long terme, le kinésithérapeute pourra insister sur l'importance de la prise en charge préventive autonome du patient en le sensibilisant à cinq paramètres incontournables : entretenir les qualités musculaires développées durant la rééducation, gérer sa charge de travail de manière équilibrée, travailler la stabilité lombo-pelvienne, développer la condition physique via des situations ou contextes dans lesquels la musculature est sollicitée de manière maximale, et optimaliser des qualités de gestuelle.

Mots clés

Lésion musculaire, rééducation, réathlétisation, remise en charge, progressivité, gestion de charge.

1. Introduction

Les lésions musculaires (LM) du membre inférieur constituent des blessures fréquentes, survenant en particulier lors d'activités sportives dans lesquelles des courses à vitesse maximale, des sauts, des changements brusques de direction ou des shoots sont présents [1]. Elles représentent un défi pour le kinésithérapeute en charge de traiter de telles blessures : d'une part car les taux de récidives des LM apparaissent élevés [2] ; d'autre part car les études longitudinales récentes indiquent que l'incidence lésionnelle des LM ne semble pas diminuer ces dernières années, soulignant l'importance de mesures préventives primaires et secondaires [3,4]. Une rééducation de qualité, finalisée à la fois par un retour sur terrain avec un risque minimal de récidive et par un niveau de performance optimal retrouvé rapidement par le sportif, devrait idéalement s'appuyer sur la littérature scientifique qui propose des lignes de conduite face à ce type de pathologie. Cet article de synthèse a pour objectif de décrire les principales composantes de la rééducation pour LM des membres inférieurs, indépendamment de la localisation précise de la blessure et de son degré de sévérité.

2. Épidémiologie, mécanismes lésionnels et facteurs de risque

La quasi-totalité des LM du membre inférieur sont localisées sur quatre groupes de muscles polyarticulaires : les ischio-jambiers, le quadriceps, les adducteurs et le triceps sural [5]. Dans la majorité des sports concernés (football, athlétisme, danse, rugby, ...), ce sont les ischio-jambiers (IJ) qui sont atteints préférentiellement [6] : en football, on estime que 10 à 23% des blessures totales du footballeur sont des LM**IJ** et que celles-ci représenteraient 37 à 54% des blessures musculaires [7,8] ; en athlétisme, les données épidémiologiques classent également les LM**IJ** en tant que blessures dont l'incidence est la plus élevée, en particulier lors des épreuves de sprints, haies, sauts ou encore d'épreuves multiples comme le décathlon [9]. Les LM aux adducteurs de hanche (LMAH) surviennent fréquemment lors de sports comme le football ou le rugby mais le sport à l'incidence la plus élevée est le hockey sur glace où l'on estime que la LMAH représente environ 10% des blessures totales et 43% des blessures musculaires [10].

La grande majorité des LM surviennent dans des situations de compétition et où aucun contact avec un individu ou un élément extérieur n'est observé [8] ; il s'agit donc le plus fréquemment de lésions indirectes qui correspondent à un mécanisme lésionnel intrinsèque où la force développée par le muscle dépasse sa capacité [5]. Les lésions directes, liées à un mécanisme extrinsèque comme un contact brutal avec un adversaire (amenant une contusion ou une laceration), apparaissent donc plus rares. La LM**IJ** survient majoritairement lors d'un sprint : parfois lors de la phase d'appui du pied au sol, mais plus fréquemment lors de la phase de *terminal swing* ou fin de phase oscillante [11]. Durant cette phase, les IJ se contractent en mode excentrique dans un mouvement à haute vitesse angulaire (plus de 1000°/s) et à un degré d'allongement musculaire élevé induit par la combinaison des mouvements de flexion de hanche et d'extension de genou [12]. La longue portion du biceps fémoral (en particulier à proximité des cloisons et aponévroses) représente, dans la quasi-totalité des LM**IJ** chez le sportif qui sprinte, le site exact de la blessure [13]. Comparativement au sprint, une proportion moindre de LM**IJ** peut également se développer lors d'un « overstretch » ou allongement excessif dans des activités telles que la danse ou les arts martiaux ; pour ce type de mécanisme, l'atteinte se localise plutôt généralement en proximal sur le tendon du muscle semi-membraneux [14].

La lésion musculaire du droit fémoral (LMDF) représente la localisation quasiment exclusive des LM du quadriceps [15]. Deux grandes situations sportives favorisent ce type de blessure : le shoot (50 à 60% des cas) et le sprint (30 à 40% des cas) [15]. Dans le shoot, les moments les plus délicats correspondent soit au *early swing* (début de phase oscillante) où le sportif combine une extension de

hanche et une flexion de genou, produisant un allongement musculaire maximal ; soit au moment de l'impact avec le ballon qui représente une surcharge brusque sur le quadriceps dans un contexte de vitesse gestuelle très élevée. Les LMDF qui surviennent lors du sprint peuvent se produire tant durant la phase d'accélération (en particulier lors du *early swing*) que lors de phase de décélération où le quadriceps doit absorber en un temps minime des forces négatives importantes via une contraction excentrique maximale [15]. La LMAH (qui atteint essentiellement le long adducteur) implique généralement une position d'abduction de la hanche plaçant les adducteurs à un degré élevé d'allongement musculaire, en association éventuelle avec une inclinaison homolatérale du tronc. En football, quatre situations spécifiques menant à une LMAH ont été décrites : le changement de direction, le *shoot*, l'*overstretch* ou encore le saut [16]. Enfin, la lésion musculaire du triceps sural (LMTS) peut concerner le soléaire ou les gastrocnémiens (surtout décollement myoaponévrotique entre gastrocnémien médial et soléaire) et se produit dans des contextes de sauts, courses à moyenne/haute vitesse ou encore de changements de direction [17].

Les principaux facteurs de risque non modifiables sont un historique de LM (premier facteur de risque), l'âge, le côté dominant et le contexte de jeu (compétition versus entraînement) ; les facteurs de risque modifiables sont plus nombreux : charge mal équilibrée et/ou congestion du calendrier sportif, déséquilibre de force musculaire, architecture musculaire (longueur de fascicules, angles de pennation), stabilité lombo-pelvienne, coordination, qualités de gestuelle, qualité d'échauffement, qualité et quantité de sommeil, fatigue, souplesse, facteurs psycho-sociaux, etc. [18–22].

3. Classifications médicales

Il existe différents systèmes de classification des lésions musculaires en relation avec la clinique et/ou l'imagerie. Invariablement et indépendamment du système choisi, il apparaît essentiel de confronter les données en provenance de l'imagerie avec les données cliniques et fonctionnelles. Outre les méthodes de classification datant de 10 ans ou plus, (O'Donoghue, Jackson, Takebayashi, Peetrons, Ryan, Durey et Rodineau, Stoller, Cohen, Chan, ...), plusieurs groupes d'experts ont récemment développé de nouveaux systèmes de classification. Citons notamment :

- Le **Munich consensus statement** [23] qui différencie, parmi les blessures musculaires indirectes, les troubles fonctionnels (type 1a = troubles fonctionnels induits par la fatigue ; type 1b = douleurs musculaires d'apparition retardée – DOMS ; types 2a et 2b = troubles neuromusculaires d'origine centrale ou périphérique) et les lésions structurelles (type 3a = lésion mineure partielle du muscle ; type 3b = lésion modérée partielle ; type 4 = ruptures musculaires (sub)totales et avulsions tendineuses).
- La **British Athletics Muscle Injury Classification** (BAMIC)[24] propose d'associer d'une part l'étendue de la blessure selon 5 stades lésionnels progressifs basés sur l'imagerie par résonance magnétique (stade 0 = DOMS ; stade 1 = lésion minime ; stade 2 = lésion modérée ; stade 3 = lésion étendue ; stade 4 = lésion complète) et d'autre part le site de la lésion (a = myofascial ; b = musculaire/musculo-tendineux ; c = intratendineux).
- Le **MLG-R** [25]. Cette classification renvoie à l'usage de quatre lettres : M pour mécanisme de blessure (direct, indirect lors d'un sprint ou indirect lors d'un *overstretch*), L pour localisation (tiers proximal, moyen ou distal du muscle), G pour grade (stades lésionnels 0 à 3) et R pour nombre de récidives (0 = premier épisode ; 1 = première récidive ; etc.).

Ces systèmes de classification présentent chacun des spécificités, et leur comparaison ne permet pas de définir la supériorité de l'un par rapport aux autres [26]. L'élément le plus important consiste probablement à ce que l'ensemble des intervenants d'une structure médicale utilise la même

classification afin d'éviter les erreurs de communication au détriment d'une récupération optimale du joueur. Il est communément admis qu'un diagnostic précis via la clinique et l'imagerie (échographie et/ou Imagerie par Résonance Magnétique) apparaît nécessaire pour réaliser une prise en charge optimale et obtenir une idée du délai approximatif requis avant le retour au jeu [27].

4. Concepts et principes généraux de rééducation des lésions musculaires

La temporalité de la rééducation des pathologies sportives telles que les LM est à intégrer dans un concept plus large de *return to play process* (RTP) ou processus de retour au jeu du sportif blessé. Le RTP représente la période comprise entre la survenue de la blessure et le retour de la performance optimale du sportif, ce qui dépasse largement le cadre de la rééducation. Plusieurs composantes principales du RTP ont été proposées mais les terminologies employées par ceux-ci diffèrent, ce qui peut compliquer la tâche du praticien et mener à des difficultés de communication entre les différents intervenants du suivi du sportif (kinésithérapeutes, médecins, préparateurs physiques, entraîneurs, etc.). Ainsi, le consensus de Berne identifie trois phases dans le RTP : le retour à la participation, le retour au sport et le retour à la performance [28] ; le consensus italien de 2020 détermine uniquement deux phases successives : le retour à l'entraînement et le retour au jeu [29] ; Buckthorpe et al. considèrent qu'après une phase précoce de rééducation, une rééducation sur terrain doit être incluse dans le processus et doit être suivie d'un retour à l'entraînement, à la compétition et enfin à la performance [30] ; enfin, Green et al. évoquent des phases précoce et intermédiaire de rééducation continuées par des phases de retour complet à l'entraînement, retour au jeu et de post-retour au jeu (prévention secondaire) [17]. Nous proposons dans la figure 1 une tentative d'harmonisation de ces modèles, avec les différentes phases et leur contenu principal respectif.

Les principes essentiels de rééducation des LM sont les suivants [31–36]:

- Démarrer le processus de RTP en gardant en tête l'objectif final : le retour au jeu avec un risque de récidive minimal ainsi qu'un niveau de performance rapidement identique à la période d'avant blessure ;
- Établir une communication efficace entre les différents intervenants du domaine médical (médecins, kinésithérapeutes) et du domaine sportif (préparateur physique, entraîneur), avec l'athlète lui-même au centre de cette communication ;
- Éduquer le patient à comprendre la place centrale de l'exercice dans le processus et à auto-gérer les séances d'exercices à domicile préparées par le kinésithérapeute ;
- Soumettre le patient à des sollicitations progressives pour augmenter graduellement la capacité du patient à tolérer des contraintes similaires à celles auxquelles il sera exposé lors de son retour au jeu. Lors de chaque séance, ces exercices doivent être individualisés et adaptés aux caractéristiques du patient à l'instant « t » où il les réalise : capacités fonctionnelles, douleur, niveau de compétence, forme du jour, motivation, ...L'exercice réalisé par le patient n'est pas choisi au hasard : préalablement planifié, il est placé dans une suite logique et cohérente d'exercices d'intensité progressive jusqu'à intensité maximale ;
- Évaluer régulièrement le patient pour cibler les déficits et (ré-)orienter le contenu rééducatif en fonction de l'évolution du patient : douleur, sensations subjectives, force, mobilité, capacités fonctionnelles générales et spécifiques à la discipline sportive, ...Plus le kinésithérapeute aura une vision d'ensemble claire et exhaustive de l'état de santé du patient, plus il pourra proposer une rééducation en adéquation avec les besoins de celui-ci. Un suivi de

la charge de travail permettra également une progression cohérente vers le retour au jeu via une exposition du patient à des contraintes graduellement majorées ;

- Identifier les principaux facteurs de risque de récidive et agir sur ceux-ci ;
- Dès le début de la prise en charge, freiner le déconditionnement et puis progressivement restaurer une condition physique et une capacité de performance en lien avec les demandes de la discipline sportive.

4.1. Traitement immédiat de la blessure

L'évidence scientifique quant au traitement immédiat d'une blessure sur le terrain apparaît très limitée. Les recommandations empiriques de repos, froid, compression et élévation du membre blessé (*RICE*) [37,38] ont été quelque peu adaptées au fil du temps : *PRICE* avec l'ajout de la notion de *Protection* du muscle atteint [39], puis *POLICE* avec le remplacement de la notion de repos par *Optimal Loading* pour insister sur le besoin de remise en charge précoce [40]. Une différence notable peut être apportée entre la prise en charge immédiate des lésions musculaires résultant d'un contact direct (contusion) et celles ne résultant d'aucun contact : si la réalisation d'étirements n'est pas recommandée dans les blessures de non contact afin d'éviter tensions et lésions supplémentaires, la formation d'un hématome résultant d'une contusion pourrait être réduite grâce à la contre-pression induite par les étirements en aigu [41]. Dubois & Esculier ont récemment proposé l'acronyme *PEACE* (suivi du *LOVE* comme lignes de conduite de la rééducation en période subaiguë) [42] : si les notions de protection, élévation et compression restent inchangées par rapport aux précédentes recommandations, les auteurs préconisent d'une part l'*Éducation* du patient quant à l'absence d'efficacité de techniques passives (électrothérapie, thérapie manuelle, acupuncture, ...), et d'autre part questionnent la pertinence de la cryothérapie en tant qu'agent anti-inflammatoire (lettre « A » pour « *Anti-inflammatoires à éviter* »). Déplorant l'absence d'évidence scientifique de la cryothérapie en traitement immédiat des lésions des tissus mous, ils rappellent que l'usage du froid pourrait potentiellement perturber les phénomènes d'inflammation, l'angiogenèse et la revascularisation du tissu lésé, mais aussi retarder l'infiltration des neutrophiles et des macrophages [43]. Au final, ces phénomènes pourraient donc impacter négativement la réparation du muscle blessé.

Tableau 1. Définition des acronymes utilisés en traitement immédiat des lésions musculaires

RICE (1978) [37]	Repos Ice (glace) Compression Élévation
PRICE (1998) [39]	Protection Ice (glace) Compression Élévation
POLICE (2012) [40]	Protection Optimal Loading (charge optimale) Ice (glace) Compression Élévation
PEACE (2020) [42]	Protection Élévation Anti-inflammatoires (dont la glace) à éviter Compression Éducation

4.2. Rééducation en phase précoce

Il est important de démarrer la rééducation le plus tôt possible après la survenue de la blessure. Bayer et al. ont en effet démontré qu'une rééducation après lésion musculaire des membres inférieurs démarrant au deuxième jour post trauma réduisait de manière significative (gain médian de 3 semaines) le délai de récupération comparativement à un début au neuvième jour [44]. Ainsi, même si la réalisation d'éventuels examens complémentaires comme une échographie peut parfois nécessiter un certain délai, débuter la rééducation au plus vite représente assurément une priorité. Les éléments principaux de l'anamnèse et de l'examen clinique de kinésithérapie sont repris dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2. Éléments principaux de l'anamnèse kinésithérapeutique d'un patient avec lésion musculaire des membres inférieurs

Données générales	Âge ? Latéralité ? Profession ? Impact de la blessure sur l'activité professionnelle ? Activité physique : type, niveau de jeu, fréquence, volume hebdomadaire, intensité moyenne ?
Circonstances d'apparition	Temporalité : Date de la blessure ? Entraînement ou compétition ? Moment de l'entraînement ou de la compétition ? Moment de la saison ? Mécanisme lésionnel : <ul style="list-style-type: none"> • Ischio-jambiers : sprint (accélération ou décélération) ? Overstretch ? • Quadriceps : shoot ? Sprint ? Overstretch ? • Adducteurs : changement de direction ? Shoot ? Overstretch ? Saut ? • Triceps sural : saut ? Changement de direction ? Sprint ? Qualité de l'échauffement préalable à la blessure ? Possibilité de continuer l'activité sur le moment ? Mise en charge possible sur le moment ? Sensation de « muscle qui cède/se déchire » ? Bruit audible ? Autres : Sensation musculaire particulière lors de la semaine précédant la blessure (tension, inconfort, contracture) ? Traitement immédiat ?
Douleur	Localisation ? Apparition aiguë ou progressive ? Intensité (échelle numérique / visuelle analogique) : au moment de l'apparition de la blessure/ <i>Present pain</i> /Au repos ? Fonction : douleur à la marche/à la montée ou descente des escaliers/à une activité spécifique ? Autres facteurs aggravants ?
Antécédents lésionnels	Premier épisode ou récidive ? Autres épisodes et/ou localisations de lésions musculaires ? Si historique de blessure : date(s), type(s) de traitement(s), durée et contenu de rééducation ? Autres pathologies ou condition de santé notables ?
Charge	Charge de travail : semaine & mois précédent la blessure ? Dates des derniers entraînements et compétitions ? Modifications récentes de la charge ? Charge extra-sportive : stress ou état émotionnel particulier avant la blessure ? État de fatigue ? Qualité/quantité de sommeil ? Nutrition/hydratation ? Prise de médicaments particuliers (corticoïdes, ...) ? Tabac ?
Autres	Examens complémentaires ? Présence d'un hématome intra- ou intermusculaire ? Auto-traitements ? Données de la prescription médicale et traitement recommandé par le médecin prescripteur ?

Tableau 3. Éléments principaux de l'examen clinique kinésithérapeutique d'un patient avec lésion musculaire des membres inférieurs

Observation	Globale : aide de béquille(s) ? Présence d'une boiterie ? Aisance au moment de s'asseoir et/ou de se relever d'une chaise ? Locale : présence/absence d'un hématome ? Si hématome visible, taille et localisation (objectiver par une photographie) ? Gonflement local ? Modification visible du relief musculaire ?
Palpation	Localisation précise du site lésionnel ? Distance (en cm) vers amont et aval de la douleur à la palpation à partir du site lésionnel exact ? Discontinuité palpable de la structure musculo-tendineuse ? Chaleur ?
Mobilité	Active puis passive (mesure objective) ? Comparaison côté sain versus côté blessé ? Niveau de douleur lors du degré d'allongement maximal ?
Contraction & force musculaire	Possibilité de contraction isométrique contre pesanteur à faible/moyen/haut degré d'allongement ? Niveau de douleur lors de ces tests ? Possibilité de réaliser un test en mode excentrique et/ou concentrique ? Possibilité de développer un niveau de force plus élevé que contre pesanteur ? Possibilité d'objectiver la force développée via un dynamomètre spécifique ? Niveau d'appréhension du patient lors des contractions ?
Statut fonctionnel	Possibilités de : faire un demi-squat (bi- ou unilatéral), marcher normalement, marcher rapidement, courir, réaliser tout autre geste spécifique à la discipline sportive ?

Indépendamment de la localisation de la LM et de sa sévérité, la priorité de cette phase consiste en premier lieu à favoriser le phénomène de cicatrisation musculaire [45]. Dans cette optique, la contraction en mode excentrique du muscle blessé (même si celui-ci n'est pas un muscle à proprement parler freinateur), sous-maximale douce dans un premier temps et progressivement augmentée, représente la technique de choix [5]. Si la contraction excentrique avec résistance minimale n'est pas possible en raison de douleurs manifestes ou d'une incapacité du patient durant les premiers jours suivant la blessure, le mode de contraction isométrique à diverses angulations peut représenter une porte d'entrée intéressante [17]. Le kinésithérapeute devra veiller à adapter les principaux paramètres d'exercices (intensité, volume, ...) en fonction de la capacité du patient. Cette capacité peut être appréciée via différents marqueurs comme une douleur absente ou raisonnable lors de l'exercice, le ressenti du patient, l'aisance dans la gestuelle, la possibilité de réaliser sans difficulté majeure un nombre défini de répétitions et de séries, un impact raisonnable durant les 48h post-séance (intensité de courbatures/douleurs et impact fonctionnel notamment), etc. Le choix des exercices et des paramètres d'exercices sera donc défini sur base de ces paramètres de capacité propres au patient : plus le patient tolère bien les exercices, plus il pourra évoluer rapidement vers des exercices plus contraignants, et inversement. Classiquement, un travail précoce d'endurance musculaire (volume élevé, charge faible ; par exemple 3 à 5 séries de 15 à 25 répétitions à moins de 30% de l'intensité maximale et avec des temps de récupération de 30 secondes entre les séries) constitue un prérequis qui peut être mis en place très précocement dès les premiers jours post blessure, pour développer ensuite graduellement la force dans les phases intermédiaire et avancée (volume réduit, charge élevée ; voir infra) [17]. Les données scientifiques provenant d'études utilisant l'électromyographie de surface permettent de proposer une progression en termes d'intensité d'exercices et d'obtenir des lignes de conduite intéressantes pour le praticien (tableau 4). En illustration du tableau 4, la vidéo 1 reprend une progression d'exercices d'intensité croissante pour les ischio-jambiers ; la vidéo 2 concerne le quadriceps, la vidéo 3 les adducteurs et la vidéo 4 le triceps sural.

Tableau 4. Exemples d'exercices d'intensité croissante pour les quatre principaux groupes musculaires des membres inférieurs (adapté de [15,17,46–48] ; vidéos 1 à 4)

	Ischio-jambiers	Quadriceps	Adducteurs	Triceps sural
Intensité faible	<ul style="list-style-type: none"> Flexions de genou en décubitus ventral <i>One-leg deadlift</i> (soulevé de terre roumain unilatéral) <i>Askling's Glider</i> (Glisseur selon Askling) Pont fessier (1 jambe) Pont fessier sur ballon suisse <i>Nordic Hamstrings</i> (ischios nordiques) <i>Fitball flexion</i> (flexions de genou sur ballon suisse) <i>Slide leg</i> (glissement de jambe) 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Quadriceps drill</i> (écrase-coussin) Extension de genou (assis) contre pesanteur <i>Air squat</i> (squat sans charge) <i>Goblet squat</i> (squat avec charge tenue au niveau poitrine) <i>Split squat</i> (squat jambes dissociées) Fente arrière Fente latérale/avant <i>One-leg step down</i> (descente de marche en unilatéral) <i>One-leg squat</i> (squat unilatéral) <i>Reverse Nordic</i> (Nordique inversé) 	<ul style="list-style-type: none"> Adduction bilatérale en décubitus dorsal Adduction jambe infra-latérale en décubitus latéral Adduction isométrique balle entre chevilles <i>Sliding</i> (glissade) abduction/adduction Adduction contre résistance élastique <i>Copenhagen adduction</i> (Adduction de Copenhague) Adduction isométrique balle entre genoux fléchis 	<ul style="list-style-type: none"> Lever de talon assis Montée sur marche de faible hauteur Lever de talon debout (2 jambes) Montée sur marche de hauteur élevée Fente avant Lever de talon debout (1 jambe) Excentrique debout genou tendu Lever de talon debout (1 jambe) avec charge additionnelle
Intensité élevée				

Outre la notion de progressivité dans l'intensité des exercices, le kinésithérapeute devra intégrer à la rééducation en phase aiguë d'autres éléments importants :

- Un degré élevé d'allongement musculaire lors de l'exercice** : la réalisation d'exercices excentriques à haut degré d'allongement semble en effet permettre de réduire le délai de récupération après LIJ comparativement à des exercices à degré d'allongement faible ; ils n'ont également pas démontré de risque majoré de récidive [13,34] ou de problème particulier s'ils sont implémentés très précocement [49]. Si l'évidence scientifique apparaît quasiment inexiste pour les autres localisations de LM, l'inclusion d'exercices à haut degré d'allongement tels que le *Nordique inversé* pour les LMDF ou la glissade pour les LMAH est recommandée [5,50]. Il est à noter que l'introduction très précoce d'exercices à haut degré d'allongement ne semble pas réduire le délai avant le RTP ou le risque de récidive comparativement à une introduction quelque peu retardée [49] ;
- Une gestion optimale de la douleur pendant l'exercice** : dans un essai randomisé contrôlé sur des patients après LIJ, il a été observé que la tolérance d'un niveau de douleur durant l'exercice jusqu'à une intensité égale ou inférieure à 4/10 était plus bénéfique qu'une stratégie « zéro douleur » sur la récupération de la force maximale ainsi que sur la longueurs des fascicules musculaires [51] ;

- **Un suivi et une gestion de la charge** : une charge appropriée, progressivement augmentée et équilibrée entre niveaux de contraintes et de récupération, induit des adaptations biologiques et neuromusculaires optimalisant la capacité du patient [52,53]. De nombreux outils peuvent être utilisés en rééducation, le plus fréquent étant l'effort perçu lors de la séance (*session Rating of Perceived Exertion, sRPE*) [54]. Avant le retour sur terrain et dans un objectif de prévention de récidive, le patient devra donc avoir été confronté à des charges au moins équivalentes à celles rencontrées lors d'une semaine typique de pratique sportive [55];
- **Une reprise précoce de la course à pied**, précédée d'une normalisation rapide de la gestuelle de marche [50]. Il n'existe pas de consensus sur des critères à valider afin de reprendre la course après LM mais l'absence de douleurs, la normalisation de la marche, la contraction et l'étirement non douloureux, l'absence d'événements indésirables durant la rééducation ou encore la capacité du patient à réaliser des éducatifs légers de course peuvent être suggérés ;
- **Un renforcement de l'ensemble des muscles qui réalisent une action similaire à celle du muscle blessé**. Il a été par exemple suggéré que le biceps fémoral, muscle le plus fréquemment touché lors d'une LIJ, soit plus vulnérable à une reblessure si les autres IJ (semi-tendineux, semi-membraneux) sont moins robustes [56]. Dès lors, l'inclusion d'exercices activant préférentiellement tous les fléchisseurs de genoux et tous les extenseurs de hanche pourrait représenter un élément important dans la rééducation afin d'éviter les récidives de LIJ ;
- **Un travail de la mobilité**. L'étirement progressif du muscle blessé et la contraction musculaire excentrique représentent les meilleurs outils pour restaurer progressivement une souplesse symétrique [34,57]. En ce qui concerne la réalisation d'étirements en phase aigüe, les étirements statiques ou de type contracter-relâcher sont les plus indiqués et le kinésithérapeute pourra prescrire ce type de travail en auto-traitement à domicile.
- **La mise en place précoce d'un programme de réathlétisation visant dans un premier temps à éviter les effets du désentraînement**. Identifier les paramètres de la performance dans la discipline pratiquée par le patient et agir sur ceux-ci dès le début du processus de RTP représente un élément clé dans l'objectif de remettre sur le terrain le patient avec un niveau de performance rapidement optimal [31]. Ainsi, parallèlement à la rééducation, le kinésithérapeute pourra démarrer un processus de réathlétisation qui inclut divers axes de travail : entretien des capacités cardio-respiratoires, entretien des qualités de force-puissance-vitesse du membre sain, travail du tronc et des membres supérieurs, travail de gestuelle proche de la discipline sans interférence avec la cicatrisation, etc.

4.3. Rééducation en phase intermédiaire

Il n'existe pas de consensus sur les critères à valider avant d'évoluer vers des phases de traitement plus avancées [33,50,58]. L'accès à cette phase intermédiaire de la rééducation nécessite cependant que : le patient ait repris la course à pied, ne présente plus de douleur à la palpation et à l'étirement, et soit capable de contracter sans douleur et à haute intensité le groupe musculaire blessé en mode isométrique à différentes angulations (y compris à haut degré d'allongement). Dans cette phase, le contenu rééducatif de la phase aiguë sera intensifié de la sorte [15,33,35,58–60]:

- Le travail d'endurance du muscle blessé cède la place au développement de la force générale puis de la force maximale selon les principes de progression développés précédemment. Par exemple, un exercice réalisé en 4 séries de 25 répétitions à charge légère (approximativement 20-30% de

- l'intensité maximale) en phase aiguë pourra évoluer de manière graduelle vers 4 séries de 10-12 répétitions à 70-75% puis 4 séries de maximum 6-8 répétitions à plus de 80%. Les durées de récupération entre les séries seront également allongées en conséquence ;
- Les exercices deviennent progressivement plus spécifiques à la tâche : le geste lésionnel et des contraintes de plus en plus spécifiques à la discipline seront réintroduits de manière progressive. Par exemple, lors d'une LIJ (survenue lors d'un sprint), des accélérations progressives de type déboulés jusqu'à des vitesses de course atteignant dans un premier temps 100% de la vitesse maximale aérobie (VMA, soit la vitesse de course la plus faible à laquelle se produit la consommation maximale d'oxygène [61]) seront rapidement proposées au patient ; en fonction de son ressenti et d'une planification judicieuse réalisée par le kinésithérapeute, une augmentation des vitesses de course jusqu'à des vitesses proches de la vitesse maximale absolue du patient sera mise en place. Les éducatifs préparatoires à la gestuelle orientée vers la discipline sportive sont également intensifiés [62];
 - La plyométrie sera introduite par des éducatifs d'intensité faible à modérée et selon la capacité du patient : sautilements légers, échelle de rythme, corde à sauter, stepping, ...une attention particulière est recommandée pour les LMTS pour lesquelles la plyométrie représente une contrainte particulièrement importante sur le triceps sural blessé [50]; généralement, dans ce cas de figure, la plyométrie est quelque peu retardée par comparaison aux autres localisations de LM ;
 - Les étirements sont intensifiés et un travail plus dynamique via des étirement balistiques d'intensité modérée à élevée est mis en place, idéalement après un échauffement de qualité ;
 - Le travail de réathlétisation n'a plus pour objectif de freiner le déconditionnement mais désormais de récupérer les qualités physiques propres à la discipline. À titre d'illustration, le développement de l'endurance doit être pensé en fonction des demandes du terrain : un travail intermittent pourra être mis en place dans la plupart des disciplines dans lesquelles des séquences d'effort-repos se succèdent continuellement. Ainsi, d'un travail d'endurance continue à intensité inférieure à 70% de la VMA réalisé en phase aiguë succédera dans la phase intermédiaire un travail par intervalles d'intensité supérieure à 80% de VMA ;
 - La gestion de la charge devient centrale vu l'augmentation des contraintes : le monitoring doit être de qualité et la gestion des rapports efforts/récupération prend de l'importance [63].

Durant cette phase, une reprise de l'entraînement de manière adaptée peut être envisagée. Le kinésithérapeute prendra la responsabilité de définir préalablement le contenu des séances d'entraînement avec le patient et/ou le staff sportif. Généralement, l'entraînement adapté, d'une durée souvent inférieure à l'entraînement traditionnel, se compose d'une part d'exercices spécifiques à la discipline pour lesquels le kinésithérapeute aura préalablement analysé le caractère sécurisant ou potentiellement délétère pour le patient et formulé des lignes de conduite précises ; d'autre part une répétition des exercices réalisés chez le kinésithérapeute et choisis par celui-ci, pour lesquels le temps de l'entraînement permet de renforcer les acquis développés durant les séances de rééducation. Le processus étant dynamique, le contenu de chaque séance d'entraînement doit être adapté selon les principes de la mise en charge progressive et de la réponse du patient à la charge imposée. Enfin, un contrôle échographique peut permettre d'évaluer la qualité de récupération au niveau tissulaire [64], même si les évolutions cliniques et fonctionnelles représentent des marqueurs plus pertinents. Comme pour toute pathologie musculosquelettique, l'annonce d'un éventuel résultat d'imagerie qui ne correspondrait pas aux attentes du patient pourrait engendrer un effet placebo et *in fine* freiner la progression du patient dans sa rééducation. Les recommandations actuelles consistent d'une part à considérer l'imagerie comme un marqueur parmi d'autres d'évolution de la LM et non une finalité en soi, et d'autre part à minimiser l'éventuel effet placebo d'un résultat d'imagerie [65].

4.4. Rééducation en phase avancée

Les critères suggérés pour démarrer cette phase sont : montrer une adaptation positive aux différentes sollicitations (absence de douleur ou gène manifeste), tolérer les charges de travail croissantes de la phase précédente, démontrer des asymétries de force maximale et de performances fonctionnelles unilatérales (type hop tests) inférieures à 15%. Dans la continuité de la phase précédente, la force maximale (en particulier la force maximale en mode excentrique pour les muscles freinateurs comme les IJ et concentrique pour les muscles propulseurs comme le quadriceps) continue à être développée mais les paramètres de puissance et de vitesse doivent l'être également. En fonction de l'objectif souhaité, les charges soulevées sont réduites mais la vitesse d'exécution de l'exercice doit progressivement être maximale. Un travail en contraste de charge peut aussi être utilisé pour développer les aspects de puissance : le patient réalise un exercice à charge maximale à vitesse lente (exemple : 6 répétitions de squat lourd à 80-85% de la résistance maximale) et puis réalise dans la foulée un exercice dynamique sans charge (exemple : 5 sauts verticaux). Dans cette phase avancée de rééducation, il est important de garder en tête que les contraintes maximales qui s'exercent sur la musculature sont généralement rencontrées lors d'un effort spécifique à intensité maximale plutôt que dans un exercice de renforcement, fût-il aussi à intensité maximale. L'exemple des IJ permet d'illustrer ce constat : aucun exercice de renforcement musculaire (*Nordic Hamstring*, soulevé de terre roumain, etc.) ne sollicite autant les IJ que le sprint [66]. Dès lors, imposer au patient des sollicitations maximales et spécifiques à la discipline sportive représente un élément central de la phase avancée de la rééducation, comme décrit dans la théorie du « continuum contrôle-chaos » de Taberner et al. pour des contextes pathologiques et sportifs variés [67]. Cette théorie consiste à intégrer, au fur et à mesure de la rééducation, des exercices de plus en plus intenses, sollicitants, non planifiés et propres à la discipline sportive afin de préparer le patient au retour sur terrain. En fonction de la localisation de la blessure, d'autres gestes que le sprint devront donc être travaillés à intensité maximale : shoot (LMDF), sauts (toutes LM), changements de direction (LMAH, LMDF, LMTS) etc. La capacité du patient à répéter ces gestes spécifiques à haute intensité (exemple : RSA ou *Repeated Sprint Ability* qui correspond à la capacité du sportif à enchaîner des sprints en conservant un niveau de performance élevé) constitue également un paramètre sur lequel agir dans cette phase de rééducation avancée [68].

Afin d'éviter une reprise prématuée de la compétition qui placerait le joueur à risque élevé de récidive (particulièrement durant les premières semaines après le retour au jeu), une batterie de tests apparaît indispensable [69,70]. Cette batterie permet d'établir des critères de reprise de la compétition qui peuvent être résumés en cinq grandes catégories : performance fonctionnelle (capacité à accélérer/sprinter à 100%, capacité à réaliser des changements brusques de direction ou des sauts, *repeated sprint ability*, performance aérobie/anaérobie, ...), force musculaire (asymétries de force <10%, équilibre agonistes/antagonistes), souplesse (symétrie entre jambe côté sain et côté pathologique), absence totale de douleur (à la palpation, à la contraction maximale, à l'étirement, à l'exercice spécifique maximal) et confiance/absence d'apprehension. En fonction de la discipline sportive pratiquée par le patient et la localisation de la LM, le kinésithérapeute choisira les épreuves les plus pertinentes à intégrer à la batterie de tests de décharge. Parallèlement à ces critères de décharge, le monitoring de la charge doit permettre d'observer que le patient est capable d'encaisser une charge de travail globalement équivalente à celle d'avant la blessure [71]. Il est également préconisé de n'autoriser la sélection pour une compétition après LM qu'après au minimum deux semaines complètes et sans adaptation d'entraînement avec l'équipe, ces entraînements devant bien entendu avoir été bien tolérés par le patient.

4.5. Complications

La complication la plus fréquente d'une LM est la récidive [32] et implique de facto de redémarrer une prise en charge rééducative complète. À titre d'exemple, on estime que jusqu'à 33% des footballeurs de haut niveau subiront un nouvel épisode de LIJ moins d'un an après la blessure initiale [8,36,72]. Vu ces taux particulièrement élevés, le kinésithérapeute devra fournir, lors de la rééducation pour la première lésion, un travail de qualité optimale ainsi qu'une éducation du patient à la prévention secondaire (cfr chapitre 5) [19].

Les autres complications, le plus souvent liées à des formes sévères de LM, apparaissent peu fréquentes [45,73] et peuvent se manifester cliniquement sous différentes formes : douleurs ou sensations anormales persistantes, difficultés à progresser en termes de force et de mobilité, présence à la palpation d'une modification du relief musculaire du site lésionnel ou d'une sensibilité, ou encore une boiterie persistante. Ces éléments nécessitent d'adresser le patient à un médecin spécialiste pour un bilan approfondi et d'éventuels examens complémentaires. À côté de la récidive, les complications sont dominées principalement par :

- la **cicatrice fibreuse**. Celle-ci altère la mécanique musculaire, réduisant la capacité contractile du muscle et, par conséquent, la capacité à développer une force comparable à celle d'un tissu musculaire sain. Un travail excentrique sous-maximal en position d'allongement, des étirements et des massages locaux sont recommandés en première intention ;
- la **myosite ossifiante traumatique (MOT)**, complication la plus sévère, est une formation hétérotopique non néoplasique d'os et/ou de cartilage au niveau de l'hématome. Il est fréquemment suggéré un lien entre son apparition et la réalisation de massages réalisés trop précocement sur le site lésionnel en cas d'hématome. En cas d'échec de la rééducation selon les principes décrits précédemment (les principes généraux de rééducation restent identiques mais les délais seront allongés, une progressivité plus importante sera requise et des ondes de choc peuvent être prescrites) et de limitations importantes de la fonction musculaire, la MOT peut mener à une résection chirurgicale ;
- le **syndrome de loges traumatique**, causé par une augmentation de pression locale suite à l'hématome et sans atteinte du fascia. Cette augmentation de pression perturbe la (micro-)circulation et peut mener à une perte de fonction neuromusculaire. Une fasciotomie est généralement nécessaire ;
- la **hernie musculaire (HM)** est une protrusion du muscle à travers un défaut de l'aponévrose, généralement suite à une LM sévère (habituellement en conséquence d'un syndrome des loges chronique). En cas de symptômes importants, une indication chirurgicale peut être posée.

5. Prévention secondaire post rééducation

La réduction du risque de récidive après LM débute par une rééducation de qualité [32]. Une fois les différentes phases de la rééducation finalisées, le kinésithérapeute pourra insister sur l'importance de la prise en charge préventive autonome du patient. Dans cet objectif, cinq points apparaissent incontournables : un entretien des qualités musculaires développées durant la rééducation, une gestion équilibrée de la charge de travail, un travail de la stabilité lombo-pelvienne, un développement de la condition physique (en ce compris des sollicitations spécifiques à intensité maximale, comme par exemple réaliser des sprints au minimum une fois par semaine pour réduire la probabilité de survenue de LIJ) et l'optimisation des qualités de gestuelle (technique de course, technique de saut/shoot/changement de direction, ...)[74]. Le kinésithérapeute pourra également rappeler au staff sportif du patient qu'un athlète avec antécédent(s) de LM présente un risque plus

élevé de nouvelle LM qu'un athlète vierge de tout antécédent lésionnel : une attention particulière aux signes de fatigue, faiblesse ou maladaptation à la charge devrait alors nécessiter une adaptation de la charge de travail [53].

6. Conclusion

La rééducation des lésions musculaires représente un défi pour le kinésithérapeute, notamment en raison des taux élevés de récidive. De multiples paramètres sont à intégrer dans le processus de retour au jeu chez un patient après lésion musculaire : une remise en charge précoce et progressive jusqu'à des intensités similaires à celles rencontrées lors de l'activité, l'éducation à l'auto-gestion, une action sur les principaux facteurs de risque lésionnels, une gestion de charge de qualité et un programme de réathlétisation adapté. Le kinésithérapeute adaptera les contraintes d'une part en fonction de la discipline sportive pratiquée par le patient afin d'orienter la rééducation vers une tâche spécifique, et d'autre part en fonction de l'évolution du patient. Cette évolution, selon quatre grandes phases (traitement immédiat, phase précoce, phase intermédiaire et enfin phase avancée), doit être idéalement objectivée par des évaluations régulières basées sur des critères essentiellement cliniques et fonctionnels étant donné la corrélation globalement faible entre clinique et imagerie.

7. Références

- [1] Ekstrand J, Hagglund M, Walden M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med* 2011;45:553–8. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.060582>.
- [2] López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, García-Gómez A, Vera-García FJ, De Ste Croix M, Myer GD, et al. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2020;54:711–8. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099577>.
- [3] Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. 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. *Br J Sports Med* 2016;50:731–7. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095359>.
- [4] Ekstrand J, Spreco A, Bengtsson H, Bahr R. 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. *Br J Sports Med* 2021. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103159>.
- [5] Ishøi L, Krommes K, Husted RS, Juhl CB, Thorborg K. Diagnosis, prevention and treatment of common lower extremity muscle injuries in sport - grading the evidence: a statement paper commissioned by the Danish Society of Sports Physical Therapy (DSSF). *Br J Sports Med* 2020;54:528–37. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101228>.
- [6] Brooks JHM, Fuller CW, Kemp SPT, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med* 2006;34:1297–306. <https://doi.org/10.1177/0363546505286022>.
- [7] Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. Injuries among male and female elite football players. *Scand J Med Sci Sports* 2009;19:819–27. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00861.x>.
- [8] Ekstrand J, Hagglund M, Walden M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med* 2011;39:1226–32. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>.
- [9] Edouard P, Branco P, Alonso J-M. Muscle injury is the principal injury type and hamstring muscle injury is the first injury diagnosis during top-level international athletics championships between 2007 and 2015. *Br J Sports Med* 2016;50:619–30. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095559>.

- [10] Mölsä J, Airaksinen O, Näsman O, Torstila I. Ice hockey injuries in Finland. A prospective epidemiologic study. *Am J Sports Med* 1997;25:495–9. <https://doi.org/10.1177/036354659702500412>.
- [11] Guex K, Millet GP. Conceptual framework for strengthening exercises to prevent hamstring strains. *Sports Med* 2013;43:1207–15. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0097-y>.
- [12] Schache AG, Dorn TW, Blanch PD, Brown NAT, Pandy MG. Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44:647–58. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318236a3d2>.
- [13] Askling CM, Tengvar M, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite football: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med* 2013;47:953–9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092165>.
- [14] Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching: clinical, magnetic resonance imaging, and recovery characteristics. *Am J Sports Med* 2007;35:1716–24. <https://doi.org/10.1177/0363546507303563>.
- [15] Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Idoate F, Myer GD. Rectus femoris muscle injuries in football: a clinically relevant review of mechanisms of injury, risk factors and preventive strategies. *Br J Sports Med* 2013;47:359–66. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091250>.
- [16] Serner A, Mosler AB, Tol JL, Bahr R, Weir A. Mechanisms of acute adductor longus injuries in male football players: a systematic visual video analysis. *Br J Sports Med* 2019;53:158–64. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099246>.
- [17] Green B, Lin M, Schache AG, McClelland JA, Semciw AI, Rotstein A, et al. Calf muscle strain injuries in elite Australian Football players: A descriptive epidemiological evaluation. *Scand J Med Sci Sports* 2020;30:174–84. <https://doi.org/10.1111/sms.13552>.
- [18] Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48:499–508. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000795>.
- [19] Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med* 2008;36:1469–75. <https://doi.org/10.1177/0363546508316764>.
- [20] Green B, Bourne MN, van Dyk N, Pizzari T. 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. *Br J Sports Med* 2020;54:1081–8. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100983>.
- [21] Bourne MN, Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Eccentric Knee Flexor Strength and Risk of Hamstring Injuries in Rugby Union: A Prospective Study. *Am J Sports Med* 2015;43:2663–70. <https://doi.org/10.1177/0363546515599633>.
- [22] Schuermans J, Danneels L, Van Tiggelen D, Palmans T, Witvrouw E. Proximal Neuromuscular Control Protects Against Hamstring Injuries in Male Soccer Players: A Prospective Study With Electromyography Time-Series Analysis During Maximal Sprinting. *Am J Sports Med* 2017;45:1315–25. <https://doi.org/10.1177/0363546516687750>.
- [23] Mueller-Wohlfahrt H-W, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement. *Br J Sports Med* 2013;47:342–50. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091448>.
- [24] Pollock N, James SLJ, Lee JC, Chakraverty R. British athletics muscle injury classification: a new grading system. *Br J Sports Med* 2014;48:1347–51. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093302>.
- [25] Valle X, Alentorn-Geli E, Tol JL, Hamilton B, Garrett WEJ, Pruna R, et al. Muscle Injuries in Sports: A New Evidence-Informed and Expert Consensus-Based Classification with Clinical Application. *Sports Med* 2017;47:1241–53. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0647-1>.
- [26] Paton BM, Court N, Giakoumis M, Head P, Kayani B, Kelly S, et al. London International Consensus and Delphi study on hamstring injuries part 1: classification. *Br J Sports Med* 2023;57:254–65. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-105371>.

- [27] Reurink G, Brilman EG, de Vos R-J, Maas M, Moen MH, Weir A, et al. Magnetic resonance imaging in acute hamstring injury: can we provide a return to play prognosis? *Sports Med* 2015;45:133–46. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0243-1>.
- [28] Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, et al. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *Br J Sports Med* 2016;50:853–64. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278>.
- [29] Bisciotti GN, Volpi P, Alberti G, Aprato A, Artina M, Auci A, et al. Italian consensus statement (2020) on return to play after lower limb muscle injury in football (soccer). *BMJ Open Sport Exerc Med* 2019;5:e000505. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000505>.
- [30] Buckthorpe M, Frizziero A, Roi GS. Update on functional recovery process for the injured athlete: return to sport continuum redefined. *Br J Sports Med* 2019;53:265–7. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099341>.
- [31] Delvaux F, Croisier J-L, Carling C, Orhant E, Kaux J-F. [Hamstring muscle injury in football players - Part I : epidemiology, risk factors, injury mechanisms and treatment]. *Rev Med Liege* 2023;78:160–4.
- [32] Croisier J-L. Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med* 2004;34:681–95. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434100-00005>.
- [33] Serner A, Weir A, Tol JL, Thorborg K, Lanzinger S, Otten R, et al. Return to Sport After Criteria-Based Rehabilitation of Acute Adductor Injuries in Male Athletes: A Prospective Cohort Study. *Orthop J Sports Med* 2020;8:2325967119897247. <https://doi.org/10.1177/2325967119897247>.
- [34] Askling CM, Tengvar M, Tarassova O, Thorstensson A. Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med* 2014;48:532–9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093214>.
- [35] Hickey JT, Timmins RG, Maniar N, Williams MD, Opar DA. Criteria for Progressing Rehabilitation and Determining Return-to-Play Clearance Following Hamstring Strain Injury: A Systematic Review. *Sports Med* 2017;47:1375–87. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0667-x>.
- [36] van der Horst N, Backx F, Goedhart EA, Huisstede BM. Return to play after hamstring injuries in football (soccer): a worldwide Delphi procedure regarding definition, medical criteria and decision-making. *Br J Sports Med* 2017;51:1583–91. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097206>.
- [37] Mirkin G, Hoffman M. *The Sportsmedicine Book*. Boston & Toronto: Little, Brown & Company; n.d.
- [38] Järvinen TAH, Järvinen TLN, Kääriäinen M, Aärimaa V, Vaittinen S, Kalimo H, et al. Muscle injuries: optimising recovery. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2007;21:317–31. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2006.12.004>.
- [39] Kerr K, Daley L, Booth L, Stark J. PRICE guidelines: guidelines for the management of soft tissue (musculoskeletal) injury with protection, rest, ice, compression, elevation (PRICE) during the first 72 hours. *ACPOM* 1998;10–1.
- [40] Bleakley CM, Glasgow P, MacAuley DC. PRICE needs updating, should we call the POLICE? *Br J Sports Med* 2012;46:220–1. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090297>.
- [41] Aronen JG, Garrick JG, Chronister RD, McDevitt ER. Quadriceps contusions: clinical results of immediate immobilization in 120 degrees of knee flexion. *Clin J Sport Med* 2006;16:383–7. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000244605.34283.94>.
- [42] Dubois B, Esculier J-F. Soft-tissue injuries simply need PEACE and LOVE. *Br J Sports Med* 2020;54:72–3. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101253>.
- [43] Singh DP, Barani Lonbani Z, Woodruff MA, Parker TJ, Steck R, Peake JM. Effects of Topical Icing on Inflammation, Angiogenesis, Revascularization, and Myofiber Regeneration in Skeletal Muscle Following Contusion Injury. *Front Physiol* 2017;8:93. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00093>.
- [44] Bayer ML, Magnusson SP, Kjaer M. Early versus Delayed Rehabilitation after Acute Muscle Injury. *N Engl J Med* 2017;377:1300–1. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1708134>.

- [45] Järvinen TAH, Järvinen TLN, Kääriäinen M, Kalimo H, Järvinen M. Muscle injuries: biology and treatment. *Am J Sports Med* 2005;33:745–64. <https://doi.org/10.1177/0363546505274714>.
- [46] Tsaklis P, Malliaropoulos N, Mendiguchia J, Korakakis V, Tsapralis K, Pyne D, et al. Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise selection during rehabilitation. *Open Access J Sports Med* 2015;6:209–17. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S79189>.
- [47] Serner A, Jakobsen MD, Andersen LL, Hölmich P, Sundstrup E, Thorborg K. EMG evaluation of hip adduction exercises for soccer players: implications for exercise selection in prevention and treatment of groin injuries. *Br J Sports Med* 2014;48:1108–14. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091746>.
- [48] Demangeot Y, Whiteley R, Gremeaux V, Degache F. The load borne by the Achilles tendon during exercise: A systematic review of normative values. *Scand J Med Sci Sports* 2023;33:110–26. <https://doi.org/10.1111/sms.14242>.
- [49] Vermeulen R, Whiteley R, van der Made AD, van Dyk N, Almusa E, Geertsema C, et al. Early versus delayed lengthening exercises for acute hamstring injury in male athletes: a randomised controlled clinical trial. *Br J Sports Med* 2022;56:792–800. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103405>.
- [50] Green B, McClelland JA, Semciw AI, Schache AG, McCall A, Pizzari T. The Assessment, Management and Prevention of Calf Muscle Strain Injuries: A Qualitative Study of the Practices and Perspectives of 20 Expert Sports Clinicians. *Sports Med Open* 2022;8:10. <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00364-0>.
- [51] Hickey JT, Timmins RG, Maniar N, Rio E, Hickey PF, Pitcher CA, et al. Pain-Free Versus Pain-Threshold Rehabilitation Following Acute Hamstring Strain Injury: A Randomized Controlled Trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 2020;50:91–103. <https://doi.org/10.2519/jospt.2020.8895>.
- [52] Soligard T, Schwellnus M, Alonso J-M, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med* 2016;50:1030–41. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096581>.
- [53] Guilhem G, Brocherie F, Siboni R, Seil R, Martens G, Delvaux F. Charge et risque de blessure dans le sport : synthèse ReFORM de la déclaration de consensus du Comité international olympique. *Journal de Traumatologie Du Sport* 2022;242–5.
- [54] Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 2001;15:109–15.
- [55] Stares J, Dawson B, Peeling P, Drew M, Heasman J, Rogalski B, et al. How much is enough in rehabilitation? High running workloads following lower limb muscle injury delay return to play but protect against subsequent injury. *J Sci Med Sport* 2018;21:1019–24. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.03.012>.
- [56] Schuermans J, Van Tiggelen D, Danneels L, Witvrouw E. Biceps femoris and semitendinosus--teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study. *Br J Sports Med* 2014;48:1599–606. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094017>.
- [57] Delvaux F, Schwartz C, Decreuy T, Devalckeneer T, Paulus J, Bornheim S, et al. Influence of a Field Hamstring Eccentric Training on Muscle Strength and Flexibility. *Int J Sports Med* 2020. <https://doi.org/10.1055/a-1073-7809>.
- [58] Mendiguchia J, Martinez-Ruiz E, Edouard P, Morin J-B, Martinez-Martinez F, Idoate F, et al. A Multifactorial, Criteria-based Progressive Algorithm for Hamstring Injury Treatment. *Med Sci Sports Exerc* 2017;49:1482–92. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001241>.
- [59] Macdonald B, McAleer S, Kelly S, Chakraverty R, Johnston M, Pollock N. Hamstring rehabilitation in elite track and field athletes: applying the British Athletics Muscle Injury Classification in clinical practice. *Br J Sports Med* 2019;53:1464–73. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098971>.
- [60] Hickey JT, Opar DA, Weiss LJ, Heiderscheit BC. Hamstring Strain Injury Rehabilitation. *J Athl Train* 2022;57:125–35. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0707.20>.

- [61] Balasekaran G, Loh MK, Boey P, Ng YC. Determination, measurement, and validation of maximal aerobic speed. *Sci Rep* 2023;13:8006. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31904-1>.
- [62] Buckthorpe M, Della Villa F, Della Villa S, Roi GS. On-field Rehabilitation Part 1: 4 Pillars of High-Quality On-field Rehabilitation Are Restoring Movement Quality, Physical Conditioning, Restoring Sport-Specific Skills, and Progressively Developing Chronic Training Load. *J Orthop Sports Phys Ther* 2019;49:565–9. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8954>.
- [63] Taberner M, Allen T, O'keefe J, Cohen DD. Contextual considerations using the “control-chaos continuum” for return to sport in elite football - Part 1: Load planning. *Phys Ther Sport* 2022;53:67–74. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.10.015>.
- [64] Bright JM, Fields KB, Draper R. Ultrasound Diagnosis of Calf Injuries. *Sports Health* 2017;9:352–5. <https://doi.org/10.1177/1941738117696019>.
- [65] Evers AWM, Colloca L, Bleasie C, Annoni M, Atlas LY, Benedetti F, et al. Implications of Placebo and Nocebo Effects for Clinical Practice: Expert Consensus. *Psychother Psychosom* 2018;87:204–10. <https://doi.org/10.1159/000490354>.
- [66] van den Tillaar R, Solheim JAB, Bencke J. COMPARISON OF HAMSTRING MUSCLE ACTIVATION DURING HIGH-SPEED RUNNING AND VARIOUS HAMSTRING STRENGTHENING EXERCISES. *Int J Sports Phys Ther* 2017;12:718–27.
- [67] Taberner M, Allen T, Cohen DD. Progressing rehabilitation after injury: consider the “control-chaos continuum”. *Br J Sports Med* 2019;53:1132–6. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100157>.
- [68] Røksund OD, Kristoffersen M, Bogen BE, Wisnes A, Engeseth MS, Nilsen A-K, et al. Higher Drop in Speed during a Repeated Sprint Test in Soccer Players Reporting Former Hamstring Strain Injury. *Front Physiol* 2017;8:25. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00025>.
- [69] Zambaldi M, Beasley I, Rushton A. Return to play criteria after hamstring muscle injury in professional football: a Delphi consensus study. *Br J Sports Med* 2017;51:1221–6. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097131>.
- [70] Delvaux F, Rochcongar P, Bruyere O, Bourlet G, Daniel C, Diverse P, et al. Return-to-play criteria after hamstring injury: actual medicine practice in professional soccer teams. *J Sports Sci Med* 2014;13:721–3.
- [71] Blanch P, Gabbett TJ. Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *Br J Sports Med* 2016;50:471–5. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095445>.
- [72] Woods C, Hawkins R, Hulse M, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football-analysis of preseason injuries. *Br J Sports Med* 2002;36:436–41; discussion 441. <https://doi.org/10.1136/bjsm.36.6.436>.
- [73] Abate M, Salini V, Rimondi E, Errani C, Alberghini M, Mercuri M, et al. Post traumatic myositis ossificans: Sonographic findings. *J Clin Ultrasound* 2011;39:135–40. <https://doi.org/10.1002/jcu.20792>.
- [74] Delvaux F, Croisier J-L, Carling C, Orhant E, Kaux J-F. [Hamstring muscle injury in football players. Part 2 : preventive strategies]. *Rev Med Liege* 2023;78:213–7.

Légendes de la figure

Figure 1. Synthèse des différentes phases de la rééducation des lésions musculaires