

**DIRECTION REGIONALE DE LA JEUNESSE ET DES
SPORTS ET DE LA COHÉSION SOCIALE**

TRAVAIL ECRIT REALISE EN VUE DU

**DIPLOME D'ETAT DE
MASSEUR-KINESITHERAPEUTE
2017**

**La lésion musculaire intrinsèque du sportif
aux Ischio-Jambiers : intérêt du travail
excentrique précoce à visée cicatricielle**

PARET Antoine

Résumé

Design d'étude : Revue de littérature

Contexte : La lésion myo-aponévrotique est très fréquente chez le sportif amateur comme professionnel et un des motifs majeurs d'indisponibilité. Elle touche régulièrement le complexe musculaire des ischio-jambiers et est de type intrinsèque « sprinting type ». Son taux de récurrence reste sensiblement élevé. Il impacte directement la performance sportive et semble indiquer que sa prise en charge actuelle reste probablement optimisable.

Objectifs : La piste kinésithérapeutique explorée dans ce travail vise l'optimisation de la cicatrisation par le recours au travail musculaire excentrique précoce à visée cicatricielle (dès la deuxième semaine post-lésionnelle). Nous tenterons d'en synthétiser l'état de l'art kinésithérapique et d'identifier les principales pistes d'études complémentaires.

Résultats : La traction longitudinale est indispensable à la réparation musculaire. Au cours de la deuxième semaine post-lésionnelle, la matrice conjonctive a atteint son niveau de résistance définitif et les fibres musculaires nouvellement formées viennent la percer et y adhérer. Le travail excentrique infra-douloureux réalisé à vitesse lente et à résistance sous-maximale n'engendre pas de dommage cellulaire ni d'altération des protéines de lésion myo-aponévrotique. A contrario il est à l'origine d'un remaniement tissulaire induisant un renforcement du tissu conjonctif et une augmentation du nombre de sarcomères en série. Les travaux les plus récents et référencés proposent une prise en charge en 3 phases basée sur 2 piliers : stabilité de la ceinture lombo-pelvienne et travail excentrique.

Conclusion : La relation entre cicatrisation musculaire et travail excentrique est réelle mais la preuve clinique de l'efficacité sur la récurrence reste à faire au travers d'études cliniques de fort niveau de preuve : stratification des facteurs de pronostic, randomisation et évaluation en aveugle, contrôle des facteurs de risque par questionnaire « de vie ». Des études complémentaires sont également nécessaires : test d'évaluation des facteurs de risque, intérêts et limites du travail excentrique sous-maximal sur la cicatrisation, résistance du tissu musculaire en cours de cicatrisation, modélisation informatique de l'humain, questionnaires « de vie » et enquête terrain sur la pratique.

Mots clés

Lésion musculaire / myo-aponévrotique, Réduction de la récurrence, Cicatrisation musculaire, Travail excentrique

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
1 MATERIELS ET METHODES.....	2
2 CONTEXTE DE SURVENUE DE LA LMA.....	3
2.1 ÉPIDEMIOLOGIE DE LA LMA CHEZ LE SPORTIF	3
2.2 MECANISME LESIONNEL DE LA LMA « SPRINTING TYPE » AUX IJ	4
2.3 FACTEURS DE RISQUES DE LA LMA AUX IJ	6
3 CICATRISATION MUSCULAIRE	7
3.1 PROCESSUS DE REPARATION MUSCULAIRE	8
3.2 FACTEURS DE CICATRISATION MUSCULAIRE.....	9
4 TRAVAIL EXCENTRIQUE.....	10
4.1 EFFETS GENERAUX ET EFFET PROTECTEUR.....	10
4.2 EFFETS TISSULAIRES	11
5 ENSEIGNEMENTS INTERESSANT L'OPTIMISATION DE LA CICATRISATION MUSCULAIRE	12
6 PRISE EN CHARGE KINESITHERAPIQUE DE LA LMA.....	13
6.1 DIAGNOSTIC DE LA LMA	13
6.2 INTERVENTIONS SPECIFIQUES	15
6.2.1 <i>Travail excentrique précoce.....</i>	<i>15</i>
6.2.2 <i>Renforcement de la stabilité Lombo-Pelvienne</i>	<i>16</i>
6.2.3 <i>Étirements passif des IJ.....</i>	<i>18</i>
6.3 CONSTRUCTION DE L'ECHEANCIER.....	19
6.3.1 <i>La place du travail excentrique</i>	<i>20</i>
6.3.2 <i>Phase « aigue ».....</i>	<i>21</i>
6.3.3 <i>Phase « remodelage ».....</i>	<i>21</i>
6.3.4 <i>Phase « fonctionnelle »</i>	<i>22</i>
6.4 CHOIX DES EXERCICES ADAPTES	22
6.4.1 <i>À visée cicatricielle et stabilité Lombo-Pelvienne, phase « remodelage ».....</i>	<i>23</i>
6.4.2 <i>Renforcement musculaire et stabilité Lombo-Pelvienne, phase « fonctionnelle ».....</i>	<i>23</i>
6.5 VALIDATION DU RAS	24
7 LIMITES ET PERSPECTIVES.....	25
CONCLUSION	29

INTRODUCTION

En septembre 2015, j'étais en stage dans un club de rugby du top14. J'ai participé à la prise en charge de M. F, victime d'une déchirure au long Biceps Fémoral (IBF) gauche lors du match d'ouverture de la saison 2015/2016. Il s'agissait d'une blessure récidivante survenue lors de son premier match de reprise. Plus tard, 3 autres joueurs ont également été victimes d'une déchirure musculaire dont une récidivante. Au final sur 12 joueurs blessés au total durant le mois de mon stage, 4 souffraient d'une déchirure musculaire dont 2 étaient des récidives. En septembre 2016, j'étais en stage dans un établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel (EPSCP) intervenant notamment dans le domaine du sport de haut niveau. Là encore la blessure musculaire constituait un des principaux motifs d'arrêt de la pratique sportive. Parmi les patients en arrêt dont j'ai pu m'occuper, 2 patients sur 4 en arrêt en souffraient.

Une première lecture de la littérature épidémiologique sur le sujet m'a confirmé cette tendance. La lésion musculaire, ou lésion myo-aponévrotique (LMA), est très fréquente chez le sportif amateur comme professionnel, notamment dans le top 5 que sont le football, le handball, le rugby, l'athlétisme et le basket [1] (Accord Professionnel). Elle représente un tiers des blessures dans le football [2] (2 au score de Sackett) ainsi que dans le rugby [3] (4 au score de Sackett) et 40% en athlétisme [4] (2 au score de Sackett). La LMA est aussi un des motifs majeurs d'indisponibilité et représente donc un enjeu majeur pour les sportifs qui en sont victimes et les structures économiques qui en supportent le coût. Dans le football professionnel, elle entraîne une indisponibilité moyenne de 82 jours sur une saison et un effectif de 25 joueurs [2]. Lors de la coupe du monde de rugby 2011, la LMA a entraîné 639 jours d'absences cumulées sur cette unique compétition (seconde durée d'indisponibilité après l'entorse du genou) [5] (4 au score de Sackett) (Cf. annexe 1). De plus la LMA souffre d'un taux de récurrence relativement élevé. Dans le football professionnel, il est de 16% en moyenne et 60% des LMA sont des récidives [2]. Le même ordre de grandeur est reporté dans l'athlétisme avec 14% de récurrence [6] (2 au score de Sackett). Ce taux de récurrence élevé et le facteur de risque que représente une première LMA semblent indiquer que la prise en charge actuelle reste optimisable.

Durant ces 2 stages, j'étais très surpris devant la variabilité des prises en charge réalisées pour une même blessure et de gravité similaire (notamment les échéanciers et le type

de travail musculaire prescrit). J'ai fait part de mes questions à mes tuteurs qui m'ont confirmé que leur stratégie visant à optimiser le ratio « temps de retour / récurrence » n'était pas stabilisée à ce jour. J'ai alors approfondi mes recherches au travers de mon travail écrit de deuxième année qui proposait une synthèse de l'état de l'art actuel. Il avait l'objectif de proposer au thérapeute un inventaire des bonnes pratiques et, de lui offrir l'opportunité de confirmer et de perfectionner sa prise en charge. J'ai ainsi pu constater que d'une part les stratégies thérapeutiques sont variables d'un auteur à l'autre et, d'autre part, que les niveaux de preuves cliniques sont malheureusement faibles. Le timing et la posologie du travail excentrique sont notamment une de ces questions centrales nécessitant encore la recherche de preuves scientifiques pour pouvoir être promues et/ou rationalisées.

La piste kinésithérapeutique que ce travail propose d'explorer vise la réduction de la récurrence par l'optimisation de la qualité de la cicatrisation afin d'en limiter la fragilité séquellaire. Dans cet objectif, il semble que le recours au travail musculaire excentrique précoce à visée cicatricielle (dès la deuxième semaine post-lésionnelle) puisse présenter un intérêt.

1 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le travail écrit proposé consiste en une revue de la littérature récente. Les recherches ont été réalisées dans les bases de données et moteurs de recherches suivants : British Journal of Sports Medicine (BJSM), National Center of Biotechnology Information (NCBI/PubMed), Physiotherapy Evidence Database (PEDro), Société Française de Médecine Physique et de Réadaptation (SOFMER), Haute Autorité de Santé (HAS), Cochrane Library et Google Scholar. Elles ont ciblé la blessure aux ischio-jambiers (IJ), autour des thèmes suivants : épidémiologie, mécanismes lésionnels et facteurs de risque, processus de cicatrisation, effet du travail excentrique et traitements kinésithérapiques (diagnostic, phases, jalons et interventions). La définition des critères de recherche a tout d'abord été construite sur la base du système Patient Intervention Comparaison Outcomes (PICO). Néanmoins devant le très faible nombre de réponses sur une application stricte de cette méthode, l'agencement des mots clés a été modulé sur 3 puis 2 items PICO au lieu d'une requête pleine à 4 items.

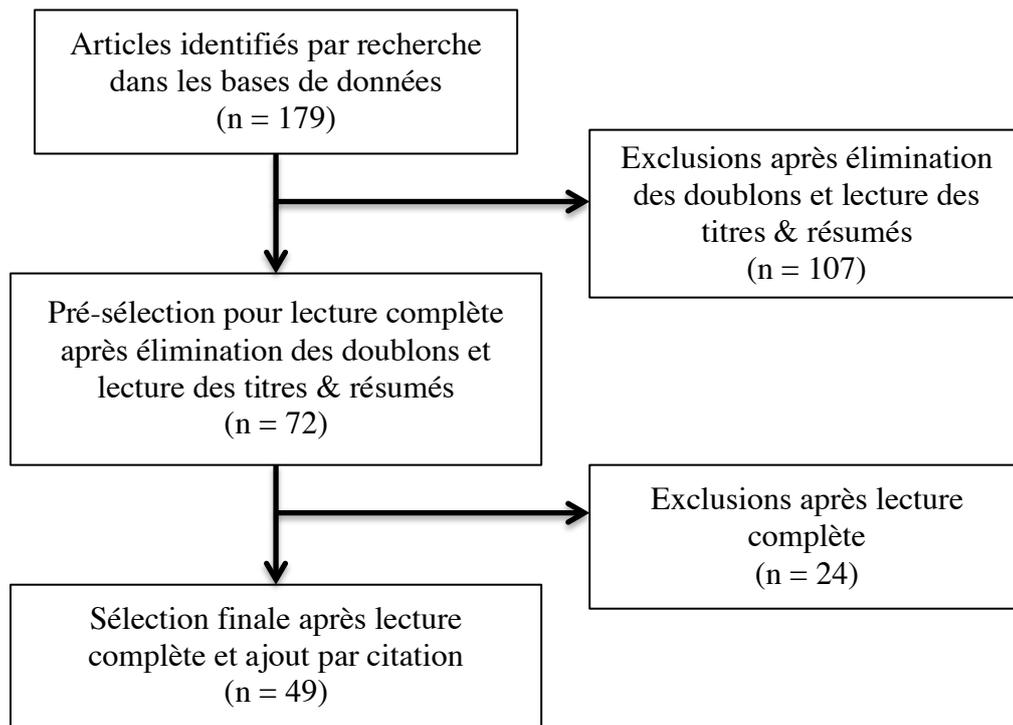


Figure 1 : Diagramme de sélection des articles

Les mots clés primaires ci-dessous ont été utilisés :

- **en français :** lésion musculaire, ischio-jambiers, facteurs de risque, cicatrisation, traitement, excentrique, récurrence
- **en anglais :** muscular injury, hamstring, risk factors, healing, treatment, eccentric, recurrence

Des mots clés secondaires synonymes ont également été utilisés. Leurs listes ont été construites à partir des dictionnaires, en anglais, Medical Subject Headings (MeSH) et, en français, sa version française (FMeSH). Les articles ont été présélectionnés, au travers de la lecture du titre et des résumés. Nous avons également sélectionné des articles par citation après lecture complète de la pré-sélection. La sélection finale des 49 articles retenus pour ce travail s'est faite par la lecture complète des articles. La figure 1 illustre le cheminement de cette sélection. Le niveau de preuve des articles a été évalué sur la base du score de Sackett [7] (Cf. annexes 2 et 3). Les études cliniques traitant des interventions spécifiques ont été additionnellement évaluées par l'échelle de la Physiotherapy Evidence Database (PEDro) [8] (Cf. annexes 4 et 5).

2 CONTEXTE DE SURVENUE DE LA LMA

2.1 Épidémiologie de la LMA chez le sportif

Dans les sports de courses, le membre inférieur est le plus souvent touché et notamment le complexe musculaire des IJ dont l'hétérogénéité rend difficile la standardisation du diagnostic, du pronostic et du traitement. Dans le football la LMA survient à 92% au niveau du membre inférieur et en premier lieu pour 37% aux IJ (contre 23% aux adducteurs, 19% au quadriceps (QC) et 13% au triceps sural) [2].

Les études épidémiologiques montrent également que l'incidence de la LMA peut être corrélée à la charge de travail, en force et en vitesse, ainsi qu'à la fatigue engendrée par la pratique sportive. En effet, le football, le handball, le rugby, l'athlétisme et le basket sont les 5 premiers sports pour la LMA [1]. Dans le football, le taux de LMA est plus important au niveau professionnel qu'au niveau amateur. Cette incidence croissante est également observée dans les clubs les plus experts (Manchester United, Arsenal, PSG, FC Barcelona, ...). Par

ailleurs, 2 pics d'incidence sont observés : en octobre (fin de la période de reprise de championnat) et en avril (période des phases finales des compétitions) [1]. De plus, l'incidence de la LMA est de l'ordre de 4 fois plus élevée en match par rapport aux entraînements. En match les pics de LMA sont observés dans le dernier quart d'heure de la première mi-temps et à l'heure de jeu, c'est à dire lorsque les organismes sont les plus fatigués [2]. En Rugby, l'incidence des LMA est également plus importante dans le sport professionnel qu'amateur [3]. Elle est aussi plus élevée en match par rapport à l'entraînement [3], [5] (Cf. annexe 1). La LMA aux IJ a été pendant la coupe du monde de rugby 2011 la première blessure en nombre et la seconde en temps d'indisponibilité des joueurs après l'entorse au genou [5].

De plus, le profil du sport pratiqué et/ou du poste occupé jouent un rôle déterminant dans le mécanisme lésionnel et donc le type de LMA engendrée (extrinsèque, intrinsèque « over stretching » ou « sprinting »). Au rugby, même si le profil de joueurs et des jeux associés sont très différents, on observe un taux de LMA relativement similaire entre les avants et les arrières, ces derniers étant cependant légèrement plus exposés [5] (Cf. annexe 1). Cependant les mécanismes lésionnels entrant ici en jeu sont très différents. Chez les avants ce sont les premières lignes qui sont le plus exposées, typiquement aux mécanismes lésionnels de type « over stretching ». Chez les arrières ce sont les centres qui sont les plus exposés, typiquement aux mécanismes lésionnels de type « sprinting » [9] (4 au score de Sackett).

Il apparaît enfin qu'un temps de rééducation plus long serait un facteur de préservation de récurrence. Le taux de LMA observé sur la « Qatar Star League » est du même ordre qu'en Europe. Mais le temps de retour au sport (RAS) est plus tardif et le taux de récurrence est plus bas [1].

2.2 Mécanisme lésionnel de la LMA « sprinting type » aux IJ

Chumanov & al. 2011 [10] (4 au score de Sackett) a étudié les contraintes mécaniques induites sur les IJ pendant la course. Il s'agit d'une étude biomécanique portant sur 12 sujets sains et menée avec méthode en 2 étapes. L'étape de collecte des données physiques a été réalisée par acquisition cinématique 3D couplée à la mesure de l'activité musculaire par électromyogramme (EMG) et de la pression au sol par plate-forme de force. La seconde étape de modélisation informatique a été validée par une comparaison des résultats modélisés avec

les mesures physiques. Le modèle a ainsi été validé avec un écart des positions segmentaires inférieur à 3° et d'activité musculaire négligeable.

Il en ressort que c'est lors de la fin de la phase oscillante (entre 50% et 90% du cycle de course) que les IJ sont soumis aux contraintes les plus élevées. Leur allongement est croissant sur cette plage et atteint son maximum à 90% du cycle. Le travail y est excentrique (il est concentrique sur le reste du cycle) et d'intensité croissante avec la vitesse de course, atteignant son pic pendant l'intervalle 85%-95% (notamment du Semi-Membraneux (SM) et du BF). Le pic de force concentrique est atteint sur l'intervalle 0%-15% et indépendant à la vitesse de course. Enfin le pic de force à la phase oscillante est significativement supérieur à celle de la phase portante pour le SM et le BF à toutes les vitesses.

C'est donc le mécanisme de contraction excentrique à la fin de la phase oscillante qui semble à l'origine de la LMA des IJ. La question est alors de savoir si la blessure survient par accumulation ou sur un événement singulier. Morgan 1990 [11] (Accord Professionnel) soutient la thèse des dommages accumulés, « Sarcomere Popping », au travers de travaux de modélisation informatique. Les contractions excentriques répétées entraînent l'allongement non uniforme des sarcomères, entraînant à leur tour un report des contraintes mécaniques sur un nombre plus restreints d'éléments myo-conjonctifs (ceux dont la taille s'est moins ou pas allongée) et diminuant ainsi la résistance macroscopique du muscle, le rendant vulnérable à la LMA. Butterfield & Timothy 2010 [12] (Accord Professionnel) est venu récemment contester cette théorie. Au travers d'une revue de littérature narrative d'études in vitro et in situ, il démontre la stabilité de la courbe longueur-tension pendant la contraction d'allongement. Il émet l'hypothèse que les dommages accumulés à l'échelle du sarcomère ne sont pas transposables à l'échelle de la fibre musculaire et que seule une contrainte supérieure à la capacité de résistance du muscle peut le blesser avec gravité.

Opar & al. 2012 [13] (Accord Professionnel) réalise une revue de littérature narrative des études et articles portant sur la blessure musculaire des IJ dans la pratique sportive. Il relate que la LMA aux IJ pourrait être induite suivant les cas par des dommages musculaires microscopiques accumulés ou par un seul événement préjudiciable. Il ajoute que la nature bi-articulaire des IJ les expose naturellement à des contraintes pouvant dépasser les limites mécaniques du muscle ou, lorsqu'elle sont répétées, entraîner une accumulation de dommages musculaires. Il en est de même avec la double innervation du BF (branche Tibiale du nerf

Tableau I : Revues de littérature systématiques des facteurs de risque

Facteur de risque	Revue systématique	Nombre d'études retenues	Effet sur le risque	Observations
Baisse du pic de force des IJ	Foreman & al. 2006	7	1 LS 6 LNS	-
	Freckleton & Pizzari 2015	4	4 LNS	Force concentrique
		1	1 LNS	Force excentrique
Hausse du pic de force du QC	Freckleton & Pizzari 2015	M-A 4/195	LS	Force concentrique
	Freckleton & Pizzari 2015	1	1 LNS	Force excentrique
Diminution du ratio IJ/QC	Foreman & al. 2006	7	1 LS 6 LNS	Ratios étudiés non détaillés
	McCall & al. 2015	6 (S-2)	4 LS 1 LNS	Conclusion impossible (ratios variables, résultats contradictoires)
	Freckleton & Pizzari 2015	M-A 5/216	LNS	Concentrique à 60°/s
		1	1 LNS	Concentrique à 180°/s et 300°/s
		1	1 LNS	Mixte
		1	1 LS	Mixte à 60°/s
		2	2 LNS	Mixte à 180°/s
		1	1 LNS	Mixte à 300°/s
Contrôle neuromusculaire	Foreman & al. 2006	1	1 LS	Difficulté d'évaluation du trouble
Hypo-extensibilité des IJ	Foreman & al. 2006	5	5 LNS	-
	Freckleton & Pizzari 2015	M-A 2/407	LNS	Test en actif
		M-A 3/907	LNS	Test en passif
Antécédent de LMA des IJ	Foreman & al. 2006	3	3 LS	Facteur indépendant Risque x5 pour 1 étude
	McCall & al. 2015	6 (S-2)	5 LS 1 LNS	-
	Freckleton & Pizzari 2015	M-A 13/2952	LS	Risque x2,1 et x3,5 pour 2 études

IJ : Ischio-Jambiers ; QC : Quadriceps ; IMC : Indice de Masse Corporelle ; UK : Anglais ; **LS** : **Lien Significatif** ; LNS : Lien Non Significatif ; M-A 13/2952 : Méta-Analyse nombre d'études/nombre de sujets ; (S-2) : niveau 2 au score de Sackett

Sciaticque pour la portion longue et branche Fibulaire Commune pour la courte) qui pourrait induire un risque de contraction non coordonnée.

2.3 Facteurs de risques de la LMA aux IJ

L'étude des facteurs de risque constitue une étape importante dans la prise en charge kinésithérapique. Elle doit guider le thérapeute dont l'objectif final est de combattre la récurrence dans le choix de ses priorités. On retrouve aussi ces mêmes priorités dans la prévention. Nous avons sélectionné 3 revues systématiques de la littérature récente. Foreman & al. 2006 [14] (1 au score de Sackett) a recherché les études cliniques prospectives (exclusion des rétrospectives) en langue anglaise relatant de la blessure sportive aux IJ. Ce sont au final 7 études qui ont été sélectionnées. McCall & al. 2015 [15] (1 au score de Sackett) s'est penché sur les études cliniques prospectives et rétrospectives portant sur la pratique du football de haut niveau masculin européen (3 premières divisions) et a sélectionné 14 études. Enfin, Freckleton & Pizzari 2015 [16] (1 au score de Sackett) a relu 34 études cliniques prospectives en langue anglaise relatant la blessure musculaire des IJ dans la pratique sportive (exclusion des cas de ruptures totales et désinsertions tendineuses). Cette dernière revue a également produit 5 méta-analyses que nous détaillons plus bas.

Le tableau I donne le résultat consolidé de notre lecture de ces 3 revues systématiques. Nous n'avons retenu que les facteurs de risque altérables et ne mentionnons pas dans ce travail les facteurs de risque non-altérables du point de vue de la prise en charge kinésithérapique (âge, poids, IMC, taille, anatomie bi-articulaire des IJ, ...).

L'antécédent de LMA aux IJ est sans aucun doute le facteur de risque le plus évident. Huit études et une méta-analyse sur 13 études et 2952 sujets concluent à un lien significatif [14], [15], [16]. De plus le risque serait multiplié par 2,1 3,5 ou 5 suivants 3 études différentes [14], [16].

La force musculaire est aussi un facteur de risque. Il se mesure suivant 3 paramètres principaux : le pic de force des IJ, le pic de force du QC et le ratio IJ/QC. Ces paramètres peuvent s'apprécier en faisant varier le mode de contraction (concentrique ou excentrique) et la vitesse. Cette grande variabilité dans les méthodes d'évaluation de la force musculaire entraînent une grande variabilité des résultats. Les conclusions en sont donc difficilement réalisables. Concernant la baisse du pic de force des IJ, une seule étude relate un lien significatif avec le risque [14] contre 11 études statuant sur un lien non significatif [14], [16],

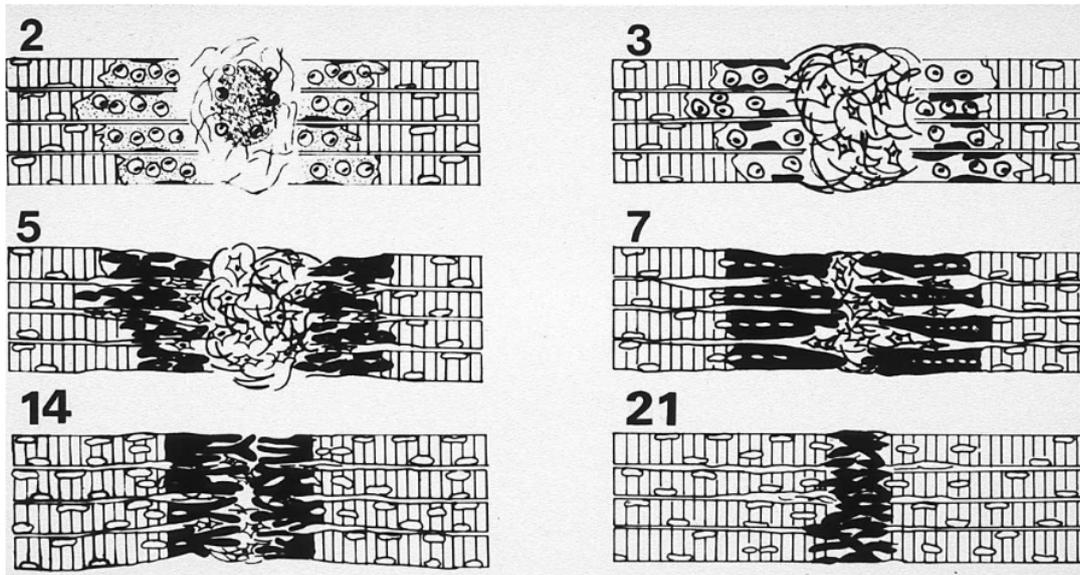


Figure 2. A schematic illustration of the healing skeletal muscle. Day 2: the necrotized parts of the transected myofibers are being removed by macrophages while, concomitantly, the formation of the connective tissue scar by fibroblasts has begun in the central zone (CZ). Day 3: satellite cells have become activated within the basal lamina cylinders in the regeneration zone (RZ). Day 5: myoblasts have fused into myotubes in the RZ, and the connective tissue in the CZ has become denser. Day 7: the regenerating muscle cells extend out of the old basal lamina cylinders into the CZ and begin to pierce through the scar. Day 14: the scar of the CZ has further condensed and reduced in size, and the regenerating myofibers close the CZ gap. Day 21: the interlacing myofibers are virtually fused with little intervening connective tissue (scar) in between.

Figure 2 : Principales étapes de la cicatrisation musculaire d'après Järvinen TAH & al. 2005

ce quelque soit le mode de contraction. Concernant la hausse du pic de force du QC, une méta-analyse portant sur 4 études et 195 sujets conclut sur un facteur de risque significatif pour la force concentrique. L'évaluation par ratio IJ/QC reste encore non concluante devant l'absence de standard de comparaison. En fonction du ratio évalué le lien peut être significatif (6 études) ou non significatif (12 études) [14], [15], [16]. Le ratio concentrique ne semble pas adapté : une méta-analyse portant sur 5 études et 216 sujets conclut sur un facteur de risque non significatif à 60°/s, 1 autre étude apporte la même conclusion pour les vitesses 180°/ et 300°/s [16]. L'évaluation par ratio mixte à 60°/s semble être significative (1 étude) contrairement aux vitesses supérieures 180°/s et 300°/s (3 études) [16].

La littérature a manifestement peu étudié l'influence de l'altération du contrôle neuromusculaire. Une seule étude a été retenue et conclut à un risque significatif. Cependant cette conclusion est modérée par la difficulté d'évaluation du trouble de manière objective et reproductible [14]. L'hypo-extensibilité des IJ n'apparaît pas comme un facteur de risque significatif, et ce quelque soit le mode d'appréciation (extension de genou actif ou passive) ; comme le montrent 5 études cliniques prospectives [14] et 2 méta-analyses (2 études regroupant 407 sujets et 3 études regroupant 907 sujets) [16].

3 CICATRISATION MUSCULAIRE

La cicatrisation musculaire suit un processus de réparation. Contrairement à l'os qui se régénère et dont le tissu post-lésionnel est identique au tissu pré-lésionnel, le tissu musculaire réparé présente une cicatrice dont les propriétés, notamment mécaniques, sont différentes du tissu pré-lésionnel. Elle se déroule au travers de 3 processus [17] (Accord Professionnel) :

- Destruction : nécrose tissulaire et réaction inflammatoire.
- Réparation : régénération des myofibres et formation de la cicatrice conjonctive.
- Remodelage : maturation de néo-myofibres et réorganisation de la cicatrice conjonctive.

La figure 2, d'après Järvinen & al. 2005 [17], donne la représentation schématique des principales étapes de la cicatrisation musculaire dans les 3 premières semaines post-lésionnelles.

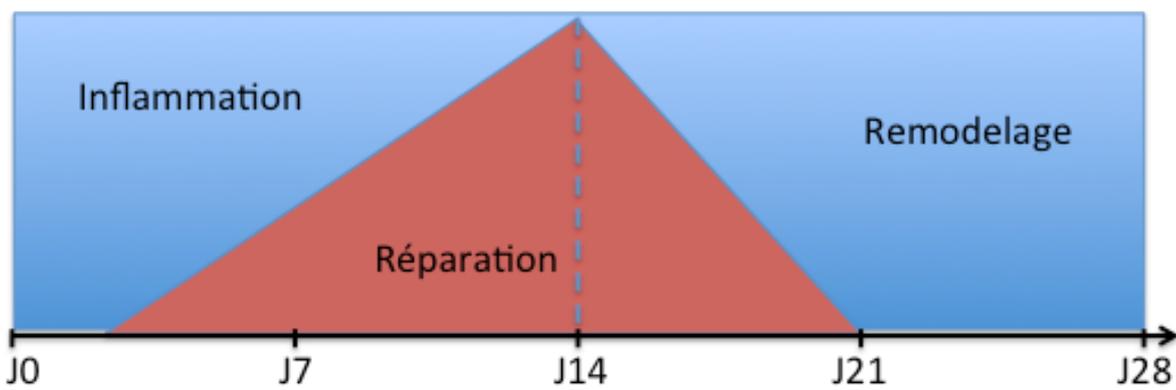


Figure 3 : les 3 temps de la cicatrisation musculaire, le pic de régénération est atteint à 2 semaines.

3.1 Processus de réparation musculaire

Le traumatisme de la LMA détruit les fibres musculaires immédiatement touchées, qui vont alors nécroser, ainsi que la membrane basale et la matrice conjonctive adjacentes [17]. Le temps de l'inflammation débute alors dès les premières minutes qui suivent le traumatisme et va permettre le nettoyage de la zone ne laissant que la membrane basale qui servira de support à la régénération musculaire [17], [18] (Accord Professionnel).

Cette réaction inflammatoire est aussi le point de départ de la régénération musculaire en déclenchant une série de signaux chimiques (notamment cytokines et facteurs de croissance) qui vont initier et amplifier la prolifération et la différenciation des cellules réparatrices (fibroblastes et cellules satellites puis myoblastes) [17], [18].

Les processus de réparation et de remodelage se chevauchent comme le montre la figure 3. La réparation musculaire démarre dès la première semaine post-lésionnelle aux alentours de J3-J4, son pic est atteint aux alentours de la deuxième semaine pour décroître entre la troisième et la quatrième semaine. Le remodelage débute entre la deuxième et troisième semaine post-traumatisme [17], [18]. A ce stade 2 phénomènes complémentaires doivent s'équilibrer pour assurer une récupération optimale du tissu musculaire : régénération des myofibres d'une part et formation de la cicatrice conjonctive d'autre part [17], [18].

La formation de la cicatrice conjonctive débute dès les premiers temps post-lésionnels avec la formation d'un tissu de granulation qui, à l'issue de la phase de destruction, a comblé la zone centrale de la lésion et offre une résistance et une élasticité permettant au tissu lésé de supporter des contraintes modérées en allongement [17]. Puis le collagène de type III est rapidement synthétisé et quelques jours plus tard le type I prend le relais et son expression se prolonge pendant les semaines suivantes. La cicatrice conjonctive arrive enfin à maturation aux alentours de J10 et offre alors sa résistance maximale et définitive [17].

Les néo-myofibres nouvellement formées expriment une adhésion myo-conjonctive à la matrice conjonctive musculaire dès leur naissance. Cette adhésion s'exprime latéralement pendant leur croissance. Puis aux alentours de J7, les néo-myofibres nouvellement formées commencent à percer la cicatrice conjonctive et viennent y adhérer par une liaison myo-conjonctive à leurs extrémités entièrement constituée aux alentours de J14 [17]. Sa maturation nécessitera encore quelques semaines avant de retrouver son niveau de résistance pré-lésionnel [17].

3.2 Facteurs de cicatrisation musculaire

La vascularisation, l'innervation et la traction longitudinale sont les 3 facteurs indispensables à la cicatrisation musculaire [17], [18].

La revascularisation est issue des vaisseaux sanguins ayant survécu au traumatisme. Elle est initiée dans la zone centrale du site lésionnel. Elle est indispensable à la régénération de néo-myofibres afin d'assurer le transport de l'oxygène nécessaire au métabolisme aérobie de régénération [17].

La ré-innervation est issue de la repousse axonale des filets nerveux lésés. Elle ne conditionne pas la régénération des myofibres mais est indispensable à leur développement et leur maturation. Sans innervation les néo-myofibres seront atrophiées [17].

La traction longitudinale permet la bonne orientation des fibres musculaires et de collagène, nécessaire in fine à la fonction mobilisatrice du muscle [17].

Les travaux de Jarvinen et Letho ont également démontré les effets positifs de la mobilisation sur la cicatrisation : accélération de la résorption hématique, précocité et importance de la régénération musculaire, meilleure orientation des fibres musculaires ; et de l'immobilisation précoce et de courte durée : réduction de l'hématome initial et accélération de l'apparition du collagène de type 1 [19] (2 au score de Sackett). Ces effets positifs doivent être mesurés et modérés par les effets négatifs d'une mobilisation trop précoce (aggravation de l'hématome initial et augmentation du nombre de cellules inflammatoires). Mais une immobilisation prolongée engendrera une augmentation de la nécrose musculaire, un retard de la maturation de la cicatrisation fibreuse, une orientation anarchique des fibres et une atrophie musculaire.

La mécanisation du tissu musculaire lésé conditionne donc l'équilibre entre régénération des myofibres et formation de la cicatrice conjonctive. Elle prévient la fibrose du site lésionnel qui entrainerait une barrière mécanique et fragiliserait définitivement le muscle cicatrisé [17], [18], [19].

4 TRAVAIL EXCENTRIQUE

4.1 Effets généraux et effet protecteur

Le travail excentrique présente un rendement supérieur au travail concentrique :

- Suivant Middleton & Montero 2004 [20] (Accord Professionnel) : une consommation moindre en ATP et oxygène, par rapport au travail excentrique, par le recrutement préférentiel de fibres rapides IIb.
- Pour Asmussen 1953 [21] (Accord Professionnel) : recrutement d'une quantité moindre d'unités motrices (UM) pour une même force développée.
- Pour Ellenbecker et al. 1988 [22] (2 au score de Sackett, étude clinique contrôlée randomisée portant sur 22 tennismen sains) : quand il est maximal, renforcement de la force concentrique et excentrique (le travail concentrique ne renforçant que la force concentrique).
- D'après Brockett & al. 2001 [23] (4 au score de Sackett, série de cas portant sur 10 sujets sains) : quand il est maximal, déplacement vers la course externe du pique de force excentrique (hypothèse d'ajout de sarcomères en série contre en parallèle pour le travail concentrique).

Mais le mode excentrique présente par ailleurs des inconvénients :

- Selon Suivant Middleton & Montero 2004 [20] : il induit une hypoxie tissulaire par une baisse pendant le travail de la vascularisation locale.
- D'après Barash & al. 2002 [24] (2 au score de Sackett, étude histologique contrôlés randomisée portant sur le rat) : quand il est maximal, il entraîne une baisse temporaire (24h) de la Desmin couplée à une perte de force temporaire récupérée à 90% au bout de 48 heures.

L'effet protecteur est défini dans la littérature par le fait qu'une première séance d'exercices excentriques induit des douleurs musculaires d'apparition retardées (DOMS) et une baisse de force temporaire quand sa répétition à distance induit ces mêmes effets de manière atténuée. Nous avons sélectionné une revue de la littérature couvrant 29 études (24 sur l'homme et 5 l'animal) ayant étudié l'effet protecteur, « repeated bout effect », induit par des exercices à dominante excentrique : Michaut & Pousson 2004 [25] (Accord Professionnel). Les résultats permettent de définir une posologie argumentée du travail excentrique : nombre

optimal de répétitions de l'exercice de 2 à 10, temps de repos entre 2 séances d'au moins 3 jours, effet retard optimum à 2 semaines pouvant perdurer jusqu'à plusieurs mois [25].

Deux hypothèses pourraient expliquer cet effet protecteur. Une adaptation neurophysiologique par synchronisation de l'activité des UM induisant une meilleure répartition des contraintes sur les fibres mobilisées, offrant ainsi une meilleure résistance au stress du travail excentrique subi. Cette hypothèse est cependant fortement controversée par des expériences de travail excentrique par électrostimulation (shuntant ainsi la commande nerveuse centrale) sur l'homme et l'animal induisant le même effet protecteur [25]. C'est l'hypothèse d'une adaptation mécanique du tissu qui semble aujourd'hui être retenue. Le modèle avancé serait l'augmentation du nombre de sarcomères en série et l'uniformisation de leur longueur et, par ailleurs, le renforcement de la matrice conjonctive par les réactions inflammatoires induites entraînant la différenciation et la prolifération des cellules satellites et la production de collagène de type I [25].

4.2 Effets tissulaires

Cliniquement le travail musculaire induit des DOMS et une perte de force temporaire. Il est donc essentiel d'en connaître les effets au niveau tissulaire (cellulaire et protéique) avant de l'envisager en phase cicatricielle. Yu & al. 2002 [26] (4 au score de Sackett) et Malm & Yu 2012 [27] (2 au score de Sackett) ont étudié les effets d'exercices excentriques sur l'intégrité cellulaire et l'expression des protéines de liaison myo-conjonctive. Trois types d'exercices ont été utilisés : descente d'escalier (15 x 10 étages), vélo excentrique (100W à 60rpm + 20W /2min jusqu'à épuisement) et course en descente (à vitesse constante sur déclive de 1° + 1° /1min jusqu'à épuisement). A la suite de ces exercices tous les sujets ont reporté l'apparition de DOMS importantes évaluées à 48h entre 5,2 et 7,8 sur 10 suivant les sujets. Cependant l'observation histologique (biopsie de Vaste Latéral du QC à 48 heures de l'exercice) n'offrait aucun signe d'atteinte des fibres ou des sarcomères, tant dans la disposition des fibres que dans l'absence d'infiltration de fibronectine dans ces mêmes fibres [26], [27]. De plus l'analyse protéomique montrait une augmentation de l'expression de Desmin et d'Actin sans signe chimique d'inflammation [27]. Les auteurs concluent donc que le travail excentrique soutenu et prolongé induit un remodelage protéique de la bande Z sans nécrose cellulaire ni inflammation.

Le contraction excentrique peut s'avérer traumatique comme nous l'avons vu plus haut [10], [13]. La question est alors de comprendre à quoi le thérapeute risque d'exposer son

Tableau II : Travail excentrique précoce à visée cicatricielle : justification et niveaux de preuve

Argumentaire	Etudes	Niveaux de preuve
mécanisation par traction longitudinale	Huard & al. 2002 Järvinen TAH & al. 2005 Järvinen DMJ Letho 2012	4 au score de Sackett 4 au score de Sackett 2 au score de Sackett
niveau de résistance conjonctive définitive à J10 et adhérence des néo-myofibres à J14	Järvinen TAH & al. 2005	4 au score de Sackett
pas de dommage cellulaire ni d'altération des protéines de lésion	Yu & al. 2002 Malm & Yu 2012	2 au score de Sackett 2 au score de Sackett
renforcement du tissu conjonctif	Yu & al. 2002 Malm & Yu 2012 Aärimaa & al. 2004	2 au score de Sackett 2 au score de Sackett 2 au score de Sackett
une augmentation du nombre de sarcomères en série	Brockett & al. 2001 Michaut & Pousson 2004	2 au score de Sackett accord d'expert

patient lorsqu'il envisage le travail excentrique en phase cicatricielle. Aärimaa & al. 2004 [28] (2 au score de Sackett) a étudié les effets sur le lapin de la LMA mineure par contraction excentrique sur les propriétés mécaniques (élasticité et tension de rupture), l'intégrité du tissu et son activité cellulaire. Une baisse significative de la résistance maximale à la tension a pu être mise en évidence à J1, témoignant de la lésion. Mais rapidement cette baisse redevenait non significative à J3 comme à J7. La LMA n'avait pas d'impact significatif sur l'élasticité du tissu lésé à J1, J3 et J7. L'observation histologique n'a pas mis en évidence de rupture des myofibres. Mais une hémorragie au niveau de l'épimysium, une perte de Desmin dans la région de la jonction myo-tendineuse distale accompagnée de cellules inflammatoires et, la prolifération de cellules satellites non différenciées et de fibroblastes témoignaient de la LMA. Les auteurs concluent donc que la contraction excentrique traumatique bénigne induit une réponse inflammatoire avec la production de protéines de soutien et la prolifération de cellules satellites sans rupture observable des myofibres (seules les protéines du cytosquelette semblent atteintes) [28].

5 ENSEIGNEMENTS INTERESSANT L'OPTIMISATION DE LA CICATRISATION MUSCULAIRE

La LMA souffre d'un taux de récurrence relativement élevé : de l'ordre de 15% dans le football professionnel et l'athlétisme [2], [6]. L'antécédent de LMA aux IJ est sans aucun doute le facteur de risque le plus évident avec un effet multiplicateur par 2 à 5 suivants les études [14], [15], [16]. Dans le football professionnel, 60% des LMA sont des récurrences [2]. Ce taux de récurrence élevé corrélé au facteur de risque que représente une première LMA nous permet d'émettre l'hypothèse qu'une cicatrisation du muscle blessé de mauvaise qualité pourrait être, entre autres, une des origines du problème.

La mise en relation du processus de cicatrisation musculaire et des effets du travail excentrique offre alors plusieurs arguments d'un niveau de preuve satisfaisant en faveur du recours au travail excentrique précoce à visée cicatricielle (Cf. tableau II) :

- la mécanisation par traction longitudinale du tissu lésé est indispensable à la réparation musculaire [18], [17], [19]

- au cours de la deuxième semaine post-lésionnelle, la matrice conjonctive est constituée et a atteint son niveau de résistance définitif et, les fibres musculaires nouvellement formées viennent la percer et y adhérer [17].
- le travail excentrique infra-douloureux réalisé à vitesse lente et à résistance sous-maximale n'engendre pas de dommage cellulaire ni d'altération des protéines de lésion myo-aponévrotique [26], [27].
- le travail excentrique induit un remaniement tissulaire aboutissant à un renforcement du tissu conjonctif [26], [27], [28] et une augmentation du nombre de sarcomères en série [23], [25].

Le travail excentrique sous-maximal pourrait donc représenter un facteur favorable de cicatrisation du muscle lésé en majorant notamment la prolifération cellulaire et la maturation néo-myofibres ainsi que leur adhésion à la matrice conjonctive. Il devra cependant être correctement dosé en intensité afin de ne pas devenir délétère et relancer le processus inflammatoire.

Le travail excentrique maximal restera le mode de contraction préférentiel pour le renforcement musculaire mis en œuvre à la phase fonctionnelle de la prise en charge de la LMA de part l'effet protecteur qu'il induit [20], [21], [22], [23]. Les séances devront être précédées et suivies de courtes séquences de travail concentrique afin de contrer l'effet hypoxique du travail excentrique [20]. Et la posologie optimale sera de 2 à 10 répétitions de l'exercice avec un temps de repos entre 2 séances d'au moins 3 jours afin de maximiser l'effet protecteur [25] et de contrer la baisse temporaire de force [24].

Dans la suite de ce travail, nous tenterons de mettre à l'épreuve de la clinique ces hypothèses au travers de la littérature traitant de la prise en charge kinésithérapique de la LMA.

6 PRISE EN CHARGE KINESITHERAPIQUE DE LA LMA

6.1 Diagnostic de la LMA

La littérature s'accorde sur le fait que le diagnostic de la LMA est basé sur l'interrogatoire et l'examen clinique. L'imagerie peut être optionnelle et vient en complément de l'examen clinique [29] (Accord Professionnel), [30] (Accord Professionnel), [31] (Accord

Tableau III : Diagnostic physiopathologique de la LMA

Type de LMA	Extrinsèque	Intrinsèque	
		<i>Stretching</i>	<i>Sprinting</i>
Mécanisme lésionnel	Contusion ou lacération	Etirement brusque ou lent	Contraction excentrique

Tableau IV : Evaluation clinique de la gravité de la LMA

Gravité	Circonstances d'apparition			Examen clinique			Inspection
	Douleur	Apparition de la douleur	Impotence fonctionnelle	Douleur et force à la contraction résistée	Douleur à l'étirement	Douleur à la palpation	
Bégnine	Faible	Progressive	Différée	Douleur faible sans perte de force	Perte d'amplitude minimale	Diffuse	-
Moyenne	Modérée	Brusque	Immédiate	Douleur modérée avec perte de force	Perte d'amplitude marquée	Locale	Boiterie et attitude antalgique
Grave	Forte	Brusque +/- craquement	Immédiate et persistante dans les AVQ à J3	Douleur forte avec perte de force	Perte d'amplitude maximale	Excise	Boiterie, attitude antalgique et hématome

Professionnel), [32] (Accord Professionnel), [33] (Accord Professionnel). L'examen clinique est réalisé à J0 puis répété chaque jour pendant la phase inflammatoire (jusqu'à J4 environ). Le pronostic provisoire émis à J0 est alors affiné en fonction de l'évolution durant ces premiers jours ; notamment la douleur corrélée au type d'effort et au mouvement qui la provoque. Les exigences du sport et du poste pratiqué doivent également être prises en compte [29], [30].

L'interrogatoire va renseigner sur :

- Le type de lésion à soigner au travers des circonstances de l'accident [29], [30], [31], [32], [33] (Cf. tableau III).
- La gravité potentielle de la blessure au travers du mode d'apparition et de l'intensité de la douleur au moment de l'accident (intensité, brusque/progressive, impotence immédiate/différée) [29], [30] (Cf. tableau IV).

L'examen clinique corrélié à l'interrogatoire permet d'évaluer la gravité de la blessure : bénigne, moyenne, grave. Il consiste en 3 tests cliniques évaluant la douleur : à la contraction dynamique résistée puis à l'étirement maximal et enfin à la palpation [29], [30], [31], [32], [33] (Cf. tableau IV). Ces tests sont complétés à l'inspection par la recherche d'hématome, d'anomalies trophiques et de boiterie et attitude antalgique qui viennent alors majorer la gravité induite par la douleur [29], [30], [33].

L'imagerie est un examen complémentaire, optionnel notamment en cas de lésion bénigne, nécessaire en cas de lésion profonde inaccessible à la palpation [30], [33]. Dans le cas du sport de haut niveau, elle reste systématique et justifiée par la nécessité d'optimiser au maximum le délai de RAS [29]. Son objectif est de préciser la topographie lésionnelle et de mesurer avec précision la taille de la lésion et le volume de l'hématome associé [29], [30], [31], [32], [33]. Les techniques utilisées sont alors l'échographie et/ou l'IRM. L'échographie est peu coûteuse et autorise un examen en dynamique. L'IRM est beaucoup plus coûteuse mais permet une exploration plus précise des tissus profonds [30]. Ces examens doivent être réalisés en différé, 24 à 48 heures au minimum, afin de s'affranchir des perturbations engendrées par un éventuel hématome [29]. Depuis la classification R. Andrivet de 1968 rendue obsolète par les récents progrès technologiques, de nombreuses propositions ont vu le jour. Nous avons sélectionné les plus utilisées (Cf. annexes 6 à 9) [1] : « Järvinen » [34] (4 au score de Sackett) la plus utilisée dans le monde anglo-saxon, « Durey et Rodineau » [35] (4 au score de Sackett)

Tableau V : Revues de littératures systématiques des interventions spécifiques de la LMA

Revue systématique	Domaine de recherche	Etudes cliniques retenues	Intervention étudiée	Effet mesuré
Reurink & al. 2011	<i>Design d'étude</i> : PCR & PCNR <i>Langues</i> : UK, DE, NL	Cibulka & al. 1986	Normalisation de l'articulation Sacro-Iliaque	Pique de force Extensibilité des IJ
		Kornberg & Lew 1989	Traitement neurodynamique par « Slump »	Indisponibilité aux compétitions
		Lee & al. 2011	Injection de PRP	Délai de RAS Effets indésirables
		Malliaropoulos & al. 2004	Auto-étirement passif	Délai de RAS Extensibilité des IJ
		Reynolds & al. 1995	Prise de AINS	Douleur Pique de force
		Sherry & Best 2004	Agilité et stabilité du tronc	Délai de RAS Récidive
Mason & al. 2012	<i>Design d'étude</i> : CR	Sherry & Best 2004	Agilité et stabilité du tronc	Délai de RAS Récidive
		Malliaropoulos & al. 2004	Auto-étirement passif	Délai de RAS Extensibilité des IJ
Pas & al. 2015	<i>Design d'étude</i> : CR <i>Langues</i> : UK, DE, NL	Sherry & Best 2004	Agilité et stabilité du tronc	Délai de RAS Récidive
		Slider & al. 2013	Agilité et stabilité du tronc	Taille de la blessure
		Reynolds & al. 1995	Prise de AINS	Douleur Pique de force
		Malliaropoulos & al. 2004	Auto-étirement passif	Délai de RAS Extensibilité des IJ
		Cibulka & al. 1986	Normalisation de l'articulation Sacro-Iliaque	Pique de force Extensibilité des IJ
		Askling & al. 2013	Travail excentrique précoce	Délai de RAS Récidive
		Askling & al. 2014	Travail excentrique précoce	Délai de RAS Récidive
		Reurink & al. 2014	Injection de PRP	Délai de RAS
		Hamid & al. 2014	Injection de PRP	Délai de RAS
		Hamilton & al. 2015	Injection de PRP	Délai de RAS

PCR : étude clinique Prospective Contrôlée Randomisée ; CR : étude clinique Contrôlée Randomisée PCNR : étude clinique Prospective Contrôlée Non-Randomisée ; UK : anglais, DE : allemand, NL : néerlandais ; IJ : Ischio-Jambiers ; RAS : Retour Au Sport ; PRP : Platelet Rich Plasma ; AINS : Anti-Inflammatoire Non-Stéroïdien

faisant aujourd'hui en France le plus souvent référence, « Munich 2012 » [36] (Accord Professionnel) représentant une étape importante dans le processus de convergence, en enfin « Brasseur & Renoux » [37] (4 au score de Sackett) la seule différenciant à la fois les atteintes fonctionnelles et structurelles ainsi que les atteintes conjonctives pures et myo-conjonctives.

6.2 Interventions spécifiques

La littérature offre un nombre limité d'études cliniques randomisées de qualité étudiant les interventions spécifiques dans le traitement de la LMA. Nous avons sélectionné 3 revues de littérature systématique Reurink & al. 2011 [38] (1 au score de Sackett), Mason & al. 2012 [39] (1 au score de Sackett) et Pas & al. 2015 [40] (1 au score de Sackett). Les résultats sont résumés dans le tableau V.

Nous ne retiendrons pas les études portant sur les interventions de type médicamenteuses car en dehors du champ kinésithérapique pur. De même nous avons écarté de notre travail les études évaluant l'effet des manipulations de l'articulation Sacro-Iliaque et neurodynamique. En effet, elles s'adressent aux cas particuliers de sujets souffrant de LMA dont l'origine est supposée être liée à une dysfonction Sacro-Iliaque ou neurologique. Le thérapeute devra compléter sa démarche par un bilan complet incluant notamment les dimensions articulaire et neurologique ; et au besoin normaliser les dysfonctions potentiellement constatées. Nous concentrons donc notre lecture de la littérature sur les 4 études cliniques randomisées suivantes :

- Askling & al. 2013 [41] (2 au score de Sackett) et Askling & al. 2014 [42] (2 au score de Sackett) étudiant l'effet de travail excentrique précoce sur le délai de RAS et la récurrence.
- Sherry & Best 2004 [43] (2 au score de Sackett) étudiant l'effet du renforcement de l'agilité et de la stabilité du tronc sur le délai de RAS et la récurrence.
- Malliaropoulos & al. 2004 [44] (2 au score de Sackett) étudiant l'effet des auto-étirements passifs sur le délai de RAS et de récupération de l'extensibilité des IJ.

6.2.1 Travail excentrique précoce

Askling & al. 2013 [41] et Askling & al. 2014 [42] ont étudié la même intervention en comparant l'effet d'un protocole de rééducation « L-protocol » à dominante de travail excentrique des IJ en position course externe par rapport à un protocole « C-protocol » plus conventionnel sans composante de travail excentrique en course externe. Les 2 protocoles ont



Figure 4 « *L-Protocol the Extender* » d'après Askling & al. 2013 et 2014 : cuisse blessée maintenue et hanche fléchi à 90°, extension de genou lente et progressive jusqu'au point de douleur (3 séries de 12 répétitions 2 x/j).



Figure 5 « *L-Protocol the Diver* » d'après Askling & al. 2013 et 2014 : En appui sur la jambe blessé genou déverrouillé, « plongeon » en avant en flexion de hanche homolatérale (3 séries de 6 répétitions tous les 2 jours).



Figure 6 « *L-Protocol the Glider* » d'après Askling & al. 2013 et 2014 : fente jambe blessée avant, glissement de la jambe arrière jusqu'au point de douleur (3 séries de 4 répétitions tous les 3 jours).



Figure 7 « *C-Protocol Stretching* » d'après Askling & al. 2013 et 2014 : jambe blessée genou fléchi à 10°, talon enfoncé pendant 10s puis relâchement, flexion du tronc jusqu'au point de douleur et maintient pendant 20s (3 séries de 4 répétitions 2x/j).

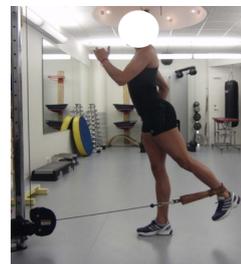


Figure 8 « *C-Protocol Cable-pendulum* » d'après Askling & al. 2013 et 2014 : câble à la jambe blessée genou fléchi à 20°-30°, flexions extensions de hanche en maintenant son tronc à la verticale (3 séries de 6 répétitions tous les 2 jours).



Figure 9 « *C-Protocol Pelvic lift* » d'après Askling & al. 2013 et 2014 : élévation et abaissement du bassin, appui sur la jambe blessée genou fléchi à 90° (3 séries de 8 répétitions tous les 3 jours).

Tableau VI : Effets de travail excentrique précoce d'après Askling & al. 2013 et 2014

	L-Protocol		C-Protocol	
	Délai de RAS (jours)	Récidive à 12 mois	Délai de RAS (jours)	Récidive à 12 mois
Askling & al. 2013	28 +/- 15 8-58	0	51 +/- 21 12-94	1
Askling & al. 2014	49 +/- 26 18-107	0	86 +/- 34 26-140	2

RAS : Retour a Sport ; Moyenne +/- Écart type ; Valeur minimale - Valeur maximale

débuté au cinquième jour post-lésionnel et mettaient en jeu chacun 3 exercices dont les objectifs étaient l'augmentation de l'extensibilité des IJ, le renforcement combiné de la force des IJ et de la stabilisation lombo-pelvienne et le renforcement spécifique de la force des IJ. Les figures 4 à 9 illustrent chacun des ces exercices. Tous ces exercices ont été choisis pour pouvoir être réalisés partout et sans équipement spécifique. Ils ont été réalisés quotidiennement et supervisés au moins une fois par semaine. Ils ont été réalisés en infra-douloureux stricte et, en intensité et vitesse progressive tout au long de la rééducation.

Dans les 2 études les critères d'inclusion et d'exclusion étaient les mêmes. Les blessures ont été diagnostiquées par examen clinique et confirmées par IRM. Les cas de récurrence homolatérale dans les 6 mois, de traumatismes extrinsèques et de lombalgie ont été exclus. Une stratification des sujets a été faite sur le sexe et le type de blessure « sprinting/stretching-type ». Askling & al. 2013 [41] portait sur 75 footballeurs hommes et femmes de haut niveau suédois (2 premières divisions) répartis dans 2 groupes (37 L-Protocol et 38 C-Protocol). Askling & al. 2014 [42] portait sur 56 athlètes hommes et femmes de haut niveau suédois (top 20) répartis dans 2 groupes (28 L-Protocol et 28 C-Protocol).

Les 2 études ont mesuré l'effet des interventions sur le délai de RAS et sur le taux de récurrence à 12 mois. Tous les sujets ont été suivis sur la totalité de la période et ont tous entièrement complété leur programme de rééducation. Les résultats produits sont résumés dans le tableau VI. Ces résultats montrent que l'effet du travail excentrique précoce est statistiquement ($p < 0.001$, test Mann-Whitney U) et cliniquement positivement significatif : un gain sur le délai de RAS en moyenne de l'ordre de 43 à 45%, soit 22 à 36 jours, et un taux de récurrence nul. Cependant il existe une grande variabilité des résultats, l'effet sur l'écart type n'offre plus qu'un gain de délai de RAS de 24% à 29% et cet effet est encore diminué sur les valeurs extrêmes qui sont du même ordre de grandeur. Quant au taux de récurrence mesuré, la faible taille des échantillons étudiés n'offre qu'une conclusion très limitée sur ce paramètre. Nous retiendrons donc de ces travaux que le travail excentrique précoce infra-douloureux et progressif n'est pas délétère et offre un gain clinique significatif sur le délai de RAS.

6.2.2 Renforcement de la stabilité Lombo-Pelvienne

Sherry & Best 2004 [43] a étudié l'effet d'exercices de stabilisation et équilibration du tronc, protocole PATS (Progressive Agility and Trunk Stabilisation), par rapport à des exercices de stretching et de renforcement musculaire, protocole STST (STretching and



Figure 10 protocole « PATS » phase 1 pont fessier latéral d'après Sherry & Best 2004 : l'exercice est réalisé en bilatéral.

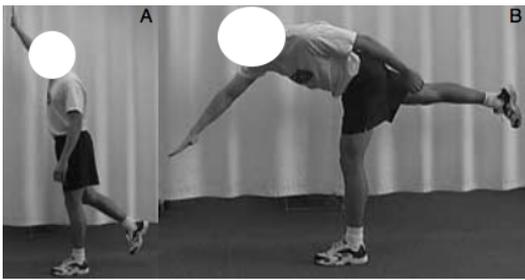


Figure 11 protocole « PATS » phase 2 moulin à vent monopodal d'après Sherry & Best 2004 : l'exercice est réalisé en bilatéral, le sujet engage conjointement une rotation du tronc et flexion de hanche en amenant la main controlatéral et avant de la jambe d'appui.

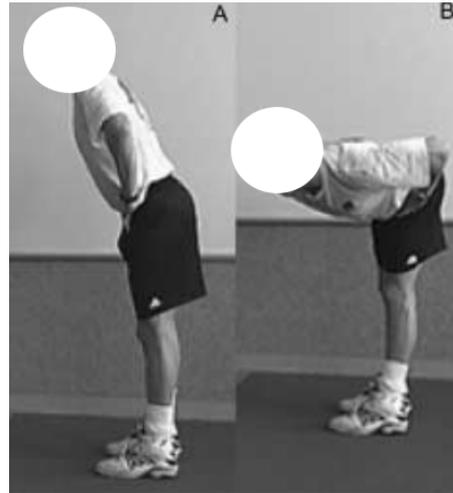


Figure 12 protocole « STST » phase 1 étirement des IJ d'après Sherry & Best 2004 : le sujet fléchit les hanches et engage une rotation de tronc en amenant sa poitrine à l'aplomb de sa jambe gauche et droite alternativement.

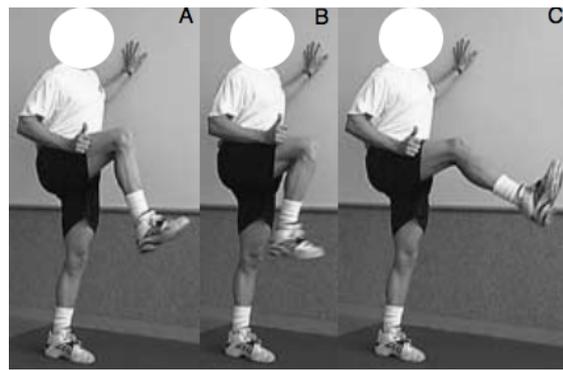


Figure 13 protocole « STST » phase 2 « foot catches » d'après Sherry & Best 2004 : le sujet prend appui sur un mur et simule la phase oscillante d'une course, il lance sa jambe oscillante en avant par une brève contraction de son QC puis la freine avant l'extension complète du genou par contraction excentrique des IJ.

Tableau VII : Effets du renforcement de la stabilité Lombo-Pelvienne par Sherry & Best 2004

Protocole PATS		Protocole STST	
Délai de RAS (jours)	Récidive à 12 mois	Délai de RAS (jours)	Récidive à 12 mois
22,2 +/- 8,3 10-35	1 (7,7 %)	37,4 +/- 27,6 10-95	7 (70,0 %)

RAS : Retour a Sport ; Moyenne +/- Écart type ; Valeur minimale - Valeur maximale

STrengthening). Dans ces travaux la stabilisation et l'équilibration du tronc se réfère à l'activité neuro-musculaire de la ceinture Lombo-Pelvienne visant à maintenir le rachis et le bassin dans une position corrigée lors du geste sportif. Les 2 protocoles ont débuté aux alentours des troisième et quatrième jours post-lésionnel. Le 2 protocoles étaient découpés en 2 phases. En phase 1, le protocole STST proposait des exercices d'étirements passifs et de travail isométrique et, phase 2, d'étirement actif et de travail dynamique concentrique et excentrique. En phase 1, le protocole PATS proposait des exercices dans les plans frontal et transversal et, en phase 2, dans les plans transversal et sagittal. Les figures 10 à 13 illustrent 4 des exercices proposés (1 pour chaque phase et pour chaque protocole). Tous les exercices ont été réalisés quotidiennement et supervisés physiquement au moins une fois par semaine.

Les critères d'inclusion étaient une LMA de grade I et II aux IJ objectivée par un examen clinique. Les principaux critères d'exclusion étaient une LMA non aigue, un âge inférieur à 14 ans et supérieur à 50 ans, une autre blessure aux membres inférieurs, un déchirure complète ou désinsertion, une hernie inguinale ou fémorale, une radiculalgie. Une stratification des sujets a été faite sur les critères sexe et âge. 28 sujets ont été recrutés, sans critères de niveau sportif ni de sport pratiqué, et assignés aléatoirement dans les groupes de test. Parmi ces 28 sujets, 4 n'ont pas complété leur programme de rééducation, 3 dans le groupe PATS et 1 dans le groupe STST. Ils n'ont pas été inclus dans les résultats.

Ces travaux ont mesuré l'effet des interventions sur le délai de RAS et sur le taux de récurrence à 12 mois. Les résultats produits sont résumés dans le tableau VII. Ces résultats montrent que l'effet du renforcement de la stabilité Lombo-Pelvienne sur le délai de RAS n'est pas statistiquement significatif ($P = .2455$, test Wilcoxon rank sum) même si le gain clinique est en moyenne d'environ 30%, soit d'environ 11 jours. Par contre l'effet de cette intervention sur le taux de récurrence est statistiquement significatif ($p = 0,00343$, test Fisher's exact) et cliniquement significatif (7 fois moins de récurrence à 12 mois dans le groupe PATS par rapport au groupe STST). Nous retiendrons donc de ces travaux que le renforcement de la stabilité Lombo-Pelvienne offre un gain clinique sur le délai de RAS peu significatif mais induit une baisse du taux de récurrence.



Figure 14 étirement passif des IJ d'après Malliaropoulos & al. 2004



Figure 15 mesure de l'extension passive de genou d'après Malliaropoulos & al. 2004

Tableau VIII : Effets des étirement passif par Malliaropoulos & al. 2004

Groupe 4 fois par jour		Groupe 1 fois par jour	
Délai de RAS (jours)	Délai de récupération d'extensibilité des IJ (jours)	Délai de RAS (jours)	Délai de récupération d'extensibilité des IJ (jours)
13,27 +/- 0,71	5,57 +/- 0,71	15,05 +/- 0,81	7,32 +/- 0,525

RAS : Retour a Sport ; Moyenne +/- Écart type ; Valeur minimale - Valeur maximale

6.2.3 Étirements passif des IJ

Malliaropoulos & al. 2004 [44] a étudié l'effet d'exercices d'auto-étirements passifs statiques 4 fois par jour par rapport à 1 fois par jour. L'étirement (Cf. figure 14) était réalisé en station debout pied surélevé à hauteur de cuisse de la jambe d'appui, genou en extension. Le sujet réalise alors une flexion de hanche et rejette ses épaules en arrière pour maximiser sa lordose lombaire jusqu'au point de douleur. La position était maintenue 30 secondes et l'exercice répété 4 fois. Les sujets suivaient en complément le même programme de rééducation standard. Le protocole d'étirement a débuté au deuxième jour post-lésionnel.

Les critères d'inclusion étaient une LMA aux IJ de grade II de type intrinsèque de moins de 48 heures. Le diagnostic clinique était basé sur une mesure de l'extension passive de genou en position de décubitus dorsal hanche fléchie à 90° (Cf. figure 15). La taille longitudinale de la blessure était mesurée par une échographie complémentaire. Un déficit minimal de 10° à 15° par comparaison bilatérale et une blessure de 2,5 cm à 3,5 cm étaient requis pour caractériser le grade II de la LMA. Les principaux critères d'exclusion étaient un antécédent de LMA aux IJ, de lombalgie et de blessures aux membres inférieurs. Ce sont ainsi 80 athlètes grecques hommes et femmes qui ont été recrutés et répartis aléatoirement dans deux groupes de 40. Ces 80 sujets ont tous complété leur programme de rééducation.

Ces travaux ont mesuré l'effet des interventions sur le délai de RAS et sur le délai de récupération de l'extensibilité des IJ (test d'extension passive du genou en comparatif bilatéral, Cf. figure 15). Les résultats produits sont résumés dans le tableau VIII. Ces résultats montrent que l'effet des étirements passifs des IJ est statistiquement significatif ($p < 0.001$, t-test) mais cliniquement non significatif : gain du délais de RAS en moyenne de 12%, soit 2 jours environ, et gain du délai de récupération de l'extensibilité des IJ en moyenne de 23%, soit 1,6 jours. Nous retiendrons donc de ces travaux que les étirements passifs des IJ ne semblent pas délétères mais offrent un gain clinique sur les délais de RAS et de récupération de l'extensibilité des IJ assez faible (même si dans le sport de haut niveau le gain de 1 ou 2 jours peut représenter une certaine opportunité par rapport à une échéance de compétition).

6.3 Construction de l'échéancier

Nous proposons ici au thérapeute une synthèse de l'état de l'art décrit dans la littérature récente. Nous avons retenu les interventions faisant l'objet d'un consensus, celles proprement référencées et enfin celles faisant l'objet d'un niveau de preuve minimal (2 au score de Sackett). Nous ne traitons que des interventions spécifiques de la LMA aux IJ. Le thérapeute devra compléter sa démarche par un bilan complet incluant notamment les dimensions articulaire et neurologique ; et au besoin normaliser les dysfonctions potentiellement constatées (par exemple : articulation Sacro-Iliaque, nerf Sciatique, ...). Dans le cas d'une blessure sur un autre groupe musculaire, les tests et exercices devront être adaptés.

Nous présentons ici une stratégie en 3 temps thérapeutiques calés sur les 3 temps physiologiques de la cicatrisation musculaire. Ce découpage est régulièrement décrit dans la littérature [30], [33]. On peut également trouver un découpage plus fin avec notamment une subdivision des phases de remodelage (ajout d'une phase de réveil musculaire) et fonctionnelle (ajout d'une phase de réhabilitation avant le RAS) [29]. Les délais sont donnés ici pour une LMA Grade II (entraînant une indisponibilité de 3 à 4 semaines) :

- J0-J3 : phase « aigüe » (temps cicatriciel de destruction).
- J4-J14 : phase « remodelage » (temps cicatriciel de réparation).
- J15-J21/J28 : phase « fonctionnelle » (temps cicatriciel de remodelage).

Dans tous les cas, pour garantir la qualité de la cicatrisation, le thérapeute devra mener une réhabilitation « active contrôlée ». La mobilisation (induisant vascularisation et innervation) et la traction longitudinale (induisant maturation et orientation des fibres) sont modulées par le retour clinique du patient, le marqueur principal étant l'absence douleur. C'est donc l'examen clinique qui dicte le passage d'une phase à l'autre [30], [32], [45] (Accord Professionnel) :

- passage à la phase « remodelage » : marche normale [30], [32], [45], contraction isométrique sous-maximale (à 50-70% de la résistance maximale isométrique (RMI) controlatérale) [30], [32], [45] et course à 30% [33] indolores.
- passage à la phase « fonctionnelle » : amplitude articulaire complète [30], course avant et arrière à 50% [30], [32], [45] et contraction isométrique maximale (supérieur à 80% de la RMI controlatérale) [30], [32], [45] indolores.

Tableau IX : échancier de prise en charge

	Aigüe J0-J3	Remodelage J4-J14	Fonctionnelle J15 +
Soins	POLICE Drainage Électro. antalgique	Chaud/froid Électro. Capill. et décontract. Massage	Électro. Décontract. Massage
Travail	-	Musculaire à visée cicatricielle Étirements Proprioception, sain uniquement Stabilité tronc-bassin, sain uniquement	Renforcement musculaire Étirements Proprioception Stabilité du tronc
Activités	-	Cardio, sain uniquement Appuis en décharge	Cardio Course Geste

Marche
Isom. 50%

Course 50%
Amplit. 100%
Isom. 100%

Test
RAS

Les délais sont donnés pour une LMA Grade II (entraînant une indisponibilité de 3 à 4 semaines). L'adaptation de l'échéancier en fonction du grade est réalisée sans modifier la phase Aigüe et en compressant ou dilatant les phases Remodelage et Fonctionnelle.

Les critères cliniques de passage des phases Aigüe à Remodelage sont : marche indolore et force isométrique à 50% de la RMI controlatérale ; et des phases Remodelage à Fonctionnelle : course à 50% indolore, amplitudes articulaires complètes et force isométrique à 100% de la RMI controlatérale.

Les objectifs de la phases Aigüe sont : favoriser l'inflammation, contenir l'hématome et initier le processus de régénération ; de la phase Remodelage : contenir l'inflammation, évacuer l'hématome, favoriser la régénération et la bonne orientation des fibres, établir un socle fonctionnel ; de la phase Fonctionnelle : renforcement musculaire, coordination et vigilance neuromusculaire, reprise de l'activité sportive

Isom. : Isométrique, Amplit. : Amplitude, RAS : Retour Au Sport, Electro. : Electrothérapie, Capill. : Capillarisation, Décontract. : Décontracturant

A l'intérieur de chaque phase, le passage au palier suivant de chaque exercice est possible si aucune douleur nouvelle ou supérieure n'est ressentie pendant les exercices et le lendemain. Sinon le protocole est repris à partir du palier précédent [29], [30].

Le tableau IX offre au thérapeute un outil de traitement simple et efficace. Il donne une vision consolidée de la synthèse de l'état de l'art réalisée par ce travail écrit. L'adaptation de l'échéancier en fonction du grade est réalisé sans modifier la phase « aigüe » et en compressant ou dilatant les phases « remodelage » et « fonctionnelle » [30], [33]. Le détail de chaque phase est donné plus bas.

6.3.1 La place du travail excentrique

Le niveau de preuve offert par la littérature traitant des échéanciers du travail musculaire est faible. Il s'agit pour la plus part de revues de littérature narratives ou d'avis d'expert dans lesquels deux écoles s'affrontent au travers de deux stratégies :

- « **conservative** » : prône un travail excentrique de renforcement à partir de la « phase fonctionnelle » du traitement [29], [32].
- « **précoce** » : milite pour un travail excentrique à visée cicatricielle qui est démarré dès la « phase remodelage » du traitement [30], [33], [45], [46] (Accord Professionnel).

Cependant, nous l'avons détaillé plus haut, il existe dans la littérature traitant du processus de cicatrisation et des effets du travail excentrique plusieurs arguments jouissant d'un niveau de preuve satisfaisant en faveur d'une stratégie « précoce » (Cf. tableau II). De plus, nous l'avons également vu plus haut, les travaux de Askling & al. 2013 [41] et 2014 [42] (études cliniques contrôlées randomisées, niveau 2 au score de Sackett) ont démontré que le travail excentrique précoce à visée cicatricielle infra-douloureux et progressif n'est pas délétère et offre un gain clinique significatif sur le délai de RAS.

Nous retenons donc une stratégie de travail excentrique précoce à visée cicatricielle. En conséquence, le thérapeute devra réaliser le bon compromis entre ces différents effets positifs et négatifs pour chaque phase de sa prise en charge :

- En phase de cicatrisation (dès la deuxième semaine) : travail sous-maximal à vitesse lente et strictement infra-douloureux en course interne et moyenne.
- En phase de renforcement musculaire (après la troisième semaine) : travail maximal à vitesse croissante progressive jusqu'à la course externe.

6.3.2 Phase « aigüe »

Le traitement en phase « aigüe » fait l'objet d'un consensus dans la littérature. Son objectif est de :

- Favoriser l'action des cellules inflammatoires.
- Minimiser la formation de l'hématome.
- Protéger la zone afin d'initier le processus de régénération.

Il suit l'application du protocole « POLICE » (Protect, Optimal Loading, Ice, Contention & Elevation) et se déroule de J0 à J3-J4 [29], [30], [31], [32], [33], [45], [46]. Ces soins sont complétés par un massage drainant qui doit être réalisé en préservant la zone lésée : la contourner dans les premiers jours [29], [30], [32], [46].

Le protocole POLICE est une évolution du protocole Glace, Repos, élévation et Compression (GREC, RICE en anglais). Le repos se doit d'être relatif et les dispositions « Protect & Optimal Loading » consistent donc à trouver le compromis protection/mobilisation en stoppant toutes les activités douloureuses qui engendreraient une tension sur la zone lésée tout en maintenant une mobilisation contrôlée gage d'accélération de la résorption hématique et de la régénération musculaire [17], [19], [30].

6.3.3 Phase « remodelage »

La phase de « remodelage » a pour objectifs :

- Contenir l'inflammation et faciliter l'évacuation de l'hématome.
- Favoriser la régénération (cellules satellites, myoblastes et fibroblastes).
- Veiller à la bonne orientation des fibres (traction longitudinale).
- Établir un socle fonctionnel visant à préparer la reprise d'activités.

Tableau X : Choix des exercices adaptés

Phase & objectifs		Exercice	Matériel requis	N° de fig./anx.
Phase de remodelage	<i>Réveil musculaire</i>	Isom. R-man. CI à CM	Aucun	-
		Isométrique autoprogramme	Aucun	fig. 16
	<i>À visée cicatricielle</i>	Exc. R-man. CI à CM	Aucun	-
		Extender	Aucun	fig. 4
		Diver	Aucun	fig. 5
		Glider	Aucun	fig. 6
		Exc. Isoc. CI à CM	Dynamomètre isocinétique	fig. 17
	<i>Stabilité Lombo-Pelvienne</i>	Pont fessier latéral	Aucun	fig. 10
		Grapevine stepping	Aucun	anx. 10
	Phase de remodelage	<i>Renforcement musculaire</i>	Exc. R-man. CM à CE	Aucun
Extender			Aucun	fig. 4
Diver			Aucun	fig. 5
Glider			Aucun	fig. 6
Flexion de tronc			Aucun	anx. 10
Extension de tronc			Aucun	anx. 10
Bascule avant monopodale			Aucun	anx. 10
Fente avant			Aucun	anx. 10
Pont fessier unilatéral			Aucun	anx. 10
Pont fessier unilatéral surélevé			Aucun	anx. 10
Nordic Hamstring			Aucun	anx. 10
leg curl			Chaise à IJ	anx. 10
Extension de hanche			Chaise à Lombaire	anx. 10
Glute-Ham Raise			Chaise romaine	anx. 10
Tirante Musculator			Sangle adhoc	anx. 10
Colonne à câble			Functional trainer	fig. 19
Yo-yo leg curl		Chaise yo-yo à IJ	fig. 18	
Exc. Isoc. CM à CE		Dynamomètre isocinétique	anx. 10	
<i>Stabilité Lombo-Pelvienne</i>		moulin à vent monopodal	Aucun	fig. 11
		pont fessier latéral en rotation	Aucun	anx. 10
		bascule avant en rotation	Aucun	anx. 10
		fente avant en rotation	Aucun	anx. 10
		Wood Chops	Functional trainer	anx. 10

fig. : figure ; anx : annexe ; Isom. : isométrique ; Exc. : excentrique ; Isoc. : isocinétique ; CI : course interne ; CM : course moyenne ; CE : course externe ; IJ : Ischio-Jambiers

Les moyens employés sont multiples :

- À visée cicatricielle : chaud/froid, électrothérapie de capillarisation et décontracturante, massage, étirement sous-maximal et travail musculaire infra-douloureux et sous-maximal à vitesse lente [29], [30], [32], [46].
- À visée fonctionnelle : reprogrammation neuro-sensivo-motrice (RNSM) lombo-pelvienne, gainage, réentraînement à l'effort ; les chaînes musculaires mises en jeu ne comprennent pas la zone lésée [29], [30], [32], [46].

Comme nous l'avons vu plus haut, nous recommandons un travail musculaire à visée cicatricielle en mode excentrique. Il pourra débiter à partir de la deuxième semaine post-lésionnelle après une phase de réveil musculaire en mode isométrique. Une montée en charge très progressive des paramètres secteur de course, intensité et vitesse devra ensuite être observée, l'exercice devant rester strictement indolore [30], [33], [45], [46].

6.3.4 Phase « fonctionnelle »

Son objectif est double : prévenir la fibrose et préparer le RAS. Le traitement se décompose en 3 blocs principaux :

- Renforcement musculaire (récupération en force et endurance) : travail excentrique en priorité, électrothérapie décontracturante, massage, étirements [30], [32], [42], [46].
- Renforcement de la coordination et de la vigilance : RNSM lombo-pelvienne, gainage [29], [30], [32], [43].
- Reprise progressive de l'activité sportive [30], [32] : **appuis** en décharge puis en charge ; **course** en avant, puis en arrière, puis de côté ; **longueur-vitesse de foulée** : petite-lente, puis grande-lente, puis petite-rapide, puis grande-rapide ; **type de course** : uniforme, puis accélération, puis décélération ; **sauts** : hauteur puis fréquence croissantes ; **geste sportif** : sans/avec contact, frappe de balle, lancé lent/rapide,

6.4 Choix des exercices adaptés

Le tableau X résume les exercices disponibles dans la boîte à outil du thérapeute à chaque étape et en fonction des objectifs de la prise en charge.



Figure 16 : *isométrique autoprogramme d'après Schmitt & al. 2012* : le membre blessé se place en avant, le controlatéral imprime la résistance, la course visée est modulée par la flexion de genou (course moyenne sur l'exemple de l'illustration).



Figure 18 : *Yo-yo leg curl*



Figure 19 : *Colonne à câble en course externe d'après Schmitt & al. 2012* : réalisés du côté de membre blessé.



Figure 17 : *isocinétisme excentrique à visée cicatricielle* : l'exercice est réalisé en infra-douloureux, l'inclinaison du tronc est fixée de la position décubitus dorsal à demi-assis pour une course des IJ variant de interne à moyenne, l'extension de genou étant limitée par le dynamomètre à -45° au maximum.



Figure 20 : *Isocinétisme des IJ en position de course externe*

6.4.1 À visée cicatricielle et stabilité Lombo-Pelvienne, phase « remodelage »

Le travail débute par une phase de réveil musculaire en mode isométrique réalisé en infra-douloureux à résistance faible et en course interne à moyenne. La résistance peut-être appliquée manuellement par le thérapeute ou par le patient en autoprogramme (Cf. figure 16) [45].

Le mode excentrique à visée cicatricielle peut être engagé à partir de la deuxième semaine. Dans tous les cas, il doit être réalisé en infra-douloureux de la course interne à la course moyenne, à vitesse lente et à résistance sous-maximale [30], [33], [45], [46].

Les exercices peuvent être réalisés sans matériel spécifique par une résistance appliquée manuellement par le thérapeute. Le thérapeute pourra également proposer au patient un autoprogramme basé sur les exercices « Extender, Diver et Glider » (Cf. figure 4 à 6) issus des travaux de Askling & al. 2013 [41] et 2014 [42].

L'utilisation d'un matériel isocinétique est cependant plus performante dans la mesure où les paramètres peuvent être fixés et mesurés : amplitude strictement indolore en course interne à moyenne des IJ (Cf. figure 17) ; résistance à 20, 30 puis 40% de la résistance maximale excentrique (RME) controlatérale (le palier 40% de la RME déclenchant le passage à la vitesse supérieure) ; vitesse de 5, 10, 15 puis 30°/s par palier [47] (Accord Professionnel).

Les travaux de renforcement de la stabilité Lombo-Pelvienne débutent également dans la même phase. Ces exercices sans matériel spécifique peuvent être proposés en autoprogramme dans les plans frontal et transversal en bilatéral : pont fessier latéral (Cf. figure 10) [43], « grapevine stepping » (Cf. annexe 10) [33].

6.4.2 Renforcement musculaire et stabilité Lombo-Pelvienne, phase « fonctionnelle »

Les modalités du travail excentrique de renforcement sont jusqu'à la course externe, à vitesse modérée à rapide et à résistance maximale [30], [33], [45], [46].

La résistance peut être imprimée par le thérapeute en position de course externe maximale (Cf. figure 25) [45]. Des exercices ne nécessitant pas de matériel spécifique peuvent également être proposés en autoprogramme : Flexion de tronc, Extension de tronc, Bascule avant monopodale, Fente avant, Pont fessier unilatéral, Pont fessier unilatéral surélevé et « Nordic Hamstring » (Cf. annexe 10) [29], [33], [45]. Les exercices « Extender, Diver et

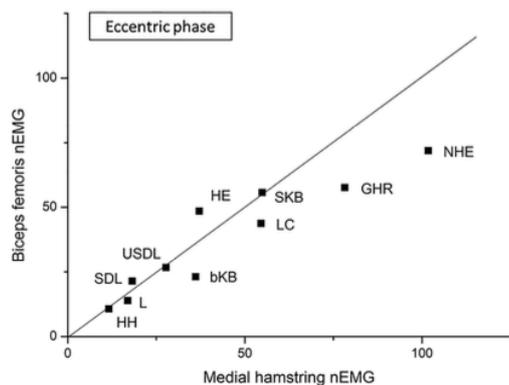


Figure 21 : Ratio excentrique par EMG Biceps Fémoral / IJ médiaux d'après Bourne & al. 2016 : (SDL) flexion de tronc, (HH) Extension de tronc, (USDL) Bascule monopodale, (L) Fente avant, (bKB) Pont fessier unilatéral, (SKB) Pont fessier unilatéral surélevé, (LC) leg curl, (HE) Extension de hanche, (GHR) Glute-Ham Raise, (NHE) Nordic Hamstring ; nEMG : Electromyogramme normalisé

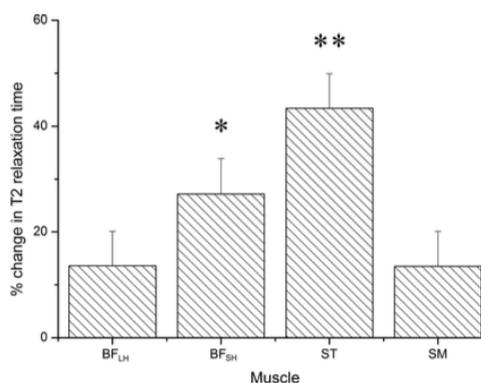


Figure 23 : mesure de l'activité des IJ par IRM lors d'un « Nordic Hamstring d'après Bourne & al. 2016 : en % par rapport au repos ; * : significativement différent depuis les BF_{LH}, BF_{SH} et SM ($p < 0,002$, test de Bonferroni) ; ** : significativement différent depuis les BF_{LH} et SM ($p = 0,008$, test de Bonferroni) ; BF_{LH} : long Biceps Fémoral; BF_{SH} : court Biceps Fémoral ; ST : Semi-Tendineux ; SM : Semi-Membraneux.

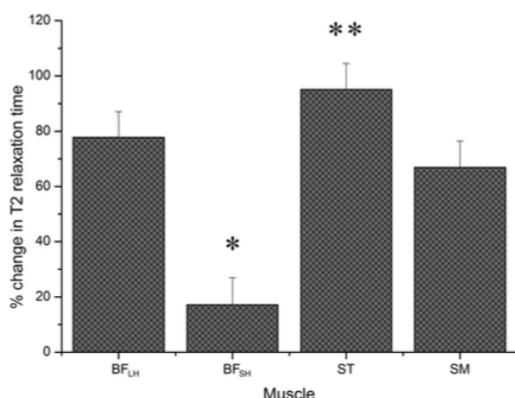


Figure 22 : mesure de l'activité des IJ par IRM lors d'une flexion de hanche à 90° d'après Bourne & al. 2016 : en % par rapport au repos ; * : significativement différent depuis les ST, BF_{LH} et SM ($p < 0,001$, test de Bonferroni) ; ** : significativement différent depuis le ST ($p = 0,005$, test de Bonferroni) ; BF_{LH} : long Biceps Fémoral; BF_{SH} : court Biceps Fémoral ; ST : Semi-Tendineux ; SM : Semi-Membraneux.

Glider » (Cf. figure 4 à 6) issus des travaux de Askling & al. 2013 [41] et 2014 [42] peuvent également être continuer.

Le thérapeute pourra également choisir des exercices nécessitant un matériel de musculation plus ou moins important : chaise à IJ (leg curl), Extension de hanche, Glute-Ham Raise, « Tirante Musculator » (Cf. annexe 10), Yo-yo leg curl (Cf. figure 18), Colonne à câble (Cf. figure 19) [29], [33], [45].

L'utilisation d'un matériel isocinétique reste le gold standard à matière de renforcement. Les paramètres seront fixés comme suit : amplitude de la course des IJ de moyenne (extension de genou à -10° , flexion de hanche à 90°) jusqu'à externe maximale (extension de genou à -10° , flexion de hanche maximale) (Cf. figure 20) ; résistance à 40, 60 puis 80% de la RME controlatérale (le palier 80% de la RME déclenchant le passage à la vitesse supérieure) ; vitesse de 15, 30, 60 puis $90^\circ/s$ par pallier [47].

Bourne & al. 2016 [48] (4 au score de Sackett) a mesuré, sur 24 athlètes masculins sains entre 21 et 27 ans, l'activité musculaire des différents chefs des IJ par EMG et IRM fonctionnelle pendant 10 exercices illustrés à l'annexe 10. Les principaux résultats pour le travail excentrique sont : le long BF est préférentiellement recruté lors des exercices mettant en œuvre une flexion de hanche freinée, les exercices d'extension de genou freinée activent préférentiellement le compartiment médial des IJ et notamment le Semi-Tendineux (ST) (Cf. figure 21 à 23). Ces exercices seront donc choisis en fonction du muscle ciblé par le renforcement.

Les travaux de renforcement de la stabilité Lombo-Pelvienne se prolongent à la phase fonctionnelle dans les plans sagittal et transversal en bilatéral ; avec des exercices sans matériel spécifique : moulin à vent monopodal (Cf. figure 11) [43], pont fessier latéral en rotation (Cf. annexe 10), bascule avant en rotation et fente avant en rotation (Cf. annexe 10) [33] ; et avec des exercices nécessitant un matériel de musculation plus ou moins important : « Wood Chops » (Cf. annexe 10) [33].

6.5 Validation du RAS

Le RAS est possible si le muscle lésé a retrouvé toutes ses propriétés : souplesse, force et endurance. Le sportif devra pouvoir réaliser les gestes fondamentaux de son sport (course, saut, frappe, ...) en progression jusqu'à en reproduire les contraintes maximales

Tableau XI : tests de validation du RAS

	Force	Souplesse	Endurance	Confiance	Indolore
H-test		x		x	
Break-test			x		
Single leg bridge			x		
Isocinétisme	x		x		
Geste sportif				x	x

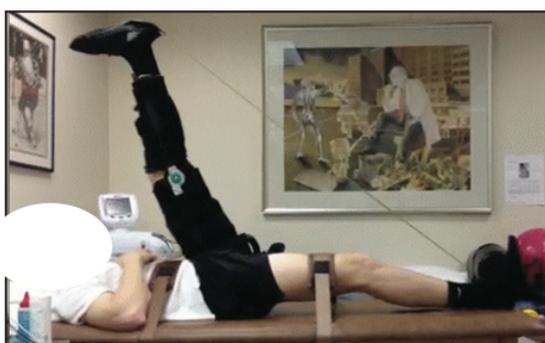


Figure 24 « *H-test* » d'après *Schmitt & al. 2012* : genou du membre pathologique maintenu en rectitude, membre saint et le tronc sanglés, élévation rapide et maximale du membre pathologique.



Figure 26 : « *single leg bridge* » d'après *Freckleton & al. 2013* : réalisé du côté du membre pathologique, le pied est en appui surélevé de 60cm, le genou fléchi à 20°, le membre controlatéral est maintenu sans contact au sol, les membres supérieurs sont croisés sur le torse, la consigne est une élévation des fessiers répétée jusqu'à épuisement.

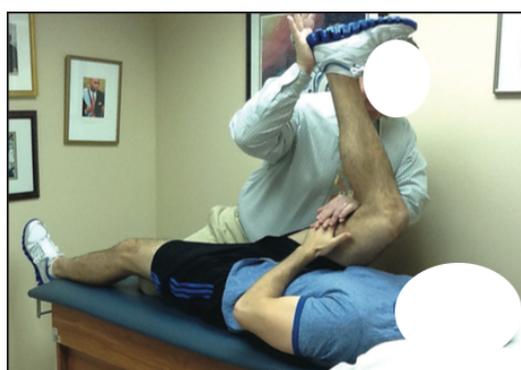


Figure 25 : « *Break test* » manuel d'après *Schmitt & al. 2012* : réalisé du côté du pathologique, hanche en flexion maximale, genou amené passivement en extension maximale supportable puis ramené d'une dizaine de degré en flexion, la consigne est une flexion isométrique maximale maintenu jusqu'à épuisement.

notamment dans la course (explosivité, endurance, vitesse, changement de direction, ...) [30], [33], [45]. La littérature détaille un certain nombre de tests cliniques et para-cliniques. Nous en proposons ici une sélection et recommandons qu'ils soient réalisés conjointement dans la mesure où chacun ne valide qu'une partie de l'équation souplesse / force / endurance / confiance / indolore. Cette matrice de validation est reprise dans le tableau XI.

Le « H-test » proposé par Askling [45] (figure 24) permet de valider la souplesse retrouvé du muscle et la confiance du patient par rapport au mouvement lésant. Le « break test » [45] (figure 25) vise quant à lui l'endurance. Nous citons également le « single leg bridge » [49] (2 au score de Sackett) (figure 26). Il s'agit d'un test d'endurance proposé comme test prédictif pour des IJ sans et avec antécédent de LMA. Cette évaluation de la capacité à subir les contraintes susceptibles d'engendrer une LMA nous semble transposable en fin de guérison suite à une LMA en vue du RAS. La validation rigoureuse de la composante force impose le recours à un dynamomètre. Le ratio mixte « IJ excentrique 30°/s / Quadriceps 240°/s concentrique » tel que décrit par Croisier et Crielaard [50] (4 au score de Sackett) est le plus pertinent puisque c'est ce rapport de mode de contraction qui s'établit dans le mécanisme lésionnel [10] et que l'évaluation à vitesse lente semble être le plus significativement liée au risque de LMA [16]. Il doit être de plus de 0,8 et complété par une comparaison avec le membre controlatéral évaluant un déficit maximal de 10% [33], [50], [45].

7 LIMITES ET PERSPECTIVES

L'identification des facteurs de risques de la LMA aux IJ reste un objet de controverses et de contradictions dans la littérature. L'antécédent de la LMA fait l'objet d'un consensus [14], [15], [16]. Cette donnée vient par ailleurs renforcer la thèse d'une prise en charge qui reste vraisemblablement perfectible. De même, les auteurs s'accordent sur la configuration anatomique des IJ (muscles bi-articulaires et double innervation du BF) qui les exposent préférentiellement à la blessure [13].

Il existe des contradictions importantes concernant l'impact de la force musculaire. Le moyen de mesure varie d'un auteur à l'autre : baisse du pic de force des IJ [14], hausse du pic de force du QC [16], déséquilibre du ration IJ/QC [14], [15], [16]. Les revues systématiques et méta-analyses sont donc souvent non concluantes devant cette grande variabilité des paramètres de mesures et des contradictions dans les résultats. De même, la faiblesse du contrôle neuromusculaire n'est référencée dans qu'une seule étude. Cette dernière statue sur un

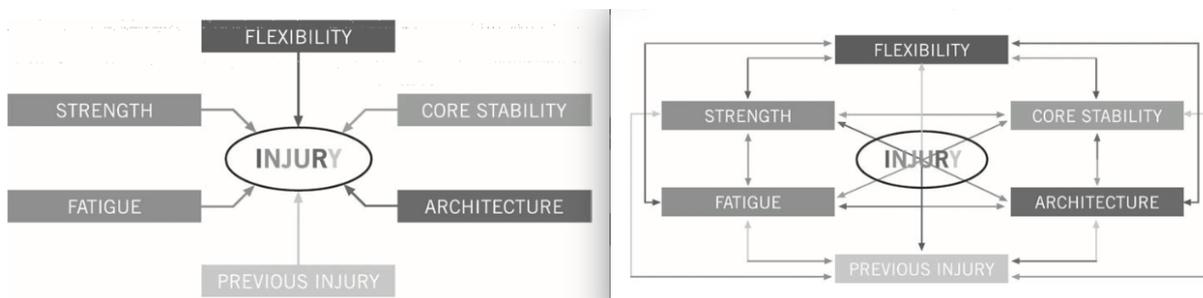


Figure 27 : *Modélisation équivoque de facteurs de risque de la LMA d’après Mendiguchia & al. 2012 : passer d’un modèle univoque à un modèle équivoque.*

lien significatif mais son auteur avoue la faible validité de l'évaluation du trouble (Movement Discrimination test) [14]. Ce manque de référence est un problème pour le thérapeute qui souhaite valider l'aptitude de son patient au RAS. Ces données intéressent également la prévention. Il existe donc là un vaste de domaine pour de futures investigations.

Ces travaux devront s'attacher à corriger les limites et biais déjà identifiés dans la littérature : taille limitée des cohortes, trop grande variabilité des niveaux sportifs et des gravité de LMA des sujets [14] et trop grande variabilité des ratios IJ/QC [15], [16]. Mendiguchia & al. 2012 [51] (Accord Professionnel) ouvre une autre piste d'investigation intéressante. Il propose de retenir 6 facteurs de risque (force, extensibilité, fatigue, stabilité du tronc, anatomie et antécédent de LMA), et de passer d'un lien univoque facteur de risque / LMA vers des interactions équivoques entre chacun (Cf. figure 27).

Nous avons identifié dans ce travail un certain nombre d'arguments issus de la recherche fondamentale plaidant en faveur de travail excentrique précoce à visée cicatricielle dans la prise en charge kinésithérapique de la LMA aux IJ (Cf. tableau II) : mécanisation par traction longitudinale [17], [18], [19] ; matrice conjonctive constituée et adhésions des fibres musculaires nouvellement formées pendant la deuxième semaine [17] ; travail excentrique infra-douloureux réalisé à vitesse lente et à résistance sous-maximale n'engendrant pas de dommage cellulaire ni d'altération des protéines de lésion myo-aponévrotique [26], [27] et induisant un renforcement du tissu conjonctif [26], [27], [28] ; augmentation du nombre de sarcomères en série [23], [25]. Ces données sont cependant encore incomplètes pour envisager une application clinique pleinement maîtrisée.

Les mécanismes de cicatrisation musculaire n'ont été précisément étudiés qu'assez récemment. Järvinen & al 2005 [17] ont recensé dans leur revue 170 articles datant principalement de fin 90 à début 2000. Ce foisonnement de littérature à cette période témoigne du rattrapage de connaissances fondamentales sur l'organe musculaire, mais le sujet n'est cependant pas épuisé pour autant. Il nous semble particulièrement important d'approfondir les travaux d'étude de la résistance à la contrainte mécanique du tissus en cours de cicatrisation : quelles contraintes le tissus peut-il supporter à chaque stade.

Les effets protecteur et de renforcement musculaire du travail excentrique maximal sont bien connus et utilisés dans la réhabilitation et la prévention [20]. A contrario le travail excentrique sous-maximal est peu étudié. Il est indispensable d'en connaître plus précisément ses effets, son intérêt et ses limites, sur le remodelage tissulaire. Des travaux sont également

nécessaires pour en quantifier la posologie optimale (vitesse, force, répétition et série) dans le traitement de la LMA, à l'instar des travaux sur la tendinopathie.

Par ailleurs ces travaux sont, pour des raisons éthiques évidentes, principalement basées sur le modèle animal. Le recours à l'outil informatique pourrait donc potentiellement lever un certain nombre de barrières en transférant les données du modèle animal sur une modélisation informatique de l'humain.

Malgré le besoin de complément de connaissances fondamentales dont nous venons de parler, Askling & al. 2013 [41] et 2014 [42] ont ouvert une nouvelle voie thérapeutique en démontrant que le travail excentrique précoce à visée cicatricielle infra-douloureux et progressif n'est pas délétère et offre un gain clinique significatif sur le délai de RAS. Il s'agit malheureusement des seuls travaux en la matière. Ils n'offrent donc qu'une conclusion partielle. De plus, ils souffrent d'une méthodologie perfectible et ne présentent donc qu'un niveau de preuve relatif évalué à 5/10 sur l'échelle de PEDRO pour Askling & al. 2013 [41] et à 4/10 pour Askling & al. 2014 [42] (Cf. annexe 5) ; le point supplémentaire pour Askling & al. 2013 [41] étant du au critère « groupes similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants ». Le non aveuglement de l'allocation des sujets dans les groupes et des examinateurs pourrait être corrigé (celui des sujets et des thérapeutes étant difficilement réalisable). L'analyse des résultats en « intention de traiter » aurait également pu être réalisée. Une note de 8/10 aurait alors été obtenue.

Les 2 autres études existantes dans la littérature traitant des interventions spécifiques dans la prise en charge de la LMA, dont nous avons donné les résultats plus haut, souffrent également d'un niveau de preuve faible de par leur méthodologie. Malliaropoulos & al. 2004 [44] obtient une notation de 3/10 sur l'échelle de PEDRO 3/10 : seuls les critères de randomisation et de traitements statistiques de résultats (comparaisons intergroupes et estimation et variabilité de l'effet) sont respectés (Cf. annexe 5). Sherry & Best 2004 [43] obtient une note de 4/10 ; le point supplémentaire étant du au taux de suivi supérieur à 85% (Cf. annexe 5).

Ces 3 études cliniques comportent d'autres limites : la faible taille des échantillons, l'intervention contrôle inappropriée (les exercices de renforcement de stabilité de la ceinture Lombo-Pelvienne n'était pas la seule différence entre les 2 protocoles testés par Sherry & Best 2004 [43]), la grande disparité des gravités de LMA dans les critères d'inclusions et, la variabilité des critères de jugement des études rendant leur comparaison difficile [38], [40]. La

Tableau XII : Pré-cadrage d'étude clinique contrôlée randomisée : effet du travail excentrique précoce sur la récurrence

Design d'étude	Clinique contrôlée randomisée
Principaux critères d'inclusion	LMA Sprinting aux IJ moins de 48 heures Grade II ou III, Imagerie (muscle, d-prox., long.) Sport, Âge 20 ans - 35 ans
Principaux critères d'exclusion	LMA grade 0-I, IV Extrinsèque, Stretching Antécédent de LMA aux MI Autres blessures aux MI Lombalgie, hernie inguinale et fémorale, radiculalgie
Stratification des facteurs de pronostic	Sexe Sport course / contact-pivot Niveau professionnel / élite / amateur LMA grade II / III
Méthodologie	Aveuglement allocation et évaluateurs, baseline comparable, suivi adéquate, intention de traiter, comparaison intergroupe, estimation et variabilité
Traitement commun (Grade II)	Phase Aigüe POLICE (J0-J4) Réveil musculaire isométrique Phase de Remodelage Physiothérapie décontracturante et de capillarité RNSM lombo-pelvienne & gainage HZL Réentraînement à l'effort HZL Phase Fonctionnelle Renforcement musculaire excentrique Physiothérapie décontracturante RNSM lombo-pelvienne & gainage Réentraînement à l'effort Reprise sportive progressive RAS Tests de RAS 12 mois suivants Prévention (NHE hebdomadaire & échauffement)
Traitement spécifique	J7-J21 Groupe-E : Excentrique cicatriciel Groupe-C : Concentrique cicatriciel
Critères de jugement	Douleur (EVA), Extensibilité (test PKE), Ratio mixte IJ-30°/s / QC-240°/s, Délai de RAS, Récurrence à 12 mois

LMA : Lésion Myo-Aponévrotique ; IJ : Ischio-Jambiers ; QC : Quadriceps ; d-prox. : distance de l'insertion proximale ; long. : taille longitudinale ; MI : Membre Inférieur ; POLICE : Protect & Optimal Loading Ice contention & Elevation ; RNSM : Reprogrammation Neuro-Sensivo-Motrice ; HZL : Hors Zone Lésée ; RAS : Retour a Sport ; NHE : Nordic Hamstring Exercice ; EVA : Évaluation Visuelle Analogique ; PKE : Passive Knee Extension

variabilité des gravités de LMA incluses induit la variabilité des résultats et donc la difficulté de mesurer l'effet de l'intervention étudiée. Askling & al. 2013 [41] et Askling & al. 2014 [42] ne mentionnaient pas de critère d'inclusion sur la gravité. Les délais de RAS mesurés présentaient un écart de type de 15 jours pour 28 jours en moyenne [41] et 26 jours pour 49 jours en moyenne (groupe L-protocol). A l'opposé Malliaropoulos & al. 2004 [44] n'incluait que des LMA de grade II de type intrinsèque de moins de 48 heures objectivées par un déficit d'extension de genou minimal de 10° à 15° et une mesure de la taille longitudinale de la blessure à l'échographie de 2,5 cm à 3,5 cm. Les délais de RAS mesurés présentaient un écart de type de 0,81 jours pour 15,05 jours en moyenne.

Nous proposons donc un pré-cadrage pour une étude clinique contrôlée randomisée dont l'objectif serait d'évaluer l'effet du travail excentrique précoce sur la récurrence (Cf. tableau XII). Afin d'atteindre une taille d'échantillon importante, nous proposons des critères d'inclusion assez larges : sports (football, handball, basketball, rugby, athlétisme, tennis, ...), âge (de 20 à 35 ans), homme et femme, première LMA intrinsèque de type « sprinting » aux IJ de grade II ou III de moins de 48 heures objectivée par imagerie (muscle, distance de l'insertion proximale et taille longitudinale). Pour limiter les effets de dispersions des facteurs de pronostic, nous proposons leur stratification par le sexe, le type de sport (course pure et contact-pivot), le niveau de compétition (professionnel, élite, amateur) et la gravité de la LMA (grades II et III). La méthodologie devra permettre une note de 8/10 au score de PEDRO (seuls l'aveuglement des sujets et des thérapeutes étant négatifs).

Deux groupes seront constitués chacun recevant un même socle commun de traitement, la prise en charge ne variant que par le travail musculaire observé avant J21 : groupe excentrique (testé) et groupe concentrique (contrôle). Les critères de jugement seront mesurés chaque semaine : douleur (évaluation EVA), extensibilité (goniométrie de l'extension passive du genou). Le ratio mixte IJ-30°/s / QC-240°/s et le délai post-traumatique seront mesurés au moment du RAS. La récurrence sera suivie sur 12 mois après le RAS.

L'observation des sujets après RAS est un point clé dans l'étude de la récurrence. Les biais potentiels sont nombreux : niveau d'observance du programme de prévention, charge sportive variable (entraînements et compétitions), blessure potentielle, fatigue générale (déplacements, événements de la vie privée, ...), nutrition, ... Afin de maîtriser ces facteurs, nous proposons la mise en place d'un questionnaire « de vie » dont l'objectif sera de pouvoir détecter un facteur de risque secondaire en cas de récurrence (fatigue, dénutrition, mauvais

échauffement, blessure, ...) ; le facteur de risque primaire étant la première LMA soignée au titre de l'étude.

CONCLUSION

Les enjeux autour de la LMA, thérapeutiques, sportifs et financiers, sont considérables mais les résultats des traitements peinent à progresser. Les connaissances et la compréhension, notamment sur la dernière décennie, ont pourtant fortement progressé. Nous proposons au thérapeute une stratégie thérapeutique basée sur une synthèse de la littérature récente. Elle se décompose en 3 phases, aigue, remodelage et fonctionnelle, et repose sur 2 piliers : stabilité de la ceinture lombo-pelvienne et travail excentrique. Les tableaux et figures suivantes en proposent une consolidation : diagnostic (tableaux III et IV), échancier (tableau IX), exercices associés (tableau X et figures 4-13, 16-20, 25 et annexe 10) et validation du RAS (tableau XI et figures 24 à 26).

La relation entre cicatrisation musculaire et travail excentrique précoce est réelle : matrice conjonctive constituée et adhésions des fibres musculaires nouvellement formées à la deuxième semaine [17], mécanisation par traction longitudinale [17], [18], [19] et induction du renforcement du tissu conjonctif sans dommage cellulaire ni d'altération des protéines de lésion myo-aponévrotique [26], [27], [28]. Askling & al. 2013 [41] et 2014 [42] ont tenté de mettre à l'épreuve cette nouvelle voie thérapeutique mais leurs travaux souffrent d'un niveau de preuve relatif du fait de leur isolement, de leur méthodologie et de la faible taille de leurs échantillons. La preuve clinique de l'efficacité sur la récurrence reste donc à faire au travers d'études cliniques de fort niveau de preuve. Nous en proposons un pré-cadrage dont les éléments centraux sont : grande taille des échantillons, contrôle en inclusion de la gravité de la LMA, stratification des facteurs pronostic, aveuglement de l'allocation et de l'évaluation, contrôle des facteurs de risque secondaires par questionnaire « de vie ».

En parallèle, nous avons également identifié d'autres pistes d'études complémentaires. La mise au point de tests fiables permettant d'évaluer les facteurs de risque en lien avec la force musculaire et le contrôle neuromusculaire est indispensable pour permettre au thérapeute de valider l'aptitude de son patient au RAS. L'étude de l'effet du travail excentrique sous-maximal est nécessaire pour évaluer son intérêt et ses limites sur le tissu musculaire en cours

de cicatrisation. Il faudra également quantifier la résistance du tissu musculaire à la contrainte mécanique à chacune des phases du processus de cicatrisation et de déterminer la posologie optimale (vitesse, force, répétitions et série) afin de guider le thérapeute dans sa prise en charge. Enfin, la transposition du modèle animal sur une modélisation informatique de l'humain semble incontournable pour s'affranchir des barrières éthiques. Les sciences humaines devraient également être également mis à contribution pour la mise au point des questionnaires « de vie » et la réalisation d'enquête terrain sur les pratiques thérapeutiques actuelles.

Enfin, il faut se rappeler que la culture du secret est inscrite dans l'ADN du sportif. Les « bonnes recettes » du traitement de la blessure font tout simplement partie de l'avantage compétitif du sportif ; au même titre que les techniques d'entraînements, la préparation physique ou la mise au point du matériel. Mais nous pensons que nous sommes aujourd'hui à un pivot où la pratique empirique arrive à ses limites. L'athlète est vu comme un investissement essentiellement temporel où la courbe d'apprentissage menant à la performance est pleinement valorisée. La rentabilité de ce capital exige alors une gestion optimale de sa disponibilité et de sa longévité. Le monde du sport change et devant le besoin constant d'améliorer les performances il se tourne de plus en plus vers le scientifique. L'initiative « ASPETAR » au Qatar en est l'illustration phare. Cette nouvelle donne représente une réelle opportunité pour le thérapeute désirant explorer de nouvelles voies thérapeutiques. Le monde médical doit alors réussir à convaincre le monde sportif du bénéfice du principe d'expérimentation et à bâtir la confiance réciproque qui permettra d'assurer un suivi longitudinal non biaisé gage de la pertinence des résultats démontrés.

Références bibliographiques

- [1] Douville de Franssu A. Synthèse 6th Muscle Tech Network Barcelona, Barcelona: Kiné Sport; 2014.
- [2] Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med* 2011;39:1226–32. doi:10.1177/0363546510395879.
- [3] Rigou A, Thélo. L'épidémiologie des traumatismes liés à la pratique du rugby - Revue de littérature. *Inst Veille Sanit* 2008:13.
- [4] 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. doi:10.1136/bjsports-2015-095559.
- [5] Fuller CW, Sheerin K, Targett S. Rugby World Cup 2011: International Rugby Board injury surveillance study. *Br J Sports Med* 2013;47:1184–91. doi:10.1136/bjsports-2012-091155.
- [6] Malliaropoulos N, Isinkaye T, Tsitas K, Maffulli N. Reinjury after acute posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes. *Am J Sports Med* 2011;39:304–10. doi:10.1177/0363546510382857.
- [7] Durocher A. Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations. Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé (ANAES); 2000.
- [8] Échelle PEDro (Français) n.d. <https://www.pedro.org.au/french/downloads/pedro-scale/> (accessed December 11, 2016).
- [9] Brooks JHM, Kemp SPT. Injury-prevention priorities according to playing position in professional rugby union players. *Br J Sports Med* 2011;45:765–75. doi:10.1136/bjism.2009.066985.
- [10] Chumanov ES, Heiderscheit BC, Thelen DG. Hamstring Musculotendon Dynamics during Stance and Swing Phases of High Speed Running. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:525–32. doi:10.1249/MSS.0b013e3181f23fe8.
- [11] Morgan DL. New insights into the behavior of muscle during active lengthening. *Biophys J* 1990;57:209–21.
- [12] Butterfield TA. Eccentric exercise in vivo: strain-induced muscle damage and adaptation in a stable system. *Exerc Sport Sci Rev* 2010;38:51–60. doi:10.1097/JES.0b013e3181d496eb.
- [13] Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury. *Sports Med Auckl NZ* 2012;42:209–26. doi:10.2165/11594800-000000000-00000.
- [14] Foreman TK, Addy T, Baker S, Burns J, Hill N, Madden T. Prospective studies into

the causation of hamstring injuries in sport: A systematic review. *Phys Ther Sport* 2006;7:101–9. doi:10.1016/j.ptsp.2006.02.001.

[15] McCall A, Carling C, Davison M, Nedelec M, Gall FL, Berthoin S, et al. Injury risk factors, screening tests and preventative strategies: a systematic review of the evidence that underpins the perceptions and practices of 44 football (soccer) teams from various premier leagues. *Br J Sports Med* 2015;49:583–9. doi:10.1136/bjsports-2014-094104.

[16] Freckleton G, Pizzari T. Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2013;47:351–8. doi:10.1136/bjsports-2011-090664.

[17] Järvinen TAH, Järvinen TLN, Kääriäinen M, Kalimo H, Järvinen M. Muscle injuries: biology and treatment. *Am J Sports Med* 2005;33:745–64. doi:10.1177/0363546505274714.

[18] Huard J, Li Y, Fu FH. Muscle injuries and repair: current trends in research. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84-A:822–32.

[19] Järvinen DMJ, Lehto MUK. The Effects of Early Mobilisation and Immobilisation on the Healing Process Following Muscle Injuries. *Sports Med* 2012;15:78–89. doi:10.2165/00007256-199315020-00002.

[20] Middleton P, Montero C. Le travail musculaire excentrique : intérêts dans la prise en charge thérapeutique du sportif. *Ann Réadapt Médecine Phys* 2004;47:282–9. doi:10.1016/j.annrmp.2004.05.006.

[21] Asmussen. E. Positive and Negative Muscular Work. *Acta Physiol Scand* 1953;28:364–82. doi:10.1111/j.1748-1716.1953.tb00988.x.

[22] Ellenbecker TS, Davies GJ, Rowinski MJ. Concentric versus eccentric isokinetic strengthening of the rotator cuff. Objective data versus functional test. *Am J Sports Med* 1988;16:64–9.

[23] Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:783–90.

[24] Barash IA, Fridén J, Lutz GJ, Lieber RL, Peters D. Desmin cytoskeletal modifications after a bout of eccentric exercise in the rat. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2002;283:R958–63. doi:10.1152/ajpregu.00185.2002.

[25] Michaut A, Pousson M. Adaptations mécaniques et neurophysiologiques induites par la sollicitation musculaire excentrique : l'effet protecteur. *Sci Sports* 2004;19:286–95. doi:10.1016/j.scispo.2004.06.001.

[26] Yu J-G, Malm C, Thornell L-E. Eccentric contractions leading to DOMS do not cause loss of desmin nor fibre necrosis in human muscle. *Histochem Cell Biol* 2002;118:29–34. doi:10.1007/s00418-002-0423-1.

[27] Malm C, Yu J-G. Exercise-induced muscle damage and inflammation: re-evaluation by proteomics. *Histochem Cell Biol* 2012;138:89–99. doi:10.1007/s00418-012-0946-z.

[28] Aärimaa V, Rantanen J, Best T, Schultz E, Corr D, Kalimo H. Mild eccentric stretch

- injury in skeletal muscle causes transient effects on tensile load and cell proliferation. *Scand J Med Sci Sports* 2004;14:367–72. doi:10.1111/j.1600-0838.2004.403.x.
- [29] Rodas G, Pruna R, Til L, Martin C. Clinical Practice Guide for Muscular Injuries. Epidemiology, diagnosis, treatment and prevention. *Apunts Med L'Esport Engl Ed* 2009;44:179–203.
- [30] Edouard P, Serra J-M. Les lésions musculaires des ischio-jambiers. *J Traumatol Sport* 2013;30:176–84. doi:10.1016/j.jts.2013.02.001.
- [31] 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. doi:10.1016/j.berh.2006.12.004.
- [32] Puig P-L, Trouve P, Savalli L, Laboute E. Les accidents des muscles ischiojambiers. Un comportement très excentrique. *J Traumatol Sport* 2009;26:18–23. doi:10.1016/j.jts.2009.01.005.
- [33] Sherry MA, Johnston TS, Heiderscheit BC. Rehabilitation of acute hamstring strain injuries. *Clin Sports Med* 2015;34:263–84. doi:10.1016/j.csm.2014.12.009.
- [34] Järvinen TA, Kääriäinen M, Järvinen M, Kalimo H. Muscle strain injuries. *Curr Opin Rheumatol* 2000;12:155–61.
- [35] Rodineau J. Évaluation des lésions musculaires récentes et essai de classification. *Sport Med* 1997;90:28–30.
- [36] 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* 2012:bjsports – 2012–091448. doi:10.1136/bjsports-2012-091448.
- [37] Brasseur J-L, Renoux J. CLASSIFICATION DES LESIONS MUSCULAIRES. *Société D'Imagerie Musculo-Squelettique* 2012:6–24.
- [38] Reurink G, Goudswaard GJ, Tol JL, Verhaar JAN, Weir A, Moen MH. Therapeutic interventions for acute hamstring injuries: a systematic review. *Br J Sports Med* 2011:bjsports – 2011–090447. doi:10.1136/bjsports-2011-090447.
- [39] Mason DL, Dickens VA, Vail A. Rehabilitation for hamstring injuries. *Cochrane Database Syst. Rev.*, John Wiley & Sons, Ltd; 2012.
- [40] Pas HI, Reurink G, Tol JL, Weir A, Winters M, Moen MH. Efficacy of rehabilitation (lengthening) exercises, platelet-rich plasma injections, and other conservative interventions in acute hamstring injuries: an updated systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2015:bjsports – 2015–094879. doi:10.1136/bjsports-2015-094879.
- [41] 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. doi:10.1136/bjsports-2013-092165.
- [42] 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. doi:10.1136/bjsports-2013-093214.

[43] Sherry MA, Best TM. A comparison of 2 rehabilitation programs in the treatment of acute hamstring strains. *J Orthop Sports Phys Ther* 2004;34:116–25. doi:10.2519/jospt.2004.34.3.116.

[44] Malliaropoulos N, Papalexandris S, Papalada A, Papacostas E. The role of stretching in rehabilitation of hamstring injuries: 80 athletes follow-up. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:756–9.

[45] Schmitt B, Tim T, McHugh M. HAMSTRING INJURY REHABILITATION AND PREVENTION OF REINJURY USING LENGTHENED STATE ECCENTRIC TRAINING: A NEW CONCEPT. *Int J Sports Phys Ther* 2012;7:333–41.

[46] Brukner P, Nealon A, Morgan C, Burgess D, Dunn A. Recurrent hamstring muscle injury: applying the limited evidence in the professional football setting with a seven-point programme. *Br J Sports Med* 2014;48:929–38. doi:10.1136/bjsports-2012-091400.

[47] Barthélémy Y, Kaux J-F, Ferret JM. Isocinétisme et sport de haut niveau : Applications à la traumatologie du sport. *Mov Sport Sci - Sci Mot* 2014;77–91. doi:10.1051/sm/2013106.

[48] Bourne MN, Williams MD, Opar DA, Najjar AA, Kerr GK, Shield AJ. Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *Br J Sports Med* 2016:bjsports – 2015–095739. doi:10.1136/bjsports-2015-095739.

[49] Freckleton G, Cook J, Pizzari T. The predictive validity of a single leg bridge test for hamstring injuries in Australian Rules Football Players. *Br J Sports Med* 2014;48:713–7. doi:10.1136/bjsports-2013-092356.

[50] Croisier JL, Crielaard JM. Exploration isocinétique: analyse des paramètres chiffrés. *Ann Réadapt Médecine Phys* 1999;42:538–45. doi:10.1016/S0168-6054(00)88381-6.

[51] Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Brughelli M. Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction? *Br J Sports Med* 2012;46:81–5. doi:10.1136/bjism.2010.081695.

Annexes

ANNEXE 1 : EPIDEMIOLOGIE DE LA COUPE DU MONDE DE RUGBY 2011, D'APRES [5]	I
ANNEXE 2 : SCORE DE SACKETT, D'APRES [7].....	II
ANNEXE 3 : SCORE DE SACKETT DES ARTICLES SELECTIONNES	III
ANNEXE 4 : SCORE DE PEDRO, D'APRES [9]	V
ANNEXE 5 : SCORE DE PEDRO DES ETUDES CLINIQUES SELECTIONNEES.....	V
ANNEXE 6 : GRADATION « JÄRVINEN » DE LA LMA, D'APRES [34]	VI
ANNEXE 7 : GRADATION « DUREY & RODINEAU » DE LA LMA, D'APRES [35]	VI
ANNEXE 8 : GRADATION « MUNICH » DE LA LMA, D'APRES [36]	VII
ANNEXE 9 : GRADATION « RENOUX & BRASSEUR » DE LA LMA, D'APRES [37].....	VIII
ANNEXE 10 : CHOIX DES EXERCICES ADAPTES	IX

Annexe 1 : épidémiologie de la coupe du monde de rugby 2011, d'après [5]

The most common match and training injuries and the match and training injuries causing the greatest overall loss of time			
A. Greatest number	Match		Training
	Number (days absence)		Number (days absence)
Posterior thigh, muscle	20 (523)	Lower leg, muscle	6 (116)
Concussion	15 (152)	Posterior thigh, muscle	5 (46)
Knee, ligament	14 (1113)	Hip/groin, muscle	3 (118)
Shoulder, ligament	11 (245)	Lower back, disc	3 (26)
Sternum/ribs, haematoma	10 (132)	Knee, ligament	2 (252)
Ankle, ligament	10 (128)	Anterior thigh, muscle	2 (24)
ALL	171 (4020)	ALL	35 (940)
B. Greatest absence	Days absence (number)		Days absence (number)
Knee, ligament	1113 (14)	Knee, ligament	252 (2)
Posterior thigh, muscle	523 (20)	Neck/cervical spine, disc	129 (1)
Shoulder, dislocation/subluxation	381 (5)	Hip/groin, muscle	118 (3)
Shoulder, labral tear	262 (2)	Lower leg, muscle	116 (6)
Shoulder, ligament	245 (11)	Achilles, tendon	87 (1)
Concussion	152 (15)	Upper back, muscle	79 (1)
ALL	4020 (171)	ALL	940 (35)

Incidence and mean severity of match injuries as a function of playing position and type of injury							
Injury type		Match injuries			Mean severity, days (95% CI)		
		Incidence, injuries/1000 player-hours (95% CI)			Mean severity, days (95% CI)		
Main group	Subgroup	Forwards	Backs	All players	Forwards	Backs	All players
Bone	All injuries	4.9 (2.0 to 11.7)	5.6 (2.3 to 13.4)	5.2 (2.8 to 9.7)	14.8 (0 to 30.2)	31.8 (15.2 to 48.4)	23.3 (11.3 to 35.3)
	Fracture	4.9 (2.0 to 11.7)	5.6 (2.3 to 13.4)	5.2 (2.8 to 9.7)	14.8 (0 to 30.2)	31.8 (15.2 to 48.4)	23.3 (11.3 to 35.3)
	Other bone injuries	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
Joint (non-bone)/ligament	All injuries	24.4 (16.5 to 36.1)	25.7 (17.1 to 38.6)	25.0 (18.8 to 33.2)	43.3 (12.7 to 73.9)	49.1 (18.7 to 79.6)	46.1 (24.8 to 67.5)
	Dislocation/subluxation	2.0 (0.5 to 7.8)	4.5 (1.7 to 11.9)	3.1 (1.4 to 7.0)	102.5 (0.4 to 23.4)	46.0 (0 to 125.1)	64.8 (0 to 137.9)
	Sprain/ligament	21.5 (14.1 to 32.6)	17.9 (10.9 to 29.1)	19.8 (14.4 to 27.2)	37.9 (7.8 to 68.0)	41.5 (11.5 to 71.5)	39.4 (18.2 to 60.6)
Muscle/tendon	All injuries	34.2 (24.5 to 47.6)	43.5 (31.8 to 58.5)	43.5 (30.7 to 48.4)	12.2 (7.3 to 17.1)	18.8 (10.7 to 26.9)	15.7 (10.8 to 20.5)
	Muscle rupture/tear/train/cramp	19.5 (12.6 to 30.3)	20.1 (12.7 to 31.9)	19.8 (14.4 to 27.2)	15.4 (7.7 to 23.0)	27.2 (16.3 to 38.1)	20.9 (14.2 to 27.7)
	Tendon rupture/tendinopathy/bursitis	1.0 (0.1 to 6.9)	4.5 (1.7 to 10.4)	2.1 (0.8 to 5.6)	4.0 (*)	35.8 (0 to 92.2)	29.4 (0 to 74.8)
Skin	All injuries	13.7 (8.1 to 23.1)	19.0 (11.8 to 30.5)	16.1 (11.4 to 23.0)	8.3 (3.8 to 12.8)	5.9 (3.5 to 8.4)	7.0 (4.6 to 9.4)
	Haematoma/contusion/bruise	1.0 (0.1 to 6.9)	2.2 (0.6 to 8.9)	1.6 (0.5 to 4.8)	3.0 (*)	16.0 (8.2 to 23.8)	11.7 (2.0 to 21.3)
	Abrasion	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
Brain/spinal cord/PNS	All injuries	1.0 (0.1 to 6.9)	2.2 (0.6 to 8.9)	1.6 (0.5 to 4.8)	3.0 (*)	16.0 (8.2 to 23.8)	11.7 (2.0 to 21.3)
	Concussion	9.8 (5.3 to 18.2)	6.7 (3.0 to 14.9)	8.3 (5.1 to 13.6)	11.9 (0.4 to 23.4)	6.2 (4.2 to 8.2)	9.8 (2.6 to 16.9)
	Structural brain injury	8.8 (4.6 to 16.9)	6.7 (3.0 to 14.9)	7.8 (4.7 to 13.0)	12.8 (0.1 to 25.4)	6.2 (4.2 to 8.2)	10.1 (2.5 to 17.8)
Other	All injuries	1.0 (0.1 to 6.9)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
	Nerve injury	1.0 (0.1 to 6.9)	0.0 (-)	0.5 (0.1 to 3.7)	4.0 (*)	-	4.0 (*)
	Dental	4.9 (2.0 to 11.7)	3.3 (1.1 to 10.4)	4.2 (2.1 to 8.3)	24.8 (0 to 54.2)	8.0 (0 to 16.8)	18.5 (0 to 37.3)
Injury type not identified	All injuries	5.9 (2.6 to 13.0)	6.7 (3.0 to 14.9)	6.3 (3.5 to 11.0)	6.0 (4.0 to 8.0)	13.8 (0 to 32.8)	9.9 (0.6 to 19.3)
	All injury types	85.0 (68.9 to 104.8)	93.8 (75.7 to 116.1)	89.1 (76.7 to 103.5)	21.2 (11.8 to 30.6)	26.2 (16.5 to 35.9)	23.6 (16.9 to 30.4)

*Only one result in category.
+One career-ending injury not included in calculation.
PNS, peripheral nervous system;

Table 7 Incidence and mean severity of training injuries as a function of playing position and type of injury							
Injury type		Training injuries					
		Incidence, injuries/1000 player-hours (95% CI)			Mean severity, days (95% CI)		
Main group	Subgroup	Forwards	Backs	All players	Forwards	Backs	All players
Bone	All injuries	0.2 (0.1 to 0.9)	0.1 (0.0 to 1.0)	0.2 (0.1 to 0.6)	6.0 (2.1 to 9.9)	6.0 (*)	6.0 (3.7 to 8.3)
	Fracture	0.2 (0.1 to 0.9)	0.1 (0.0 to 1.0)	0.2 (0.1 to 0.6)	6.0 (2.1 to 9.9)	6.0 (*)	6.0 (3.7 to 8.3)
	Other bone injuries	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
Joint (non-bone)/ligament	All injuries	0.9 (0.5 to 1.9)	0.0 (-)	0.5 (0.3 to 1.0)	52.0 (0 to 115.0)	-	52.0 (0 to 115.0)
	Dislocation/subluxation	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
	Sprain/ligament	0.5 (0.2 to 1.3)	0.0 (-)	0.3 (0.1 to 0.7)	65.3 (0 to 186.0)	-	65.3 (0 to 186.0)
Muscle/tendon	All injuries	1.5 (0.9 to 2.7)	1.4 (0.7 to 2.6)	1.5 (1.0 to 2.2)	26.2 (7.4 to 45.1)	15.1 (0.1 to 30.1)	21.4 (8.9 to 33.8)
	Muscle rupture/tear/train/cramp	1.1 (0.6 to 2.0)	1.3 (0.7 to 2.4)	1.2 (0.7 to 1.8)	27.1 (5.0 to 49.2)	15.9 (0 to 32.6)	21.5 (7.8 to 35.2)
	Tendon rupture/tendinopathy/bursitis	0.1 (0.0 to 0.8)	0.0 (-)	0.1 (0.0 to 0.5)	87.0 (*)	-	87.0 (*)
Skin	All injuries	0.4 (0.1 to 1.1)	0.1 (0.0 to 1.0)	0.3 (0.1 to 0.7)	3.3 (1.6 to 5.1)	8.0 (*)	4.5 (1.9 to 7.1)
	Haematoma/contusion/bruise	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
	Abrasion	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
Brain/spinal cord/PNS	All injuries	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
	Concussion	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
	Structural brain injury	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
Other	All injuries	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
	Nerve injury	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
	Dental	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
Injury type not identified	All injuries	0.0 (-)	0.0 (-)	0.0 (-)	-	-	-
	All injury types	2.7 (1.8 to 4.1)	1.7 (0.9 to 2.9)	2.2 (1.6 to 3.1)	33.4 (9.2 to 57.6)	14.3 (1.8 to 26.7)	26.9 (10.2 to 43.5)

*Only one result in category.
PNS, peripheral nervous system;

Annexe 2 : Score de Sackett, d'après [7]

CORRESPONDANCE ENTRE L'ÉVALUATION DE LA LITTÉRATURE ET LE GRADE DES RECOMMANDATIONS

Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature		Force des recommandations
Texte :	Argumentaire	Recommandation
Niveau 1		
Essais comparatifs randomisés de forte puissance		Grade A
Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés		
Analyse de décision basée sur des études bien menées		Preuve scientifique établie
Niveau 2		
Essais comparatifs randomisés de faible puissance		Grade B
Etudes comparatives non randomisées bien menées		
Etudes de cohorte		Présomption scientifique
Niveau 3		
Etudes cas-témoins		Grade C
Essais comparatifs avec série historique		
Niveau 4		Faible niveau de preuve scientifique
Etudes comparatives comportant des biais importants		
Etudes rétrospectives		
Séries de cas		
Etude épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale)		
Toute autre publication (case report, avis d'experts etc.)		Accord professionnel *
Aucune publication		

* En l'absence de précision, les recommandations proposées correspondront à un accord professionnel.

Annexe 3 : Score de Sackett des articles sélectionnés

Article	Type d'article	Niveau de preuve
[1] Douville de Franssu 2014	Conte-rendu de colloque	AP
[2] Ekstrand & al. 2011	Etude de cohorte	2
[3] Rigou & Thélo 2008	Etude épidémiologique	4
[4] Edouard & al. 2016	Etude de cohorte	2
[5] Fuller & al. 2012	Etude épidémiologique	4
[6] Malliaropoulos & al. 2011	Etude de cohorte	2
[9] Brooks & Kemp 2011	Etude épidémiologique	4
[10] Chumanov & al. 2011	Série de cas	4
[11] Morgan 1990	Revue de littérature narrative	AP
[12] Butterfield 2010	Revue de littérature narrative	AP
[13] Opar & al. 2012	Revue de littérature narrative	AP
[14] Foreman & al. 2006	Revue de littérature systématique	1
[15] McCall & al. 2015	Revue de littérature systématique	1
[16] Freckleton & Pizzari 2013	Méta-Analyse	1
[17] Järvinen TAH & al. 2005	Revue de littérature narrative	AP
[18] Huard & al. 2002	Revue de littérature narrative	AP
[19] Järvinen DMJ & Lehto 2012	Essai contrôlé randomisé	2
[20] Middleton & Montero 2004	Revue de littérature narrative	AP
[21] Asmusen 1953	Etude de cas	AP
[22] Ellenbecker & al. 1988	Essai contrôlé randomisé	2
[23] Brockett & al. 2001	Série de cas	4
[24] Barash & al. 2002	Essai contrôlé randomisé	2
[25] Michaut & Pousson 2004	Revue de littérature narrative	AP
[26] Yu & al. 2002	Série de cas	4

Article	Type d'article	Niveau de preuve
[27] Malm & Yu 2012	Essai contrôlé randomisé	2
[28] Aärimea & al. 2004	Essai contrôlé randomisé	2
[29] Rodas & al. 2013	Revue de littérature narrative	AP
[30] Edouard & al. 2013	Revue de littérature narrative	AP
[31] Järvinen TAH & al. 2006	Revue de littérature narrative	AP
[32] Puig & al. 2009	Revue de littérature narrative	AP
[33] Sherry & al. 2015	Revue de littérature narrative	AP
[34] Järvinen TA & al. 2000	Etude diagnostic	4
[35] Rodineau 1997	Etude diagnostic	4
[36] Mueller-Wohlfahrt 2012	Conférence de consensus	AP
[37] Brasseur & Renoux 2012	Etude diagnostic	4
[38] Reurink & al. 2011	Revue de littérature systématique	1
[39] Mason & al. 2012	Revue de littérature systématique	1
[40] Pas & al. 2015	Revue de littérature systématique	1
[41] Askling & al. 2013	Essai contrôlé randomisé	2
[42] Askling & al. 2014	Essai contrôlé randomisé	2
[43] Sherry & Best 2004	Essai contrôlé randomisé	2
[44] Malliaropoulos & al. 2004	Essai contrôlé randomisé	2
[45] Schmitt & al. 2012	Revue de littérature narrative	AP
[46] Brukner & al. 2014	Etude de cas	AP
[47] Barthélémy & al. 2014	Revue de littérature narrative	AP
[48] Bourne & al. 2015	Série de cas	4
[49] Freckleton & al. 2014	Etude de cohorte	2
[50] Croisier & Crielaard 1999	Série de cas	4
[51] Mendiguchia & al. 2012	Revue de littérature narrative	AP

AP : Accord Professionnel

Annexe 4 : Score de PEDRO, d'après [8]

Échelle PEDro – Français

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

Annexe 5 : Score de PEDRO des études cliniques sélectionnées

Critère de notation	Askling & al. 2013	Askling & al. 2014	Malliaropoulos & al. 2004	Sherry & Best 2004
Allocation randomisée	Oui	Oui	Oui	Oui
Allocation aveuglée	Non	Non	Non	Non
Baseline comparable	Oui	Non	Non	Non
Sujets aveuglés	Non	Non	Non	Non
Thérapeutes aveuglés	Non	Non	Non	Non
Évaluateurs aveuglés	Non	Non	Non	Non
Suivi adéquate	Oui	Oui	Non	Oui
Intention de traiter	Non	Non	Non	Non
Comparaison intergroupes	Oui	Oui	Oui	Oui
Estimation et variabilité	Oui	Oui	Oui	Oui
TOTAL /10	5	4	3	4

Annexe 6 : gradation « Järvinen » de la LMA, d'après [34]

STADE	LESIONS
STADE 1	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Quelques fibres rompues. ➤ Simple gêne. ➤ Limitation mineure de l'amplitude lors de l'étirement. ➤ Pas d'objectivation net d'un hématome à l'ORM ou l'échographie.
STADE 2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Douleur plus importante. ➤ Limitation de l'étirement passif. ➤ Signe franc avec présence d'un hématome intra et/ou intermusculaire à l'imagerie.
STADE 3	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rupture importante, parfois totale du corps musculaire. ➤ Lésion pouvant être parfois palpable.

Annexe 7 : gradation « Durey & Rodineau » de la LMA, d'après [35]

STADE	LESIONS
Stade 0	Atteinte réversible de la fibre musculaire sans atteinte du tissu de soutien. Récupération totale en quelques heures. Indécelable à l'échographie.
Stade 1	Atteinte irréversible de quelques fibres musculaires aboutissant à leur nécrose sans atteinte du tissu conjonctif de soutien. Récupération totale en quelques jours. Indécelable à l'échographie, remaniements oedémateux en IRM.
Stade 2	Atteinte irréversible d'un nombre réduit de fibres musculaires et atteinte minime du tissu conjonctif de soutien. Récupération qui peut être obtenue en une dizaine de jours. Douleur vive lors de la pratique sportive, n'obligeant pas l'arrêt.
Stade 3	Atteinte irréversible de nombreuses fibres musculaires, atteinte marquée du tissu conjonctif de soutien et formation d'un hématome intramusculaire localisé. Récupération en 4 à 12 semaines.
Stade 4	Rupture ou désinsertion musculaire complète. Récupération longue et variable selon le muscle touché. Douleur vive lors de la pratique sportive, obligeant l'arrêt.

Annexe 8 : gradation « Munich » de la LMA, d'après [36]

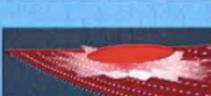
Classification of acute muscle disorders and injuries

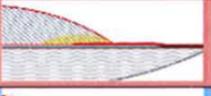
A. Indirect muscle disorder/injury	Functional muscle disorder	Type 1: Overexertion-related muscle disorder	Type 1A: Fatigue-induced muscle disorder Type 1B: Delayed-onset muscle soreness (DOMS)
	Structural muscle injury	Type 2: Neuromuscular muscle disorder	Type 2A: Spine-related neuromuscular Muscle disorder Type 2B: Muscle-related neuromuscular Muscle disorder
		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	

Comprehensive muscle injury classification: type-specific definitions and clinical presentations

Type	Classification	Definition	Symptoms	Clinical signs	Location	Ultrasound/MRI
1A	Fatigue-induced muscle disorder	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone (muscle firmness) due to overexertion, change of playing surface or change in training patterns	Aching muscle firmness. Increasing with continued activity. Can provoke pain at rest. During or after activity	Dull, diffuse, tolerable pain in involved muscles, circumscribed increase of tone. Athlete reports of 'muscle tightness'	Focal involvement up to entire length of muscle	Negative
1B	Delayed-onset muscle soreness (DOMS)	More generalised muscle pain following unaccustomed, eccentric deceleration movements.	Acute inflammatory pain. Pain at rest. Hours after activity	Oedematous swelling, stiff muscles. Limited range of motion of adjacent joints. Pain on isometric contraction. Therapeutic stretching leads to relief	Mostly entire muscle or muscle group	Negative or oedema only
2A	Spine-related neuromuscular muscle disorder	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone (muscle firmness) due to functional or structural spinal/lumbopelvic disorder.	Aching muscle firmness. Increasing with continued activity. No pain at rest	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone. Discrete oedema between muscle and fascia. Occasional skin sensitivity, defensive reaction on muscle stretching. Pressure pain	Muscle bundle or larger muscle group along entire length of muscle	Negative or oedema only
2B	Muscle-related neuromuscular muscle disorder	Circumscribed (spindle-shaped) area of increased muscle tone (muscle firmness). May result from dysfunctional neuromuscular control such as reciprocal inhibition	Aching, gradually increasing muscle firmness and tension. Cramp-like pain	Circumscribed (spindle-shaped) area of increased muscle tone, oedematous swelling. Therapeutic stretching leads to relief. Pressure pain	Mostly along the entire length of the muscle belly	Negative or oedema only
3A	Minor partial muscle tear	Tear with a maximum diameter of less than muscle fascicle/bundle.	Sharp, needle-like or stabbing pain at time of injury. Athlete often experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain	Well-defined localised pain. Probably palpable defect in fibre structure within a firm muscle band. Stretch-induced pain aggravation	Primarily muscle-tendon junction	Positive for fibre disruption on high resolution MRI*. Intramuscular haematoma
3B	Moderate partial muscle tear	Tear with a diameter of greater than a fascicle/bundle	Stabbing, sharp pain, often noticeable tearing at time of injury. Athlete often experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain. Possible fall of athlete	Well-defined localised pain. Palpable defect in muscle structure, often haematoma, fascial injury Stretch-induced pain aggravation	Primarily muscle-tendon junction	Positive for significant fibre disruption, probably including some retraction. With fascial injury and intermuscular haematoma
4	(Sub)total muscle tear/tendinous avulsion	Tear involving the subtotal/complete muscle diameter/ tendinous injury involving the bone-tendon junction	Dull pain at time of injury. Noticeable tearing. Athlete experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain. Often fall	Large defect in muscle, haematoma, palpable gap, haematoma, muscle retraction, pain with movement, loss of function, haematoma	Primarily muscle-tendon junction or Bone-tendon junction	Subtotal/complete discontinuity of muscle/ tendon. Possible wavy tendon morphology and retraction. With fascial injury and intermuscular haematoma
Contusion	Direct injury	Direct muscle trauma, caused by blunt external force. Leading to diffuse or circumscribed haematoma within the muscle causing pain and loss of motion	Dull pain at time of injury, possibly increasing due to increasing haematoma. Athlete often reports definite external mechanism	Dull, diffuse pain, haematoma, pain on movement, swelling, decreased range of motion, tenderness to palpation depending on the severity of impact. Athlete may be able to continue sport activity rather than in indirect structural injury	Any muscle, mostly vastus intermedius and rectus femoris	Diffuse or circumscribed haematoma in varying dimensions

Annexe 9 : gradation « Renoux & Brasseur » de la LMA, d'après [37]

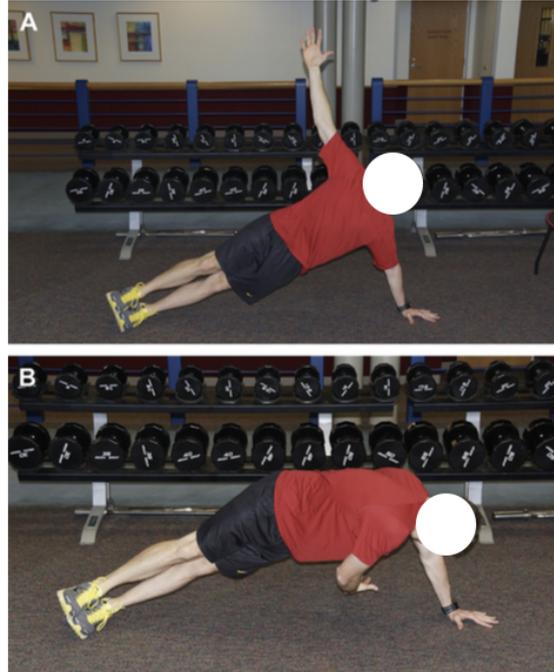
Lésion myo-conjonctive	Illustration	Règle des 2
Grade 0 : DOMS		
Grade I : nuage hyperéchogène SANS désorganisation architecturale Douleur localisée au palper échoscopique Pas d'altération de la contractilité musculaire		2 semaines
Grade II m : nuage hyperéchogène AVEC désorganisation architecturale Douleur localisée Sidération musculaire locale à l'examen dynamique		4 semaines
Grade III m : décollement myo-aponévrotique avec collection à l'interface Impotence musculaire quasi-totale Sidération musculaire à la contraction		6 semaines
Grade IV : rupture		8 semaines

Lésion conjonctive pure	Illustration	Règle des 2
Grade II c : épaissement flou d'une cloison conjonctive ou d'une aponévrose		2 semaines
Grade III c : disparition, rupture partielle ou hématome d'une cloison conjonctive		6 semaines
Grade V : rupture		8

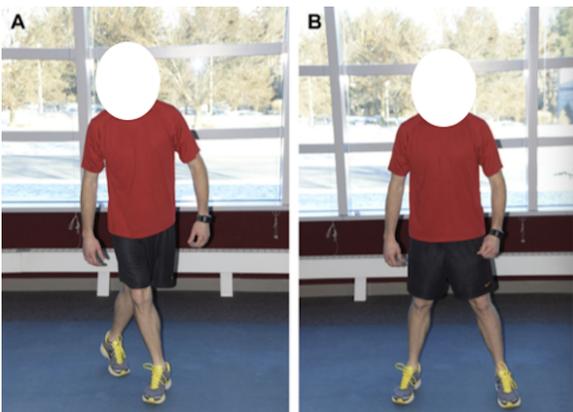
Annexe 10 : choix des exercices adaptés



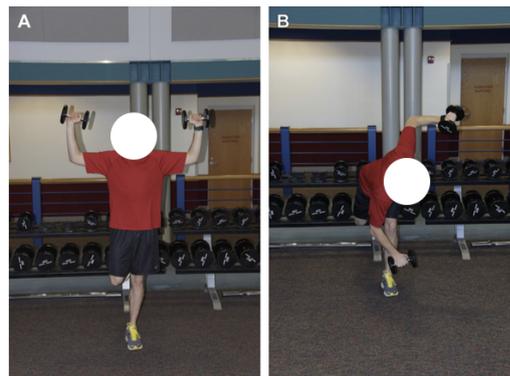
« Tirante Musculator » d'après Rodas & al. 2009



Pont fessier latéral en rotation d'après Sherry & al. 2015 : réalisé en bilatéral ; membre supérieur libre est au zénith (A), puis s'enroule en rotation et passe sous le tronc tout en maintenant la hauteur de la hanche (B).



« grapevine stepping » d'après Sherry & al. 2015 : réalisé de faible à moyenne intensité en bilatéral ; passage croisé en avant de la jambe d'appui (A) étape bipodale en écart (B) puis passage croisé en arrière de la jambe d'appui (A inversé).



Bascule avant en rotation d'après Sherry & al. 2015 : réalisé en bilatéral ; (A) appui monopodal en position « armé », flexion de hanche et pivot du tronc amenant le membre supérieur controlatéral à la jambe d'appui en avant et à l'extérieur de cette dernière (B).



Fente avant en rotation d'après Sherry & al. 2015 : réalisé en bilatéral ; en fente avant, rotation du tronc amenant le membre supérieur controlatéral à la jambe avant en avant et à l'extérieur de cette dernière.



« Wood Chops » d'après Sherry & al. 2015 : réalisé en bilatéral à l'aide d'une colonne à câble ; (A)-(B) tronc étendu et bras au-dessus de l'épaule, puis flexion du tronc en pivot vers le côté opposé



10 exercices pour les IJ d'après Bourne & al. 2016 : (A) flexion de tronc, (B) Extension de tronc, (C) Bascule monopodale, (D) Fente avant, (E) Pont fessier unilatéral, (F) Pont fessier unilatéral surélevé, (G) leg curl, (H) Extension de hanche, (I) Glute-Ham Raise, (J) Nordic Hamstring

