

Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Montpellier



Année 2016-2017

**Effet d'un programme de perturbation
de type Quick-Release sur le délai
d'activation des ischio-jambiers chez
des sujets sains**

Etude comparative entre un entraînement par Quick-
Release et un programme de renforcement
musculaire classique

Travail réalisé

en vue de l'obtention du diplôme d'état de Masseur-Kinésithérapeute par :

Monsieur GORBINET Thomas

Sous la direction du Docteur Marc Julia, Médecine Physique et Réadaptation, CHU
Lapeyronie Montpellier

Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Montpellier



Année 2016-2017

**Effet d'un programme de perturbation
de type Quick-Release sur le délai
d'activation des ischio-jambiers chez
des sujets sains**

Etude comparative entre un entraînement par Quick-
Release et un programme de renforcement
musculaire classique

Travail réalisé

en vue de l'obtention du diplôme d'état de Masseur-Kinésithérapeute par :

Monsieur GORBINET Thomas

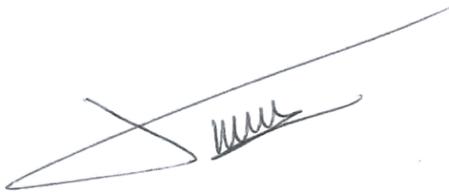
Sous la direction du Docteur Marc Julia, Médecine Physique et Réadaptation, CHU
Lapeyronie Montpellier

Je soussigné Thomas GORBINET,

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Les citations tirées du présent mémoire ne sont permises que dans la mesure où elles servent de commentaire, référence ou démonstration à son utilisateur. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article, site Internet ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets. La loi sur le droit d'auteur est applicable

Le 10 Mai 2017

Signature :

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized loop on the left and a series of smaller, connected loops on the right, all contained within a long, thin horizontal line that extends to the right.

REMERCIEMENTS

À **Marc Julia** pour ses connaissances, son aide et sa bienveillance tout au long de l'étude.

À **Serge Mesure** pour ses conseils à l'élaboration de mon travail.

À **Bruno Boussagol** pour son investissement dans le programme de rééducation.

À **mon vieil ami Maxime** pour son aide informatique indispensable et son temps précieux.

À l'ensemble des étudiants ayant participé à l'étude : **Remy, Guillaume, Fanny, Pauline, Yaya, Valène, Marie, Audrey, Elena, Anaïs, Alice, Alexandre, Sébastien, Dorian, Paul, Rudy, Yohan, Max et Samy.**

À **mes parents** pour les valeurs du travail qui me sont transmises depuis des années ainsi qu'à **l'ensemble de ma famille** pour son soutien.

À **mes grands-parents** pour leur éducation et les valeurs qui m'ont été transmises.

À **Remy, Léa et Alexandre**, présents du début à la fin de ces trois années et pour celles à venir.

À **Jice et Mélanie**, mes vieux amis ayant désormais quitté notre belle région.

À **mes amis Auvergnats**, jamais vraiment très loin ces trois années passées en Hérault.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction Générale	1
1- Introduction.....	2
2- Méthodologie	6
1. Population	6
2. Protocole de mesure	6
3. Protocole de rééducation	7
4. Recueil des données	9
5. Statistiques	10
3- Résultats.....	11
1. Résultats des perturbations à 70° de flexion	11
2. Résultats des perturbations à 20° de flexion	12
3. Résultats en force	14
4- Discussion.....	15
1. Analyse critique des résultats.....	15
2. Limites de l'étude.....	20
3. Perspectives.....	23
5- Conclusion	24
Bibliographie	
Annexes	
Abstract	
Résumé	

LISTE DES ABREVIATIONS

LCA: Ligament Croisé Antérieur

IJ: Ischio-jambiers

QR: Quick-Release

T: Témoin

IFMK : Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie

FNM: Fuseau Neuromusculaire

EMG: Electromyographie

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1: Caractéristiques des sujets de l'étude

Tableau 2 : Moyennes des résultats en termes de force pour le groupe T exprimées en pourcentage de gain post/pré

Tableau 3 : Moyennes des résultats en termes de force pour le groupe QR exprimées en pourcentage de gain post/pré

Figure 1 : Dispositif de l'exercice de Quick-Release

Figure 2 : Illustration de la rééducation pour chaque groupe de patients

Graphique 1 : Pourcentage de gain du délai réflexe à droite, lors d'une perturbation à 70° de flexion, par rapport à la valeur initiale en pré-rééducation

Graphique 2 : Pourcentage de gain du délai réflexe à gauche, lors d'une perturbation à 70° de flexion, par rapport à la valeur initiale en pré-rééducation

Graphique 3 : Pourcentage de gain du délai réflexe à droite, lors d'une perturbation à 20° de flexion, par rapport à la valeur initiale en pré-rééducation

Graphique 4 : Pourcentage de gain du délai réflexe à gauche, lors d'une perturbation à 20° de flexion, par rapport à la valeur initiale en pré-rééducation

INTRODUCTION GENERALE

Intéressé depuis toujours par le monde sportif, la blessure du ligament croisé antérieur (LCA) est une des blessures sur laquelle j'ai porté mon attention et sur laquelle j'ai réfléchi durant mes études. Chez les athlètes de haut niveau victimes d'une rupture du LCA, l'opération chirurgicale apparaît le plus souvent inévitable afin de leur permettre de reprendre au plus vite leur activité avec un genou le plus stable possible et ainsi tenter de retrouver leur niveau de performance.

Qu'en est-il des autres sportifs ? Un travail proprioceptif et neuromusculaire est-il suffisant pour permettre à certains d'entre eux d'éviter l'intervention ? Si oui, quels sont les patients pouvant bénéficier de cette rééducation et sur quel groupe musculaire doit-on porter notre attention ? C'est à partir de ces questions que j'ai décidé de m'intéresser aux mécanismes de stabilisation du genou et aux ischio-jambiers (IJ) ainsi qu'à leur relation étroite avec le LCA.

Le travail qui suit a été réalisé de manière à évaluer l'effet d'un exercice de rééducation visant à stimuler les IJ sur leur vitesse de réaction. Principaux protecteurs du LCA, les IJ sont également importants chez les sujets ayant une lésion du LCA, leur rapidité d'exécution étant un critère de stabilité. 18 étudiants de l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Montpellier ont été répartis en deux groupes suivant deux protocoles de rééducation différents. Dans l'un des groupes, un exercice spécifique de stimulation du délai réflexe des IJ fut mis en place. Nous avons ensuite étudié différents paramètres que nous avons obtenu à l'aide d'une machine d'isocinétisme.

1- INTRODUCTION

La lésion du LCA est une blessure fréquente et a des répercussions fonctionnelles potentiellement importantes chez les patients qui en sont victimes : instabilité du genou, amyotrophie du quadriceps, arrêt de l'activité professionnelle et sportive.

Elle survient le plus souvent sans contact direct, à la suite d'un changement de direction ou d'une décélération brutale [1][2]. Ce mécanisme sans contact serait responsable de 72% des lésions du LCA d'après Boden et al [3].

La pratique sportive est la principale pourvoyeuse de ces atteintes [4] avec une prévalence plus importante pour les sports de pivots comme le basket-ball, le handball, le football mais aussi les sports d'hiver comme le ski [5]. Les femmes sont plus exposées que les hommes avec un risque 4 à 7 fois supérieur [5][6].

Aux Etats-Unis, on estime entre 100 000 et 250 000 le nombre de lésions du LCA par an [1][2]. En France, la Haute Autorité de Santé (HAS) dénombrait 37000 interventions chirurgicales pour l'année 2006, ce qui sous-estime nettement le nombre de lésions, celles-ci n'étant pas toutes diagnostiquées ni opérées [4].

A la suite d'une lésion du LCA, nous retrouvons trois profils de patients qui présentent trois types d'évolutions différentes :

Les « Adapters » qui adaptent leurs sollicitations à leur moindre stabilité de genou : Ils diminuent leurs activités fonctionnelles et sportives, ne retrouvent pas leur niveau sportif pré-lésionnel et évitent ainsi tout épisode d'instabilité. Les « copers » qui retrouvent un haut niveau fonctionnel et ce, sans plainte d'instabilité. Les « non copers » qui sont incapables de retrouver leur niveau fonctionnel ou sportif pré-lésionnel du fait d'épisodes d'instabilité répétés [7].

Aujourd'hui, la chirurgie reconstructrice reste encore le traitement de référence mais l'alternative par un traitement ortho-fonctionnel présente de sérieux arguments [8].

Ainsi, d'après l'étude de Frobell et al, les résultats fonctionnels basés sur les scores KOOS, SF-36 et Lysholm Tegner à 5 ans post chirurgie ne montrent pas de supériorité, comparé aux résultats d'un traitement par rééducation fonctionnelle que ce soit au niveau de la douleur, des symptômes, des activités quotidiennes ou des activités sportives [9]. Il apparaît donc important de distinguer les profils post lésionnels des patients pour éviter, pour certains d'entre eux, une reconstruction chirurgicale qui peut s'avérer non indispensable.

De plus, la chirurgie reconstructrice du LCA n'offre pas les garanties d'un retour au sport dans 100% des cas, loin s'en faut. En effet, en 2011, dans une méta-analyse regroupant 5700 patients opérés, Ardern et al mettent en évidence que seulement 44% d'entre eux ont pu retrouver la compétition sportive, compétition à laquelle ils participaient avant leur blessure [10].

Concernant l'incidence de l'arthrose, celle-ci ne diminue pas avec la chirurgie comme en attestent les travaux de Delincé et al en 2011 [11]. Les auteurs rappellent que le principal but du traitement chirurgical est d'améliorer la stabilité de l'articulation et que cette amélioration peut être assurée, dans certains cas, par la rééducation neuromusculaire.

Le ligament croisé antérieur est un élément fondamental de la stabilité et de la dynamique du genou de par son action mécanique empêchant l'avancée et la rotation interne du tibia sous le fémur mais également de par son rôle informationnel.

En effet, celui-ci comporte des mécanorécepteurs de différents types : Corpuscules de Pacini, de Rufini, terminaisons libres qui font de ce ligament un véritable organe sensible à la vitesse, au mouvement, à l'accélération et à la nociception du genou [12][13]. En 1987, Solomonow et al démontrent chez l'homme l'existence d'une boucle réflexe entre les mécanorécepteurs du LCA et les IJ. Les auteurs émettent à l'époque l'hypothèse que les IJ permettent de réguler la tension imposée au ligament et donc de stabiliser et protéger le genou [14]. Cette hypothèse est par la suite confirmée et différents délais musculaires sont mis en évidence après une stimulation du LCA par des électrodes stimulatrices insérées en son sein [15].

Le délai reflexe des IJ est un bon outil pour évaluer l'état neuromusculaire du genou. En 1994, Beard et al étudient ce délai chez des sujets qui ont subi une lésion du LCA et comparent ce délai avec la jambe saine de ces mêmes sujets. Ils retrouvent une réponse plus longue de 40ms du côté atteint et mettent en lumière la corrélation qui existe entre l'augmentation du délai et l'instabilité de genou des sujets en corrélant le délai au score fonctionnel [16]. En 1985, Walla et al avaient déjà fait le lien entre un haut niveau réflexe des IJ et un haut score fonctionnel [17].

Pour améliorer ce délai reflexe de recrutement des IJ, le renforcement musculaire classique n'a pas démontré d'efficacité. Ihara et al cherchent dès 1986 à introduire un phénomène de perturbation pour améliorer spécifiquement les IJ sur leur délai de contraction. Ils établissent ce protocole de manière à améliorer le statut fonctionnel de leurs patients [18].

A l'instar d'Ihara et al, nous avons souhaité évaluer si une rééducation basée sur une perturbation permet de diminuer le temps de latence entre le LCA et les IJ. Comme nous l'avons vu précédemment, le statut fonctionnel de certains patients peut leur permettre d'éviter la chirurgie et d'améliorer leurs capacités fonctionnelles par la rééducation. Pour créer cette perturbation, nous avons choisi de travailler à l'aide du principe du quick-release (QR).

La technique du quick-release (QR), ou détente rapide, est au départ utilisée pour étudier l'élasticité musculaire des muscles fléchisseurs du coude. Cette méthode consiste à relâcher brusquement un muscle qui est au départ en contraction isométrique. La libération du muscle permet ainsi une restitution d'énergie cinétique qui était auparavant contenue lors de la contraction isométrique en énergie élastique [19]. Cette même méthode est utilisée sur les extenseurs de genoux en 1998 par Cornu et al [20]. Cet outil paraît intéressant pour créer une perturbation sans pour autant que celle-ci ne soit délétère pour le patient (à la différence d'une accélération générée par un impact à la partie postérieure du tibia par exemple). L'autre intérêt de cet outil est sa simplicité d'utilisation. De plus, il nécessite un minimum de matériel lors de notre prise en charge en cabinet.

Le but de cette étude est d'évaluer si une rééducation spécifique basée sur une perturbation consistant en une accélération rapide en extension du genou peut permettre de diminuer le délai réflexe de recrutement des IJ chez des sujets sains. Nous émettons l'hypothèse qu'un entraînement de type QR peut permettre de diminuer le délai d'activation des IJ chez ces sujets.

2- METHODOLOGIE

1. Population

Nous avons recruté 18 sujets, 9 femmes et 9 hommes, tous étudiants dans les différentes promotions de l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Montpellier (IFMK). Nos critères d'inclusion et de non inclusion étaient les suivants : Avoir entre 18 et 27 ans, pratiquer une activité physique régulière (3 fois par semaine maximum) et n'avoir aucun antécédent de blessure quelconque aux deux genoux (tableau 1).

	Groupe Témoin	Groupe Quick Release
Nombre	9	9
Âge (années)	21,4 +/- 1,8	22,3 +/- 2,2
Sexe	5 femmes, 4 hommes	4 femmes, 5 hommes
Taille (cm)	175,1 +/- 8,8	177,6 +/- 9,6
Poids (kg)	68,3 +/- 9	78,1 +/- 23
Côté dominant	8 droitiers (88,9%) 1 gaucher (11,1 %)	7 droitiers (77.8%) 2 gauchers (22.2%)

Tableau 1 : Caractéristiques des sujets de l'étude

2. Protocole de mesure

Les sujets réalisaient une séance de mesures sur appareil d'isocinétisme de type Con-Trex© avant et après la rééducation. Chaque test isocinétique était précédé d'un échauffement de 10 minutes sur cyclo-ergomètre.

Le sujet était installé sur le siège de la machine, hanche fléchie à 80°, la cuisse était attachée à la machine pour que le sujet ne travaille qu'au niveau du genou et évite ainsi toute compensation. De la même façon, deux ceintures permettaient à son dos de rester plaqué tout au long des tests.

La séance était ensuite composée de trois essais de contraction concentrique (à 120°/s, 90°/s et 60°/s), d'un test concentrique à 60°/s, d'un essai et d'un test concentrique à 240°/s, d'un essai en excentrique à 30°/s et du test correspondant.

Enfin, nous réalisons un kick-test : La machine balayait en flexion-extension une amplitude de 80° à partir de la position d'extension maximum du sujet. Il était demandé au sujet de se relâcher lors de ce mouvement de flexion-extension passif puis de contracter le plus vite et le plus fort possible ses IJ lorsqu'il sentait une accélération brusque de la machine sur la phase d'extension. Le test était là encore précédé d'une série d'essais à vocation de familiarisation avec le type de perturbation. La machine effectuait 10 mouvements de flexion-extension et la stimulation était déclenchée par l'opérateur à 5 reprises de manière aléatoire, un tirage aléatoire étant au préalable effectué via le logiciel excel. La perturbation était appliquée à deux amplitudes : la première 70° en deça de l'extension maximale du patient et la seconde 20° en deça de l'extension maximale de manière à étudier le délai réflexe à la fois en course interne et en course externe.

3. Protocole de rééducation

Les sujets étaient ensuite répartis en deux groupes de 9 patients : Un groupe témoin (T) et un groupe Quick-release (QR). Les deux groupes suivaient 10 séances de rééducations sur quatre semaines à la fréquence de trois séances lors des trois premières semaines et d'une dernière séance lors de la quatrième semaine. Nous réalisons également au cours de cette dernière semaine les mesures finales sur appareil d'isocinétisme.

Les séances étaient composées de la façon suivante: Le groupe T suivait une rééducation de renforcement musculaire excentrique en force des IJ à l'aide d'élastiques de tensions différentes auxquels nous ajoutons en série un dynamomètre. Cela nous permettait d'évaluer la force développée par nos sujets. Nous évaluions au début des séances la force maximale des sujets en utilisant le test de répétition unique maximale (1-RM) [21]. Nous avons cinq élastiques de résistance croissante permettant ainsi de pouvoir nous adapter à la force de chaque sujet.

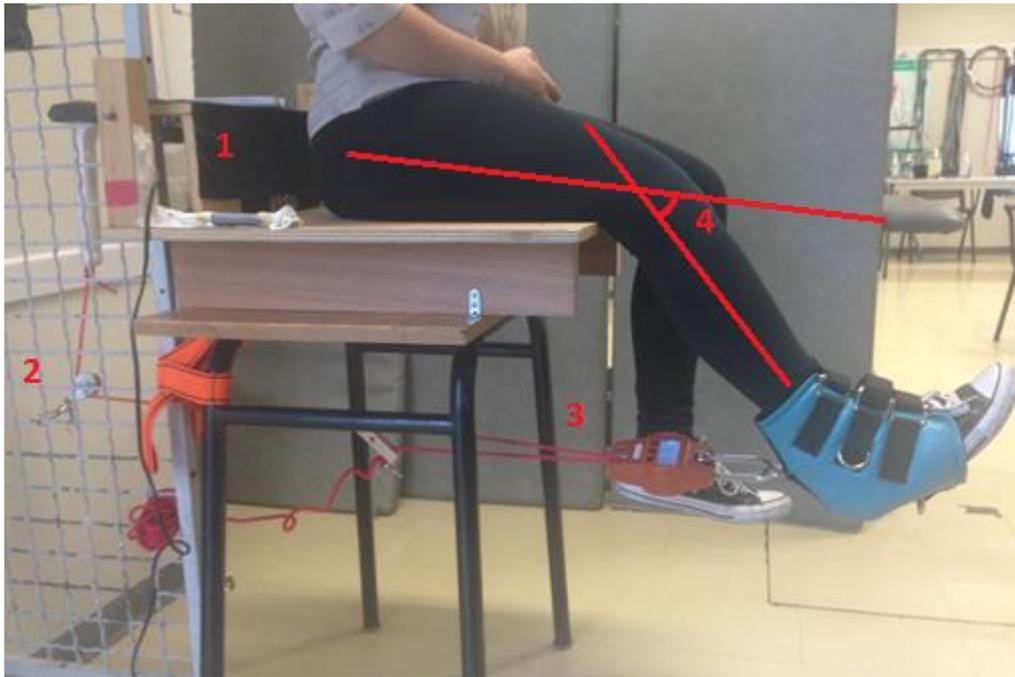


Figure 1 : Dispositif de l'exercice de Quick-Release (1 : Electro-aimant ; 2 : Poulie ; 3 : Dynamomètre ; 4 : angle de perturbation de 45°)

Les sujets étaient installés sur le bord d'une table de rééducation avec un espace de deux travers de doigts entre le bord de la table et la partie postérieure de leur tibia de manière à laisser un espace de confort suffisant à leurs mouvements. La cuisse des sujets était plaquée contre la table de rééducation à l'aide d'une sangle pour éviter toute compensation. Les pieds des sujets ne touchaient pas le sol, la cheville était reliée à un élastique couplé au dynamomètre et chacun d'entre eux réalisait sous contrôle de l'opérateur, pour chaque jambe, 6 séries de 5 répétitions en excentrique à 120% de la 1-RM [22]. La consigne donnée à chaque sujet était de freiner l'extension induite par l'élastique.

La tension de l'élastique diminuant avec le raccourcissement de celui-ci, nous considérons la répétition terminée quand le dynamomètre nous indiquait 90% de la 1-RM du sujet ; Une fois la répétition effectuée, l'opérateur replaçait la jambe du sujet à 120% de la 1-RM pour la répétition suivante. Chaque série était séparée de la suivante par 3 minutes de récupération pour limiter l'impact de la fatigue musculaire [23].

Le groupe QR suivait quant à lui une rééducation de renforcement musculaire excentrique en force similaire à l'autre groupe sur la jambe gauche. Sur la jambe droite, il réalisait 3 séries de 5 répétitions sur le même principe que précédemment et 3 séries de 5 répétitions de l'exercice basé sur le principe du quick release : Les sujets étaient installés sur un support rigide lui-même posé sur une table rigide également, deux travers de doigts séparant l'arrière de leur tibia et le support. Leurs chevilles étaient reliées à une sangle, elle-même reliée à une élingue et à un dynamomètre. L'élingue était reliée à un dispositif d'électro-aimant que nous pouvions déclencher à l'aide d'un bouton poussoir. Nous positionnions les sujets avec le genou droit à 45° de flexion et il leur était demandé de maintenir une contraction isométrique en extension contre une résistance de 10kgs que nous contrôlions via le dynamomètre. Les sujets devaient, lors de l'arrêt de l'électro-aimant, qui intervenait de manière aléatoire, et qui générait l'interruption de la résistance, lutter le plus vite et le plus fort possible contre l'extension de leur jambe (Figure 1). Nous disposions d'un bouton poussoir ne créant aucun bruit au déclenchement de manière à ne pas informer le patient que la stimulation était imminente. Là encore, chaque série était suivie de 3 minutes de repos.

Les deux groupes réalisaient ainsi le même nombre de répétitions et le même nombre de séries de manière à ne pas biaiser nos résultats (figure2). Chaque séance était précédée d'un échauffement de 10 minutes sur cyclo-ergomètre.

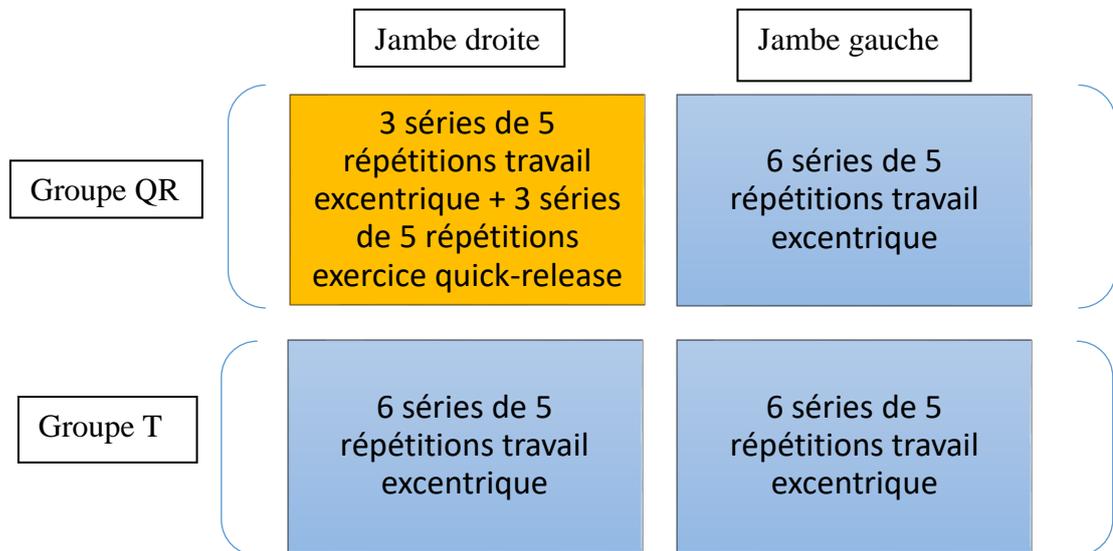


Figure 2 : Illustration de la rééducation pour chaque groupe de patients

4. Recueil des données

A partir du test isocinétique, nous avons recueilli la force en concentrique à 60 et 240°/s et la force en excentrique à 30°/s directement via le logiciel de l'appareil ce qui nous permettait d'obtenir la force avant et après la rééducation sur les différentes vitesses et le pourcentage de changement avant/après rééducation.

Concernant le délai réflexe, nous avons recueilli le pic correspondant au laps de temps entre le début de stimulation par la machine et la force maximale développée par le sujet en réponse à cette stimulation. Nous avons également recueilli le délai entre le début de la perturbation et la production par le sujet d'une force supérieure à un seuil « 2 DS » que nous avons défini comme suit : ce seuil est égal à la force de résistance passive de la jambe lors du déclenchement de la perturbation, à laquelle nous avons ajouté un écart de 2 déviations standards. Cette déviation standard était mesurée sur les 40 ms précédant la perturbation.

Le pic et le 2DS ont été extraits via un tableur excel nous permettant de les exporter d'après les données brutes de la machine et d'obtenir pour une même angulation de perturbation les données comparatives des deux jambes. Nous obtenions les courbes de réponses de nos sujets ainsi que les délais et sélectionnions ensuite les courbes pouvant être exploitées. Un minimum de deux courbes sur cinq devait être exploitable pour que le sujet puisse être comptabilisé dans les résultats de notre étude. Nous réalisions ensuite les moyennes des délais associées à chaque courbe pour chaque sujet. Puis, nous avons calculé la différence entre les délais effectués en pré-rééducation et ceux effectués en post-rééducation ce qui nous permettait d'obtenir le pourcentage de gain par rapport aux valeurs de pré-rééducation.

5. Statistiques

Pour réaliser nos statistiques, nous avons utilisé l'analyse de variance multiple ANOVA (MANOVA) pour l'effet principal en utilisant deux variables : La variable « pré/post rééducation à une angulation donnée » et la variable « droite/gauche » nous permettant de comparer la significativité de nos résultats entre les groupes à une angulation donnée et la significativité entre l'avant et l'après rééducation. Nous avons également comparé la significativité de la différence de gain de délai réflexe entre les deux groupes. Enfin, nous avons étudié la significativité des mesures de force. Nous avons utilisé le test de Newman-Keuls lors de notre analyse des délais et le test HSD de Tukey pour l'analyse de la force. Le niveau de significativité pour toutes les comparaisons a été fixé à $p \leq 0,05$.

3- RESULTATS

Pour être pris en compte dans nos résultats, les sujets devaient avoir suivi l'ensemble des séances de rééducation fixées au départ. Ainsi, deux sujets ont été exclus de l'étude, le premier (groupe T) ayant manqué 5 séances au cours des 4 semaines de rééducation et le second (groupe QR) ayant manqué 8 séances.

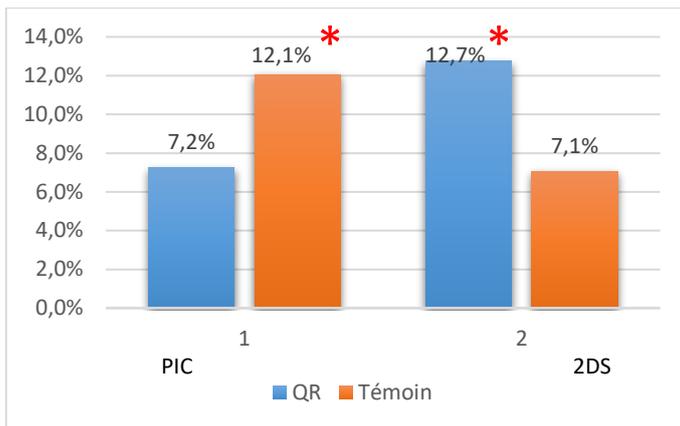
1. Résultats des perturbations à 70° de flexion

Concernant le délai réflexe, nous avons calculé le gain global des sujets de chaque groupe en réalisant la moyenne des gains des jambes gauche et droite. Puis, nous avons étudié le gain pour chaque jambe de manière à déterminer si notre rééducation induisait un gain croisé au niveau cortical. Un gain correspondait à une diminution du délai, qu'il soit mesuré au pic ou à 2DS.

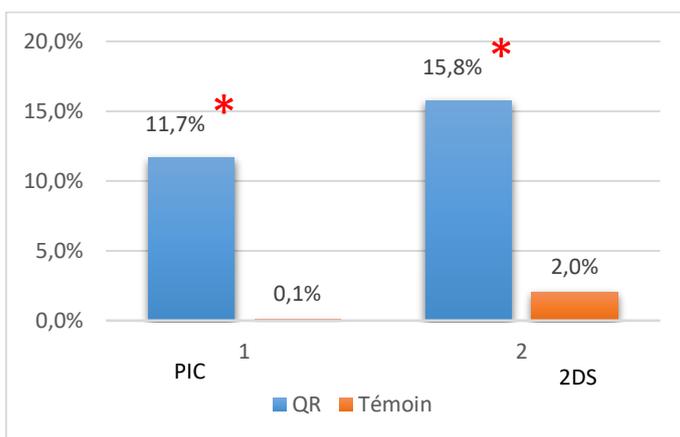
Lorsque la perturbation était appliquée à 70° de flexion de genou, pour le groupe QR, nous retrouvions un gain global de 9.45% pour le pic et de 14.25% à 2DS. Pour le groupe T, nous retrouvions un gain global de 6,1% pour le pic et de 4.55% à 2DS. Nous observions donc un gain global plus important pour le groupe QR et ce, sur les deux mesures. La différence de gain entre les deux groupes en additionnant les deux côtés n'était néanmoins pas significative (**p=0,46**).

En analysant individuellement chaque jambe dans le groupe QR, nous constatons qu'il existait un gain non seulement du côté ayant bénéficié de l'entraînement par QR (jambe droite) mais également du côté contro-latéral n'ayant bénéficié que d'un programme de renforcement musculaire excentrique classique (graphique 1 et 2).

Statistiquement, le gain au pic sur la jambe gauche des sujets du groupe QR était significatif (**p=0.014**), tout comme les gains observés au seuil de 2DS (**p=0.02 à droite ; p=0.009 à gauche**). En revanche, le gain au pic n'était pas significatif pour la jambe droite des sujets du groupe QR (**p=0.13**).



Graphique 1 : Pourcentage de gain du délai réflexe à droite, lors d'une perturbation à 70° de flexion, par rapport à la valeur initiale en pré-rééducation (l'astérisque met en évidence la significativité de la valeur)



Graphique 2 : Pourcentage de gain du délai réflexe à gauche, lors d'une perturbation à 70° de flexion, par rapport à la valeur initiale en pré-rééducation (l'astérisque met en évidence la significativité de la valeur)

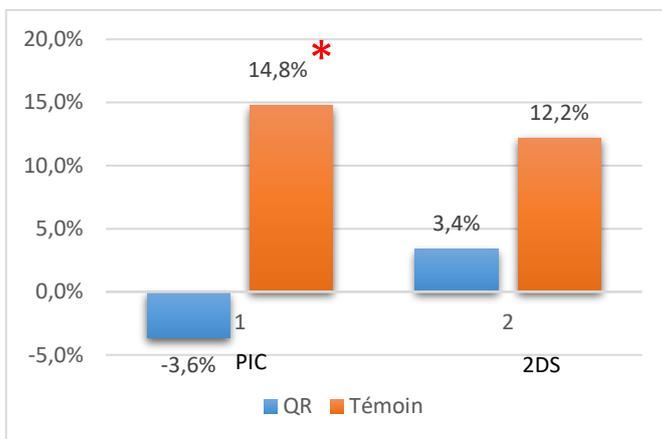
2. Résultats des perturbations à 20° de flexion

Lorsque la perturbation était appliquée à 20° de flexion de genou, pour le groupe QR, nous retrouvons une augmentation du délai global de 2.2% alors que l'on retrouvait un gain de 1,6% à 2DS.

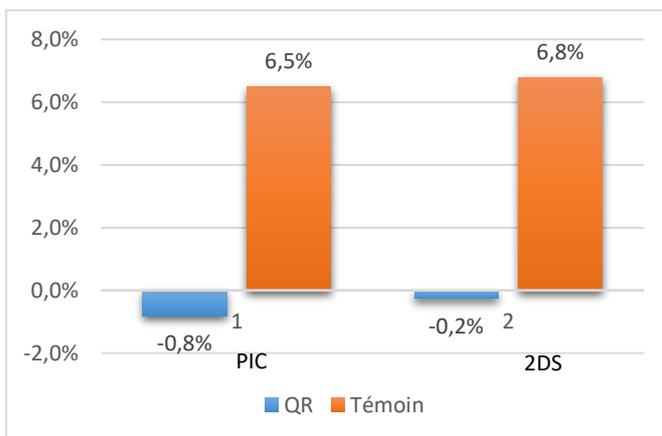
Pour le groupe T, nous retrouvons un gain de 10.65% au pic et de 9.5% à 2DS. Le gain global était donc ici plus important pour le groupe T.

Mais là encore, la différence de gain en additionnant les deux côtés n'était pas significative ($p=0,9$).

En analysant chaque jambe, nous constatons que les sujets du groupe QR voyaient leurs délais augmenter pour les pics gauche et droit et pour le 2DS gauche, seul le 2DS droit voyait sa valeur s'améliorer faiblement (3,3%). Pour le groupe T, l'ensemble des résultats montrait un gain, au pic et à 2DS (graphiques 3 et 4). Statistiquement, seul le gain au pic du groupe T était significatif ($p=0,0008$) à 20°.



Graphique 3 : Pourcentage de gain du délai réflexe à droite, lors d'une perturbation à 20° de flexion, par rapport à la valeur initiale en pré-rééducation (l'astérisque met en évidence la significativité de la valeur)



Graphique 4 : Pourcentage de gain du délai réflexe à gauche, lors d'une perturbation à 20° de flexion, par rapport à la valeur initiale en pré-rééducation (l'astérisque met en évidence la significativité de la valeur)

3. Résultats en force

Concernant les résultats du travail de renforcement, nous avons observé chez les sujets du groupe T un gain de force, que ce soit en concentrique ou en excentrique même si ce dernier est plus marqué (Tableau 2). Nous avons également observé un gain dans le groupe QR, mais dans ce groupe, les gains moyens sont moins importants que ceux du groupe T pour 4 des 6 résultats. Seuls les résultats en concentrique à 60°/s sur la jambe gauche du groupe QR montrent une perte de force (Tableau3).

Statistiquement, seule la différence entre les résultats concentriques gauches à 60°/s était significative ($p=0.025$) en faveur du groupe T.

T	Côté droit	Côté gauche
Excentrique 30°/s	6,84%	13,61%
Concentrique 60°/s	6,31%	11,00%
Concentrique 240°/s	8,00%	8,80%

Tableau 2 : Moyennes des résultats en termes de force pour le groupe T exprimées en pourcentage de gain post/pré.

QR	Côté droit	Côté gauche
Excentrique 30°/s	6,75%	4,90%
Concentrique 60°/s	7,15%	-10,84%
Concentrique 240°/s	16,85%	3,21%

Tableau 3 : Moyennes des résultats en termes de force pour le groupe QR exprimées en pourcentage de gain post/pré.

4- DISCUSSION

1. Analyse critique des résultats

Notre étude montre que le délai reflexe des ischio-jambiers peut être amélioré par un travail de perturbation de type Quick-Release chez des sujets sains en course interne mais qu'en revanche, aucune conclusion ne peut être tirée en course externe chez ces mêmes sujets. Concernant la différence de gain entre les deux groupes étudiés, même si nos résultats expriment une tendance en faveur du groupe QR (3,35% de gain supplémentaire au pic et 9,7% à 2DS pour le groupe QR), la différence de gain entre les deux groupes de notre étude n'est pas significative.

Les valeurs des délais retrouvés dans notre étude correspondent à des délais de réponses volontaires chez des sujets sains [24]. En effet, 3 sortes de délai réflexe sont retrouvés dans la littérature : Une réponse médullaire monosynaptique de 20 à 120ms, une réponse intermédiaire de 130 à 170ms et enfin une réponse volontaire de 220 à 360ms. Tsuda et al retrouvent des valeurs similaires [15]. Dans notre cas, nous observons des valeurs allant pour le pic en moyenne de 240 à 480ms à 70° de perturbation et de 180 à 370ms à 20° de perturbation, la course externe présentant donc des délais moindres.

Cependant, il faut noter que les valeurs des auteurs cités précédemment ont été retrouvées à l'aide d'un dispositif d'électromyographie (EMG). Ce dispositif permet de relever l'ensemble des réponses décrites dans la littérature alors que dans notre étude, nous mesurons une production de force réflexe avec donc des délais logiquement plus longs. Le délai de production de force que nous mesurons comprend le délai d'activation électro-myographique classiquement étudié dans la littérature, auquel s'ajoute le délai électro-mécanique de production de force par le muscle. La réponse monosynaptique ne semble pas générer une force suffisante pour induire une protection du ligament [14] et n'apparaît donc pas la donnée la plus importante à exploiter dans notre étude à la différence de la réponse volontaire [18]. De plus, nous ne savons pas si l'isocinétisme peut déceler la réponse induite par le réflexe monosynaptique.

En revanche, la réponse intermédiaire aurait été intéressante à étudier, celle-ci semblant être à l'origine de programmes moteurs complexes permettant une bonne coordination au cours d'une activité [25]. Cependant, dans notre étude, nous nous sommes concentrés sur le délai du milieu de la réponse musculaire et non pas sur l'initiation de celle-ci. Ce choix s'explique en partie par les difficultés rencontrées pour extraire ce début de réponse musculaire du « bruit » environnant lié au poids de la jambe lors du mouvement passif d'extension du genou. Ainsi, nous avons mesuré le délai lorsque la force produite dépassait la valeur moyenne de la force produite avant la perturbation, à laquelle nous avons ajouté une valeur de « sécurité » de 2 déviations standards. De fait, il est possible que nos futurs travaux, une fois les difficultés rencontrées écartées, permettent d'obtenir la réponse intermédiaire des IJ à la suite d'une perturbation par la machine.

Les gains des délais réflexes sont significatifs chez les sujets du groupe QR à 70° de flexion sur 75% des valeurs que nous avons mesurées. Nous pensons que ce gain est généré par notre entraînement de stimulation Quick-Release et que celui-ci, à l'instar du travail de renforcement, peut avoir entraîné un gain croisé sur la jambe controlatérale de nos sujets par des médiations corticales [32]. En effet, la jambe gauche de nos sujets QR montre une amélioration du délai au pic et à 2DS alors que nous n'avons pas effectué de travail spécifique dédié à la vitesse de réaction des IJ sur cette jambe gauche. Seul un résultat est significatif pour le groupe T, pour le pic à droite. Malgré une tendance dans nos résultats, nous n'obtenons pas de chiffres significatifs lorsque nous comparons les différences de gains entre les deux groupes de sujets. Cette supériorité de l'entraînement par QR par rapport à un entraînement conventionnel aurait peut-être pu apparaître statistiquement significative si les effectifs de chaque groupe avaient été plus importants.

Lors d'une stimulation à 20° de flexion, aucun résultat n'est significatif pour notre groupe QR, un seul pour le groupe T, pour le pic droit. Nous pouvons essayer d'expliquer cette absence de gain significatif par le fait que nous avons effectué une rééducation neuromusculaire ayant entraînée préférentiellement une stimulation du fuseau neuromusculaire (FNM) de nos sujets par rapport aux mécano-récepteurs articulaires [26].

Nous pensons que le FNM est le capteur proprioceptif le plus impliqué en course interne et moyenne alors que les informations en course externe proviennent essentiellement de la capsule articulaire et des ligaments. Il est donc logique que le résultat d'un entraînement ciblant le FNM s'exprime préférentiellement dans le secteur angulaire (70° de flexion) dans lequel le FNM est le capteur proprioceptif préférentiel. De plus, nous constatons que les valeurs pour les pics aux alentours de 70° sont nettement supérieures à celles trouvées à 20°, ces dernières étant proches des 200ms. Cette différence de latence de recrutement des IJ dans deux secteurs angulaires différents plaide également pour des voies réflexes différentes, ou tout du moins des capteurs différents.

Une autre explication possible de l'absence d'amélioration du délai de recrutement des IJ en course externe (20° de flexion) est de considérer que les valeurs en course externe sont les valeurs limites pouvant être retrouvées chez des sujets sains et ne pouvant de fait pas être améliorées. Comme nous le verrons plus bas, pour essayer de répondre à cette hypothèse, un travail similaire avec des sujets présentant une lésion du LCA est en cours pour permettre d'apporter des informations supplémentaires. Enfin, l'absence de résultat à 20° de flexion peut s'expliquer par le fait que nous avons réalisé notre protocole de stimulation à 45°, soit en course moyenne, n'ayant ainsi eu que peu d'impact sur les mécanorécepteurs ligamentaires, capsulaires.

Ihara et al [18] utilisent le même mode d'évaluation sur appareil isocinétique après une période de rééducation en perturbation en entraînant une stimulation rapide de 210°/s chez des sujets ayant subi une lésion du LCA ou ressentant une instabilité. Ils positionnent ceux-ci à 90° de flexion de genou dans leur étude, soit dans la même course musculaire que pour notre travail, et provoquent l'accélération jusqu'à 70° de flexion de genou. Ils enregistrent une diminution du Peak Torque Time (L'équivalent du délai du pic dans notre étude) de 15,5% après 12 semaines de travail pour une moyenne de 284ms de délai en post rééducation. Ce délai en post-rééducation est similaire à nos résultats de délais à 20° de flexion dans les deux groupes QR et T, sur les deux jambes.

Il est intéressant de noter que, contrairement à notre étude, les résultats de Ihara et al sont insignifiants après 4 semaines de rééducation et ce, malgré le fait que les sujets de leur étude réalisent 4 séances par semaine. En effet, après 4 semaines, le Peak Torque Time passe de 336ms à 328ms soit 8ms de gain. Il faut attendre 12 semaines pour obtenir le délai de 284ms cité auparavant. De plus, cette étude se base sur 4 patients seulement en dehors du groupe témoin ce qui constitue une limite importante.

Beard et al [27] étudient eux aussi le recrutement rapide des IJ lors d'une rééducation en utilisant deux groupes comme nous l'avons fait : un groupe témoin et un groupe test dont l'objectif est d'obtenir une contraction rapide des IJ et d'augmenter la stabilité dynamique des sujets. Ils utilisent pour leur part l'activité EMG permettant de mesurer le délai de mise en activité électrique du muscle, sans étudier cependant le délai électro-mécanique traduisant la transformation de l'information électrique en production de force. Cette différence de méthodologie ne nous permet pas de comparer nos valeurs finales. Sur une cohorte de sujets plus importante (N=50), les auteurs voient le délai reflexe des sujets du groupe test s'améliorer de 40ms pour seulement 14ms pour le groupe témoin ayant travaillé en force et ce après 12 semaines de rééducation, à raison de 2 séances hebdomadaires. En parallèle de ce gain de délai reflexe plus important dans le groupe de travail spécifique, les auteurs observent une amélioration là aussi plus importante du score fonctionnel (Lysholm score) des sujets.

En calculant le pourcentage de gain des sujets du groupe test, nous retrouvons un chiffre bien supérieur au nôtre avec 53% contre 11,7% pour le pic gauche de nos sujets QR. Cependant, l'étude a été réalisée sur des sujets présentant une lésion du LCA et comme nous l'expliquions au-dessus, il est probable que la marge de progression de ceux-ci soit plus importante que pour des sujets sains. Tout comme l'étude d'Ihara et al, les auteurs mettent en place dans leur protocole différents exercices dont certains réalisés en charge et en chaîne fermée ce qui constitue là encore une différence de méthodologie avec notre travail.

La mise en place d'un programme de rééducation, basé notamment sur des perturbations, lors d'une lésion du LCA chez certains patients, permet aux individus qui en bénéficient de retrouver un bon niveau d'activité. Bien que les mécanismes sous-jacents ne soient pas entièrement connus, il semble que ce genre de rééducation permette une adaptation neuromusculaire à l'origine de nouvelles stratégies musculaires [28]. En effet, les sujets ne faisant pas face à une rupture du LCA présentent majoritairement une stratégie de co-contraction musculaire. Ces sujets rigidifient leurs genoux, fléchissent moins ceux-ci et réduisent ainsi la course articulaire. Il en résulte une stratégie neuromusculaire non adaptée ne permettant pas de sélectionner judicieusement le bon groupe musculaire à activer lors de la marche [29][30]. Même si cette stratégie présente des garanties indéniables en termes de stabilité à court terme, les résultats à long terme peuvent s'avérer dévastateurs car néfastes pour le cartilage. Une rééducation via des stimulations par perturbation pourrait permettre d'enrayer ce phénomène en augmentant la stabilisation dynamique des sujets. Fitzgerald et al [28] retrouvent ainsi qu'un sujet ayant suivi un programme de perturbation a 5 fois plus de chances de retrouver un haut niveau d'activité fonctionnelle par rapport à un sujet ayant suivi un programme classique. Dans leur étude, 11 des 12 sujets ayant participé ont eu une rééducation réussie c'est-à-dire suivie d'une absence d'épisode d'instabilité. Les auteurs rappellent néanmoins qu'une rééducation de ce type doit être précédée d'un examen clinique permettant de choisir judicieusement les patients ayant une chance de réussir un tel programme. Un examen clinique comprenant des sauts unipodaux (single-limb hop tests), un score fonctionnel (Knee Outcome Survey's Activities of Daily Living Scale), une évaluation globale du genou (douleurs, liberté articulaire, force du quadriceps...) et le nombre d'épisodes d'instabilité du patient depuis sa blessure.

Chwleski et al [29] ont mis au point un système de plateforme pouvant translater dans la direction choisie et ainsi créer une perturbation en charge sur un parcours de marche ce qui crée ainsi un système plus proche de la fonction. Là encore, la stratégie des patients évolue vers une stabilisation dynamique du genou rapprochant les sujets de l'étude d'un groupe contrôle en termes de course articulaire et de diminution des co-contractions. Ces études sont basées sur l'analyse vidéo de la marche des patients, sur l'activité EMG des muscles, pour évaluer les co-contractions, et sur le ressenti des patients.

L'analyse des délais de contractions des IJ des deux études citées précédemment aurait été intéressante pour évaluer l'évolution du délai après leurs programmes respectifs.

Concernant le travail de renforcement musculaire effectué au cours de nos séances, nos deux groupes montrent des améliorations en termes de force produite. Ces gains sont plus marqués dans le groupe T en excentrique du fait du type de renforcement effectué au cours de la rééducation ce qui témoigne donc de la spécificité de notre travail musculaire excentrique [31]. Un gain plus important dans le groupe T (sur 4 de nos 6 valeurs) nous paraît également logique, le groupe QR ayant bénéficié de moins de séries de renforcement du côté droit au cours de nos séances et donc d'un renforcement global moindre. Il faut en effet prendre en compte le renforcement musculaire croisé ayant pu intervenir et ainsi modifier les valeurs de la jambe controlatérale [32].

2. Limites de l'étude

En marge de ces résultats prometteurs, notre étude présente cependant certaines limites :

Du fait des contraintes matérielles (utilisation de la salle de rééducation de l'IFMK, de l'appareil d'isocinétisme) et des horaires de chaque élève ayant participé à notre étude, nous avons décidé de ne réaliser que 10 séances de rééducation, en accord cependant avec les données de la littérature [28][29]. Nous avons regroupé celles-ci sur 4 semaines en séparant chacune d'entre elles d'un jour de récupération minimum. Cependant, nous ignorons si la durée et le volume de notre programme de rééducation sont suffisants pour induire un changement dans les mécanismes neuro-musculaires que nous avons travaillé et si ces résultats sont pérennes dans le temps. D'autres auteurs ont réalisé davantage de séances, jusqu'à 48 sur 12 semaines [18]. Une seconde mesure isocinétique à distance de la rééducation aurait été intéressante à effectuer pour évaluer si notre résultat se maintenait dans le temps.

Nous n'avons pas pu suivre l'évolution de nos sujets au fil des séances. En effet, il aurait été intéressant d'avoir un retour sur les progrès ou les régressions de ceux-ci au cours de la rééducation. Il aurait fallu mettre en place un système vidéo avec un repère permettant d'évaluer la vitesse de réaction du patient ou disposer d'une installation plus élaborée mais cette méthode était trop coûteuse en temps lors de la réalisation de notre étude. Il aurait également été pertinent de faire passer plusieurs sessions sur la machine d'isocinétisme pour contrôler l'évolution mais là encore, les contraintes de temps et de matériel citées au-dessus nous en ont empêchées.

Notre cohorte de sujets s'avère être relativement faible avec 16 patients ayant terminé la rééducation et suivi l'ensemble des séances. Nos critères d'inclusion ainsi que la nécessité de suivre une période de rééducation de 4 semaines pour notre protocole ne nous ont pas permis de recruter d'avantage de sujets. En comparaison avec la littérature, notre cohorte semble donc moins importante [27][28][29] ce qui peut avoir influé sur la significativité de certains de nos résultats, notamment sur la supériorité du gain de délai dans le groupe QR en comparaison avec le groupe T.

Une autre limite de notre travail réside dans la manière de tester et de rééduquer nos sujets en utilisant la position assise. En effet, l'instabilité des patients atteints d'une lésion du LCA intervient en charge et non en décharge. Cependant, nous souhaitons disposer d'un mécanisme simple d'utilisation et nous permettant de quantifier la tension que nous imposons aux sujets via le dynamomètre. La position assise répondait le mieux à l'exercice que nous voulions faire réaliser au patient dans le groupe QR. Pour évaluer le délai, d'autres méthodes d'évaluation plus fonctionnelles sont décrites dans la littérature en utilisant la mise en charge du patient et en entraînant un choc à la partie postérieure du tibia pour stimuler le LCA, la mesure étant effectuée sous EMG [16]. Récemment, Harnoist [33] a développé un système permettant de simuler une chute avec réception monopodale mais ce dispositif n'a été essayé que sur un seul patient et n'a pas démontré pour le moment sa reproductibilité.

En ce qui concerne la reproductibilité des mesures du délai réflexe des IJ par le dispositif isocinétique de notre étude, nous nous appuyons sur des données de reproductibilité d'une étude en cours de publication dans le service de Médecine Physique et de Réadaptation par le Docteur de Labachellerie qui a montré des coefficients de corrélation intra-classe satisfaisants.

Concernant la rééducation en tant que telle, comme nous le développons plus haut, il aurait peut-être été intéressant d'effectuer le travail de stimulation en course externe également, pour essayer de stimuler les mécanorécepteurs et ainsi peut-être agir sur une autre structure que le FNM. De plus, cette course externe proche de l'extension du genou constitue une position biomécanique dans laquelle surviennent de nombreuses lésions du LCA.

Enfin, un autre fait à mentionner est l'apprentissage que nous n'avons pas pris en compte avec nos patients : en effet le type de perturbation utilisé étant peu habituel, il est fort possible qu'entre le test pré-rééducation et celui post-rééducation un apprentissage soit apparu, faussant un peu les résultats post-rééducation (gain non pas dû au programme rééducatif mais au simple phénomène d'apprentissage). Un second test isocinétique en pré-rééducation aurait été intéressant pour palier à l'apprentissage des sujets. Dans son étude, Harnois évalue le délai d'activation monosynaptique chez un sujet sain sur trois jours successifs. Lors de la première journée, celui-ci est de 71ms puis passe à 61ms le second jour pour finir à 58ms le troisième [33]. Il est donc possible que certaines valeurs de pré-rééducation plus importantes que celles décrites dans la littérature soient liées à ce phénomène. Un de nos sujets a ainsi enregistré un gain très important de pré de 100ms dans le groupe T à 70° de stimulation, avec un délai en pré-rééducation de 478ms. La moyenne du groupe étant de 366 ms. Cependant, cette notion d'apprentissage est sûrement à nuancer dans notre étude car le délai entre le 1^{er} et le 2^{ème} test est de l'ordre de 4 semaines, rendant beaucoup plus faible ce risque d'apprentissage.

3. Perspectives

L'évaluation des patients par l'analyse du délai de contraction des ischio-jambiers semble être un outil prometteur dans la routine clinique.

Comme nous l'expliquions auparavant, il serait intéressant de poursuivre la recherche autour du principe du quick-release en s'intéressant à des sujets ayant subi une lésion du LCA. Une autre étude en cours dans le service a pour objectif de rechercher une telle modification des délais chez des sujets présentant une rupture du LCA opérée ou non. Si les délais se trouvaient altérés dans cette population, une rééducation du type de celle de notre groupe QR pourrait leur être proposée afin d'essayer de normaliser ces délais de et se rapprocher de ceux des sujets sains.

Il serait également intéressant de coupler le travail de perturbation à un score fonctionnel à l'instar d'autres auteurs pour évaluer le retentissement de notre rééducation sur les activités du patient. Avoir un suivi de la rééducation permettant d'évaluer les éventuels progrès de nos sujets au fil des séances serait également intéressant.

Enfin, une prise en charge plus longue et comprenant plus de patients permettrait d'avoir un retour sur le long terme de notre prise en charge mais également d'augmenter la significativité de nos résultats.

5- CONCLUSION

Nous souhaitons à travers notre travail évaluer si une rééducation basée sur une perturbation rapide en extension de genou permettait d'améliorer le délai réflexe de contraction des IJ chez des sujets sains.

Notre travail a montré des résultats significatifs d'amélioration de délai réflexe en course interne mais aucune conclusion ne peut en revanche être tirée en course externe. De plus, nous avons constaté que la diminution de délai était bilatérale alors que nous n'avons travaillé avec le principe du QR que sur une seule jambe de nos sujets. Il semble donc y avoir un gain croisé au niveau cortical avec notre exercice. Cet élément est intéressant car il pourrait permettre de commencer précocement un travail de rééducation chez des sujets ayant subi une lésion du LCA. Cependant, la différence de gain entre les deux groupes de sujets étudiés, même si elle présente une tendance en faveur du groupe QR, n'est pas statistiquement significative ce qui est une limite à notre travail.

Un travail de perturbation de type QR pourrait permettre chez des sujets présentant une rupture du LCA, opérée ou non, d'améliorer le délai d'activation des IJ et ainsi d'améliorer leurs capacités fonctionnelles. Une étude est actuellement en cours dans le service de Médecine Physique et de Réadaptation pour analyser les délais dans un groupe de sujets présentant une lésion, avec l'hypothèse initiale de délais prolongés chez ces patients.

Une cohorte plus importante de sujets lors de notre travail aurait peut-être permis d'augmenter la significativité et ainsi comparer la différence de gain exprimée en millisecondes entre un groupe suivant une rééducation classique et un groupe de sujets Quick-Release.

Une prochaine étude est envisagée afin d'étudier les effets de notre protocole sur un groupe de sujets présentant une lésion du LCA. Cela nous permettrait ainsi de mettre notre outil, nécessitant peu de matériel et simple d'utilisation, à disposition de la rééducation au quotidien.

BIBLIOGRAPHIE:

[1]: Boden BP, Griffin LY, Garrett WE. Etiology and Prevention of Noncontact ACL Injury. *Phys Sportsmed.* avr 2000;28(4):53-60.

[2]: Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg.* juin 2000;8(3):141-50.

[3]: Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics.* juin 2000;23(6):573-8.

[4] : Haute autorité de santé. Critères de suivi en rééducation et d'orientation en ambulatoire ou en SSR après ligamentoplastie du croisé antérieur du genou. *Argumentaire* ; 2008.

[5] : Kobayashi H, Kanamura T, Koshida S, et al. Mechanisms of the Anterior Cruciate Ligament Injury in Sports Activities: A Twenty-Year Clinical Research of 1,700 Athletes. *Journal of Sports Science & Medicine.* 2010;9(4):669-675.

[6] : Lefevre N, Klouche S, Herman S, Bohu Y. Les facteurs de risques de rupture du ligament croisé antérieur: le genre féminin. [Internet]. 3 juill 2014; Disponible à: <http://www.em-consulte.com/en/article/876856>

[7]: Eastlack ME, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Laxity, instability, and functional outcome after ACL injury: copers versus noncopers. *Med Sci Sports Exerc.* févr 1999;31(2):210-5.

[8] : Haute Autorité de Santé. Prise en charge thérapeutique des lésions méniscales et des lésions isolées du ligament croisé antérieur du genou chez l'adulte. *Recommandations*; 2008.

[9] :Frobell RB, Roos HP, Roos EM, Roemer FW, Ranstam J, Lohmander LS. Treatment for acute anterior cruciate ligament tear: five year outcome of randomised trial. *BMJ.* 24 janv 2013;346:f232.

[10]: Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med.* juin 2011;45(7):596-606.

- [11] : Delincé P, Ghafil D. Anterior cruciate ligament tears: conservative or surgical treatment? A critical review of the literature. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* janv 2012;20(1):48-61.
- [12]: Schultz RA, Miller DC, Kerr CS, Micheli L. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study. *J Bone Joint Surg Am.* 1 sept 1984;66(7):1072-6.
- [13]: Zimny ML, Schutte M, Dabezies E. Mechanoreceptors in the human anterior cruciate ligament. *Anat Rec.* février 1986;214(2):204-9.
- [14] : Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med.* juin 1987;15(3):207-13.
- [15] : Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H, Komatsu T, Tokuya S. Direct evidence of the anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc in humans. *Am J Sports Med.* 2001 2000;29(1):83-7.
- [16] : Beard DJ, Kyberd PJ, O'Connor JJ, Fergusson CM, Dodd CA. Reflex hamstring contraction latency in anterior cruciate ligament deficiency. *J Orthop Res.* mars 1994;12(2):219-28.
- [17]: Walla D, Albright JP, McAuley E, El Khoury G. Hamstring control and the unstable anterior cruciate ligament-deficient knee. *The American Journal of Sports Medicine.* janv 1985;13(1):34-9
- [18] : Ihara H, Nakayama A. Dynamic joint control training for knee ligament injuries. *Am J Sports Med.* août 1986;14(4):309-15.
- [19]: Goubel PF, Pertuzon E. Évaluation de l'élasticité du muscle in Situ par une méthode de Quick-Release. *Archives Internationales de Physiologie et de Biochimie.* 1 janv 1973;81(4):697-707.
- [20] : Cornu C, Goubel F, Fardeau M. Stiffness of knee extensors in Duchenne muscular dystrophy. *Muscle Nerve.* déc 1998;21(12):1772-4.
- [21]: Levinger I, Goodman C, L.Hare D, Jerums G, Toia D, Selig S. The reliability of the 1-RM strength test for untrained middle-aged individuals. *Journal of science and medicine in sport.* 2009;(12), 310-316

- [22]: Deslandes R, Gain H, Hervé JM et Hignet R. Principes du renforcement musculaire : applications chez le sportif. Encycl Méd Chir, Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-055-A-10, 2003, 10 p.
- [23]: De Salles BF, Simão R, Miranda F, Novaes J da S, Lemos A, Willardson JM. Rest interval between sets in strength training. *Sports Med.* 2009;39(9):765-77.
- [24]: Wojtys EM, Huston LJ. Neuromuscular performance in normal and anterior cruciate ligament-deficient lower extremities. *Am J Sports Med.* févr 1994;22(1):89-104.
- [25] : Krogsgaard MR, Dyhre-Poulsen P, Fischer-Rasmussen T. Cruciate ligament reflexes. *J Electromyogr Kinesiol.* juin 2002;12(3):177-82.
- [26]: Vanbiervliet W. Circonstances et mécanismes d'altération de la proprioception au cours des lésions anatomiques. Dans: *La proprioception.* Sauramps medical. 2012. p. 68-77. (Entretiens de médecine physique et de réadaptation).
- [27]: Beard DJ, Dodd CA, Trundle HR, Simpson AH. Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency. A prospective randomised trial of two physiotherapy regimes. *J Bone Joint Surg Br.* juill 1994;76(4):654-9.
- [28]: Fitzgerald GK, Axe MJ, Snyder-Mackler L. The efficacy of perturbation training in nonoperative anterior cruciate ligament rehabilitation programs for physical active individuals. *Phys Ther.* févr 2000;80(2):128-40.
- [29]: Chmielewski TL, Hurd WJ, Rudolph KS, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Perturbation training improves knee kinematics and reduces muscle co-contraction after complete unilateral anterior cruciate ligament rupture. *Phys Ther.* août 2005;85(8):740-749-754.
- [30]: Rudolph KS, Axe MJ, Buchanan TS, Scholz JP, Snyder-Mackler L. Dynamic stability in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001;9(2):62-71.
- [31]: Colson S, Pousson M, Martin A, Van Hoecke J. Isokinetic elbow flexion and coactivation following eccentric training. *J Electromyogr Kinesiol.* févr 1999;9(1):13-20.

[32]: Munn J, Herbert RD, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *J Appl Physiol.* mai 2004;96(5):1861-6.

[33]: Harnoist J. Evaluation des temps de latence du réflexe ligamento-musculaire, ligament croisé antérieur/ischio-jambiers: incidences pratiques. *Kinésicentifique.* 2015;(565):35–45.

Annexe 2: Résultats complets en force des groupes T et QR

Groupet	Droit excentrique 30°/s	Gauche excentrique 30°/s	Droit concentrique 60°/s	Gauche concentrique 60°/s	Droit concentrique 240°/s	Gauche concentrique 240°/s
Médiane	13,1	21,9	8,2	13,2	13,6	12,7
	21,2	15,4	19,8	3,8	8,4	-13,7
	8,6	5,7	-4,4	18,3	1,3	-4
	12	19,4	1,6	34,2	12,5	19,9
	12	5,7	7,8	12,2	8,3	23,1
	-6,8	18	-3,8	10,1	5,5	17,4
	-14,2	22	2	17,5	1,5	12,7
	8,8	0,8	19,3	-21,4	13	2,3
	10,4	16,7	4,9	12,7	8,35	12,7
	GroupeQR	17,5	5,8	6	-33,4	5,4
8,1		9,4	7,2	24,9	21,6	24,4
8,6		8,7	1,1	-17,1	29,8	-3
4,7		1,8	-15,1	-8,4	1,7	-1,2
6,2		8,7	28,9	-13,9	57,8	23,1
5,6		10,6	25,8	-12,3	25,7	7,7
-19		-10,1	8,1	-18,5	2,2	7,1
22,3		29,5	-4,8	-8	-9,4	-3,2
7,15		7,25	6,6	-13,1	13,5	2,95

ABSTRACT

Introduction: Anterior Cruciate Ligament (ACL) rupture is an injury often met in sports posing potential functional problems for patients. This ligament is a sensitive structure with many mechanoreceptors that provide essential information for knee stability. The hamstrings are the most important protectors of this ligament and the time lapse between the stimulation of the ligament and the activation of this muscles is a factor of stability. We evaluated if an exercise with a perturbation in knee extension could decrease the activation time of the hamstrings in a healthy population.

Materials and methods: 18 students of the physiotherapist school of Montpellier without any knee problems were voluntary and randomly divided in two groups. A control group (T) which followed an eccentric muscular reinforcement of hamstrings and a Quick-Release group (QR) which followed the same program associate with a Quick-Release exercise.

Results: Our perturbation exercise shows significant delay gain for 75% of our results obtained by an isokinetic machine, in internal range of motion ($p < 0,05$). However, we cannot obtain significant difference in delay between the two groups of the study.

Discussion and conclusion: Our exercise based on the QR principle can be used to decrease the delay of contraction of the hamstrings in internal range of motion but we cannot conclude anything in external range of motion. It would be interesting to try our protocol with ACL deficiency patients to evaluate if the delay can be improved in this population and if functional improvements are observed after the rehabilitation.

Key words: Hamstrings, Anterior cruciate ligament, perturbation

RESUME

Introduction: La lésion du ligament croisé antérieur (LCA) est une blessure fréquente dans le sport entraînant des déficits fonctionnels potentiellement importants chez les patients. Ce ligament est une structure sensitive essentielle car dotée de nombreux mécanorécepteurs indispensables à la stabilité du genou. Les ischio-jambiers (IJ) sont les principaux protecteurs de ce ligament et leur délai d'activation est corrélé à la fonction chez les sujets présentant une lésion du LCA. Nous avons souhaité évaluer si un exercice de stimulation basé sur une perturbation en extension de genou permettait de diminuer le délai d'activation des IJ chez des sujets sains.

Méthodologie : 18 étudiants de l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Montpellier, sans aucun antécédent de blessure aux genoux, se sont portés volontaires et ont été répartis de manière aléatoire en 2 groupes : Un groupe témoin (T) suivant un programme de renforcement musculaire excentrique des IJ et un groupe Quick-Release (QR) suivant un programme de renforcement excentrique associé à un exercice sur le principe du QR.

Résultats: Notre exercice de perturbation a permis un gain significatif de délai réflexe des IJ sur 75% ($p < 0,05$) des résultats obtenus par isocinétisme dans le groupe QR, en course interne. Malgré une tendance, nous n'obtenons en revanche pas de différence de gain significative entre les groupes.

Discussion et conclusion : Notre exercice basé sur le principe du QR permet de diminuer le délai d'activation des IJ en course interne chez des sujets sains mais aucune conclusion ne peut être faite en course externe. Il sera intéressant de tester notre protocole chez des sujets présentant une lésion du LCA pour évaluer si le délai est amélioré dans cette population et si des améliorations fonctionnelles sont observées en post rééducation.

Mots clés : Ischio-jambiers, ligament croisé antérieur, perturbation