

Mémoire d'initiation à la recherche et d'ingénierie en Masso-Kinésithérapie
(Unité d'enseignement 28)

2^{ème} Cycle 2018-2020

**Comparaison d'un programme de renforcement excentrique de
type Nordic Hamstring VS un programme de renforcement
isométrique en position de Nordic Hamstring.
Une étude comparative.**

LADRIERE Tom

Mémoire dirigé par le Docteur VILET Anne

Résumé : L'objectif de cette étude est de comparer le Nordic Hamstring (NH) excentrique, décrit par Petersen et al. en 2011, avec un exercice isométrique en position du NH, décrit au sein de ce présent mémoire. Cette comparaison s'effectue sur la base de 5 critères : le ratio i-j / quadriceps, le moment de force maximale excentrique des i-j, la distance doigts-sol, l'angle poplité et la douleur perçue lors des exercices (EVA). Pour donner du sens à cette étude comparative un programme de renforcement d'une durée de six semaines a été réalisé avec huit sprints de 100, 200 et 400 mètres, aléatoirement répartis en deux groupes distincts. Le premier groupe, « NH Isométrique », présente des résultats satisfaisants sur la douleur perçue et sur le moment de force maximale excentrique des i-j alors que le second groupe, « NH Excentrique », améliore de manière plus importante les résultats obtenus sur la distance doigt-sol et l'angle poplité. Ainsi, les exercices « NH Isométrique » et « NH Excentrique » pourront être intégrés dans une rééducation en fonction de l'objectif recherché par le masseur-kinésithérapeute.

Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail de formation et d'initiation à la recherche en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'enseignement intégré à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'École Nationale de Kinésithérapie et Rééducation, en tant qu'IFMK, n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à la disposition de la communauté scientifique élargie.

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

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

Contact : secretariat@enkre.fr et enkre@gth94n.fr

Liens utiles

Code de la propriété intellectuelle. Article L 122.4.

Code de la propriété intellectuelle. Article L 335.2 – L 335.10.

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

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

École Nationale de Kinésithérapie et Rééducation

12-14 rue du Val d'Osne 94410 Saint Maurice tel : 01 43 96 64 64

secretariat@enkre.fr et enkre@gth94n.fr

<http://www.hopitaux-saint-maurice.fr/Presentation/2/142>

UE 28 - MEMOIRE

DECLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné, LADRIERE Tom

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément l'origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuite devant le conseil de discipline de l'ENKRE et les tribunaux de la République Française.

Dans la mesure où je souhaiterai publier, ou inscrire pour un concours, le présent travail, je m'engage à en demander l'autorisation à l'ENKRE qui en est le partenaire.

Fait à BONDY, le 01/05/2020

Signature



Titre : Comparaison d'un programme de renforcement excentrique de type Nordic Hamstring VS un programme de renforcement isométrique en position de Nordic Hamstring. Une étude comparative.

Mots clés : Ischio-jambiers, Exercice du Nordic Hamstring, Excentrique, Isométrique, Lésions myo-aponévrotiques des ischio-jambiers

Résumé : L'objectif de cette étude est de comparer le Nordic Hamstring (NH) excentrique, décrit par Petersen et al. en 2011, avec un exercice isométrique en position du NH, décrit au sein de ce présent mémoire. Cette comparaison s'effectue sur la base de 5 critères : le ratio i-j / quadriceps, le moment de force maximale excentrique des i-j, la distance doigts-sol, l'angle poplité et la douleur perçue lors des exercices (EVA). Pour donner du sens à cette étude comparative un programme de renforcement d'une durée de six semaines a été réalisé avec huit sprinters de 100, 200 et 400 mètres, aléatoirement répartis en deux groupes distincts.

Le premier groupe, « NH Isométrique », présente des résultats satisfaisants sur la douleur perçue et sur le moment de force maximale excentrique des i-j alors que le second groupe, « NH Excentrique », améliore de manière plus importante les résultats obtenus sur la distance doigt-sol et l'angle poplité.

Ainsi, les exercices « NH Isométrique » et « NH Excentrique » pourront être intégrés dans une rééducation en fonction de l'objectif recherché par le masseur-kinésithérapeute.

Key words : Hamstring, Nordic Hamstring exercise, Excentric, Isometric, Hamstring strain injuries

Abstract : The purpose of this study is to compare the eccentric Nordic Hamstring (NH), described by Petersen et al. in 2011, with an isometric exercise in the NH position, described in this thesis. This comparison is made on the basis of 5 criteria: the hamstring / quadriceps ratio, the maximum eccentric strength moment of the hamstring, the finger to ground distance, the popliteal angle and the pain perceived during exercises (VAS). To give meaning to this comparative study, a six-week strengthening program was carried out with eight 100, 200 and 400 meter sprinters, randomly divided into two distinct groups.

The first group, "NH Isometric", presents satisfactory results on the perceived pain and on the maximum eccentric strength moment of the hamstring while the second group, "NH Eccentric", improves more significantly the results obtained on the finger to ground distance and popliteal angle.

So, the exercises "NH Isometric" and "NH Eccentric" can be integrated into a rehabilitation according to the objective sought by the physiotherapist.

Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier le docteur Anne Vilet, directrice de mémoire, m'ayant suivi et apporté son aide dans la réalisation de ce travail écrit de fin d'étude.

A Monsieur Romain Artico pour ses précieux conseils lors des temps dédiés au mémoire.

Au docteur Sylvain Belot pour son aide sur l'analyse des données isocinétiques.

A Jean-Edouard, entraîneur au club de Neuilly-Plaisance, pour sa disponibilité et son implication dans cette étude.

A ma famille pour son soutien au cours de ces quatre années d'études.

A mon cercle d'amis pour ces moments de partage tout au long de cette formation.

Sommaire :

Table des abréviations

1	Introduction	9
2	Cadre Théorique	11
2.1	Les ischio-jambiers	11
2.1.1	Anatomie	11
2.1.2	Physiologie	14
2.1.3	Biomécanique lors d'un sprint	15
2.2	Mécanismes de lésions	16
2.3	Rappels sur les chaînes musculaires	16
2.4	Rappels des différents modes de contraction du muscle	17
2.4.1	Mode statique ou isométrique	17
2.4.2	Mode isotonique concentrique	17
2.4.3	Mode isotonique excentrique	17
2.5	Effets de l'Excentrique	18
2.6	Effets de l'isométrique.....	19
3	Méthode	21
3.1	Population	21
3.2	Matériel.....	22
3.3	Outils de mesures et critères de jugement	22
3.4	Protocole	23
3.5	Le Nordic Hamstring Exercice (NHE)	25
3.6	Description de l'exercice	25
3.6.1	Groupe « NH Excentrique »	25
3.6.2	Groupe « NH Isométrique »	26
3.7	Protocole de renforcement.....	27
3.8	Evaluation isocinétique.....	28
3.9	Ratio ischio-jambiers / quadriceps	28
3.10	Analyses statistiques	29
4	Résultats	30

4.1	Résultats du Ratio mixte de Croisier	30
4.2	Résultats sur l'EVA	31
4.3	Résultats de la force maximale (Moment Max) en excentrique des i-j à 30°/sec	32
4.4	Résultats de la Distance doigts-sol	33
4.5	Résultats sur l'Angle Poplité	34
5	Discussion	36
5.1	Limites de l'étude	37
6	Recommandations pour la pratique	38
7	Conclusion	40

Bibliographie

Liste des tableaux et figures

Annexes

Table des abréviations

i-j : ischio-jambiers

NHE : Nordic Hamstring Exercise

NH : Nordic Hamstring

ATP : adénosine triphosphate

EVA : échelle visuelle analogique

DOMS : Delayed Onset Muscle Soreness (traduction : douleurs musculaires d'apparition retardées)

CIVM : contraction isométrique volontaire maximale

Cm : centimètre

Kg : kilogramme

Sec : seconde

IGF-1 : insulin-like growth factor 1

1 Introduction

L'athlétisme est un sport très pratiqué dans le monde, que ce soit en amateur ou dans le cadre de compétitions de tous niveaux.

La Fédération Française d'Athlétisme (FFA) recense 316 751 licenciés à la fin de la saison 2018/2019 en France [1] et parmi eux, un nombre important de sprinters (100m, 200m, 400m).

Le peu de moyens nécessaires à la pratique de cette activité sportive et la pluralité des disciplines qu'elle regroupe expliquent en partie ce succès.

Pour donner une dimension pratique à ce mémoire, 8 sprinters du club de Neuilly-Plaisance (93), licenciés de la FFA, ont fait l'objet d'un suivi pendant 6 semaines. Le constat a été fait que 5 de ces athlètes (soit 62,5%) ont présenté des blessures aux ischio-jambiers (i-j) au cours des trois dernières années.

Celui-ci a été confirmé par Édouard P et al. qui, dans une étude publiée en 2016 [2], portant sur 16 compétitions internationales d'athlétisme, ont établi que les i-j représentaient 17,1% des blessures des athlètes, comprenant une grande majorité de sprinters.

Une autre étude publiée en 2014 par Edouard P et al. [3] a démontré que 11,4% des blessures constatées au cours des championnats d'Europe de 2012 à Helsinki touchent les i-j.

A la suite de ces constatations, il est possible de se demander dans quelle mesure et par quels moyens une diminution du taux de lésion des i-j chez les sprinters pourrait être envisagée ?

Les diverses recherches effectuées ont été dirigées dans un premier temps vers la méthode éprouvée de renforcement excentrique de type Nordic Hamstring (NH) consistant dans la résistance à un mouvement de chute vers l'avant par l'activation des i-j visant à maximiser la charge en phase excentrique. Une méta-analyse de Van Dyk et al. (2019) [4], atteste d'une réduction de 51% de la survenue de blessures des i-j chez les athlètes incluant cet exercice au sein de leurs entraînements.

Cependant le NH est un exercice douloureux et sa bonne exécution requiert un haut niveau de maîtrise. De plus une réduction de 10 à 60% de la contraction maximale volontaire est reportée

jusqu'à une semaine après un exercice excentrique et aurait des conséquences sur la performance sportive à court terme (Proske U, Morgan DL, 2001) [5].

C'est pourquoi, dans un second temps, les recherches conduites ont été dirigées vers la méthode du renforcement isométrique qui pourrait apporter des réponses satisfaisantes pour la douleur (Rio E et al. 2014) [6], la force maximale, la pression artérielle, etc... (Loaiza-Betancur AF et al. 2020) [7], (Carlson DJ et al, 2014) [8].

De là, s'est posée la question de l'intérêt de mettre en place un exercice de renforcement isométrique des i-j en position du NH par rapport à l'exercice du NH décrit par Petersen et al. en 2011 [9].

Y aurait-il une différence significative entre les résultats d'un programme de renforcement isométrique en position du NH et les résultats d'un programme de renforcement excentrique de type NH ?

C'est ainsi que ce présent mémoire consistera à comparer les résultats obtenus sur l'échelle visuelle analogique (EVA), le ratio i-j / quadriceps, la force musculaire ainsi que la souplesse après un programme de renforcement isométrique et excentrique des i-j.

L'hypothèse générale est la suivante : le programme de renforcement isométrique présenterait des avantages sur l'exécution du mouvement souhaité et sur les résultats lors de l'évaluation de la perception de la douleur (EVA) alors que le renforcement excentrique permettrait d'améliorer le ratio i-j / quadriceps, la force et la souplesse de l'athlète.

Le masseur-kinésithérapeute se doit d'apporter les meilleurs soins à ses patients et même si le NH excentrique apporte des bénéfices indéniables selon certains auteurs, il présente cependant des limites notables que sont la difficulté et douleur de l'exercice, les douleurs retardées etc...

Il se pourrait que le renforcement isométrique en position du NH puisse avoir d'autres effets, et être ainsi intégré au sein d'un programme de renforcement ou d'une rééducation.

Après avoir fait des rappels anatomiques et physiologiques des i-j ainsi que des différents modes de contractions et après avoir déterminé les mécanismes lésionnels des i-j, un protocole a été mis en place dans l'objectif de démontrer les effets du programme de renforcement isométrique en position de NH par rapport au programme de renforcement excentrique de type NH.

2 Cadre Théorique

2.1 Les ischio-jambiers

2.1.1 Anatomie

Les muscles ischio-jambiers correspondent à un groupe de trois muscles situés sur la partie postérieure de la cuisse :

- le semi-tendineux
- le semi-membraneux, situé sous le muscle précédent,
- le biceps fémoral (ou biceps crural).

Ces muscles croisent les articulations de la hanche et du genou et sont agonistes dans l'extension de hanche et dans la flexion du genou. Le groupe a un point d'origine commun et est innervé par le nerf sciatique (composé en partie du nerf tibial et du nerf fibulaire commun enveloppés dans la même gaine). Ces muscles antagonistes du quadriceps, sollicités pour marcher, courir ou sauter, sont donc la cible de lésions dans de nombreux sports : football, rugby, cyclisme, course à pied...

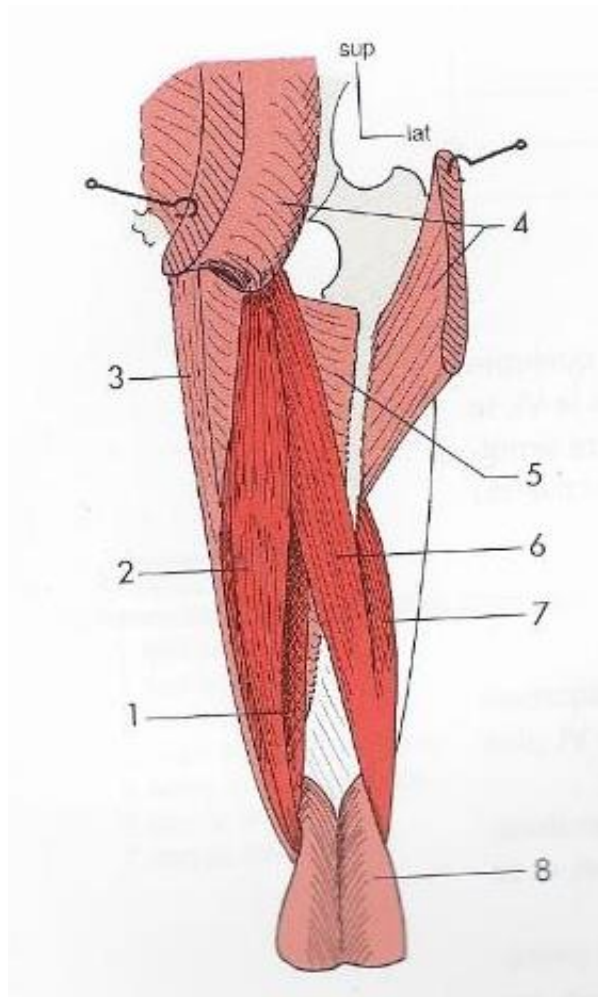
Biceps fémoral	Muscle le plus latéral du groupe ; composé de deux chefs : le chef long et le chef court	<u>Origine (O)</u> : tubérosité ischiatique (chef long) ; ligne âpre et extrémité distale du fémur (chef court) <u>Insertion (I)</u> : le tendon commun descend latéralement (formant le bord latéral du creux poplité) pour s'insérer sur la tête de la fibula et sur le condyle latéral du tibia	<u>Innervation</u> : nerf sciatique : nerf tibial vers le chef long et nerf fibulaire commun vers le chef court (L5-S2) <u>Vascularisation</u> : artères glutéale inférieure, circonflexe médiale et 1 ^{ère} et 2 ^{ème} perforantes de l'artère fémorale.
-----------------------	--	---	--

Semi-tendineux	Situé en position médiale par rapport au biceps fémoral	<u>O</u> : tubérosité ischiatique par un tendon commun avec le chef long du biceps fémoral <u>I</u> : face médiale de la partie supérieure du corps du tibia (au niveau de la patte d'oie, en arrière du sartorius et en dessous du gracile)	<u>Innervation</u> : nerf sciatique : partie du nerf tibial (L5-S2) <u>Vascularisation</u> : branches perforantes de l'artère fémorale profonde et artère glutéale inférieure
Semi-membraneux	Situé sous le semi-tendineux ; son tendon d'origine est mince et aplati comme une membrane (d'où son nom)	<u>O</u> : tubérosité ischiatique <u>I</u> : condyle médial du tibia (face postérieure) ; condyle latéral du fémur par l'intermédiaire du ligament poplité oblique	<u>Innervation</u> : nerf sciatique : partie du nerf tibial (L5-S2) <u>Vascularisation</u> : branches perforantes de l'artère fémorale profonde et artère glutéale inférieure

(E.N. Marieb et K. Hoehn, 2013) [10].



Figure 1 : Groupe musculaire des ischio-jambiers en vue postérieure. (Source : réseau d'enseignement de la danse)



1- Semi-membraneux

2- Semi-tendineux

3- Gracile

4- Grand glutéal

5- Grand adducteur

6- Long biceps

7- Court biceps

8- Gastrocnémien

Figure 2 : Aspect des ischio-jambiers en vue postérieure. (Source : Dufour M, 2001)

2.1.2 Physiologie

Les i-j ont pour action l'extension de la cuisse et flexion du genou. Le biceps fémoral a également une composante de rotation latérale du genou, spécialement quand ce dernier est fléchi. Les semi-tendineux et semi-membraneux ont une composante de rotation médiale du genou. En chaîne fermée, les i-j sont rétroverseurs du bassin et ont un rôle d'antifléchisseurs qui assurent le maintien du bassin lors de l'inclinaison antérieure du tronc. (Dufour M, Pillu M. 2007) [11]. Au niveau du genou, ils stabilisent l'articulation fémoro-tibiale et tibio-fibulaire (Dufour M. 2001) [12].

Comme tous les muscles du membre inférieur, ils participent au maintien de la position debout par un tonus de base. Ce tonus est cependant plus faible que celui du quadriceps qui doit assurer de manière permanente le verrouillage du genou (Ferré J, Leroux P, 1985) [13]. Ce travail tonique constant est de type endurant et sollicite des fibres de type I. Ceci explique que le quadriceps ait un pourcentage de fibres lentes plus élevé que les ischio-jambiers (Legéard E, 2005) [14].

Les ischio-jambiers sont composés à 55% de fibres de Type II (Garrett WE Jr et al, 1984) [15]. Cependant la composition d'un muscle varie d'un individu à l'autre (facteur génétique) et en fonction de l'activité physique pratiquée. Par exemple, les muscles des marathonniens comprennent un fort pourcentage de fibres oxydatives à contraction lente (environ 80%), alors que les sprinters possèdent un plus fort pourcentage de fibres oxydatives et glycolytiques à contraction rapide (environ 60%). Les fibres de Types II sont des fibres dont la voie principale de synthèse de l'ATP est anaérobie (glycolytique). Leur vitesse de contraction est rapide (40ms) avec une force développée importante, mais ils présentent une grande fatigabilité (E. Marieb, 2013) [10].

Les propriétés de la membrane du tubule T et le fonctionnement des ponts actine-myosine sont altérés avec la fatigue (Jones et al, 2005) [16]. De plus les i-j ont un aspect penné et sont riches en tissus conjonctifs peu contractiles, se traduisant par une faible extensibilité. (Dufour M, Pillu M, 2007) [11]. De ce fait, les sprinters sont particulièrement prédisposés aux lésions des i-j.

Il est donc nécessaire, selon Stanish et al. (1986) [17] d'élaborer des exercices de prévention sollicitant le tissu conjonctif afin de diminuer les risques lésionnels musculaires.

2.1.3 Biomécanique lors d'un sprint

De nombreuses études biomécaniques ont rapporté que les i-j sont activés durant tout le cycle de la foulée, mais plus particulièrement durant la phase terminale du mouvement de la jambe libre et au moment de l'appui au sol (Opar DA et al, 2012) [18], (Heiderscheit BC et al, 2010) [19]. Durant la phase terminale du mouvement de la jambe libre, les i-j ont un rôle freinateur de la jambe par une contraction excentrique afin de faire revenir le pied au sol. C'est aussi durant cette phase que les i-j sont le plus étirés (Kumazaki T et al, 2012) [20]. Au moment de l'appui au sol, lorsque le sprinter amorce son « griffé », la contraction des i-j se fait en mode concentrique pour permettre une extension de la hanche ; c'est durant cette phase du cycle de course que la force produite par les i-j est la plus importante (P. Edouard et al, 2013) [21].

2.2 Mécanismes de lésions

Pour expliquer le mécanisme lésionnel des i-j, il faut comprendre que ce groupe musculaire, par sa contraction excentrique, a une action frénatrice permettant « d'amortir » le choc occasionné par la fin de course. Ce n'est pas l'arrêt de contraction du quadriceps qui va stopper le mouvement du segment jambier mais le frein apporté par la contraction excentrique des i-j. Il existe, en fait, un phénomène de co-activation musculaire où le muscle agoniste au mouvement réalise une contraction concentrique tandis que, simultanément, le muscle antagoniste effectue une contraction excentrique pour contrôler, freiner, puis arrêter le mouvement. Une dysbalance dans le ratio de force i-j / quadriceps augmente de manière significative le risque de lésion musculaire. De même qu'une insuffisance de force excentrique des ischio-jambiers apparaît également comme un des principaux facteurs de risque. (Croisier JL et al, 2008) [22].

Chez le sprinter, le mécanisme lésionnel n'est pas l'étirement maximal des i-j car ils ne sont jamais en course externe (excepté chez les hurdlers), mais pourrait être lié au changement rapide et brutal de mode de contraction de l'excentrique au concentrique durant un effort intense. (Wiemann K, Tidow G, 1995) [23], (Alonso JM et al, 2012) [24], (Garrett WE Jr et al, 1984) [15].

Ce traumatisme survient majoritairement dans un contexte sportif demandant des efforts répétés et intenses comme le sprint décrit par Tokutake G, et al (2018) [25]. Ces pathologies concernent le plus souvent les muscles bi-articulaires comme les ischios jambiers.

2.3 Rappels sur les chaînes musculaires

La chaîne musculaire est l'ensemble des muscles et articulations mis en jeu dans un mouvement. On distingue :

- La chaîne cinétique fermée (CCF) lorsque l'extrémité distale est fixe
- La chaîne cinétique ouverte (CCO) lorsque l'extrémité distale est libre

Les contraintes articulaires sont plus importantes lors d'un mouvement en chaîne cinétique ouverte car la co-contraction des agonistes et antagonistes ne permet pas une stabilisation maximale de l'articulation (P. Edouard, F. Degache, 2016) [26]. Lors d'un sprint, les i-j (appartenant à la chaîne

postérieure du membre inférieur) travaillent en alternant la CCF (en phase d'appui) et la CCO (en phase de suspension).

2.4 Rappels des différents modes de contraction du muscle

Il existe deux grandes catégories de contractions musculaires : isotoniques (concentrique ou excentrique) et isométrique.

2.4.1 Mode statique ou isométrique

Lors d'une contraction isométrique, la tension musculaire augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne son niveau maximal ou optimal, mais le muscle ne se raccourcit pas et ne s'allonge pas ; il n'y a pas de déplacement du segment de membre. La résistance opposée au mouvement est égale à la force développée par le muscle.

2.4.2 Mode isotonique concentrique

Lors d'une contraction concentrique, les points d'insertions musculaires se rapprochent et le muscle se raccourcit, la résistance opposée au mouvement est inférieure à la force développée par le muscle. Il s'agit d'une activité musculaire mobilisatrice.

2.4.3 Mode isotonique excentrique

Lors d'une contraction excentrique, les points d'insertions musculaires s'éloignent et le muscle s'allonge, la résistance opposée au mouvement est supérieure à la force développée par le muscle. Il s'agit d'une activité musculaire frénatrice (P. Edouard, F. Degache, 2016) [26].

Dans les deux types de contractions musculaires (isotonique ou isométrique), les phénomènes électrochimiques et mécaniques qui ont lieu sont les mêmes, mais le résultat est différent. Durant une contraction isotonique, les filaments minces (d'actines) glissent. Lors d'une contraction isométrique, les têtes de myosine exercent une force, mais les filaments minces ne se déplacent pas ; il ne se produit donc pas de changement dans la disposition des stries par rapport à l'état de repos (E.N. Marieb et K. Hoehn, 2013) [10].

2.5 Effets de l'Excentrique

Le travail excentrique présente de multiples effets sur le complexe musculo-tendineux :

- **Augmentation de la résistance musculo-tendineuse.**

- **Réorientation des fibres du tissu cicatriciel** : suite à une lésion musculaire, un tissu cicatriciel se forme. Si aucun exercice n'est réalisé, le tissu s'organise de façon anarchique. Le travail musculaire excentrique vient déclencher un cycle de destruction/construction des protéines de liaison et permet de lutter contre cette anarchie en réorientant les fibres du tissu cicatriciel (Croisier JL. et Codine P, 2009) [27]. Est alors observé un remodelage du corps musculaire et une amélioration de sa résistance (Stanish et al, 1986) [17].

- **Augmentation d'IGF-1** (insulin-like growth factor 1 est une hormone peptidique impliquée notamment dans la croissance de tous les tissus aux cours des exercices excentriques) (Woods KA et al, 2000) [28].

- **Augmentation de l'activité des cellules satellites** : les fibres de Type II apparaissent plus sensibles à l'exercice excentrique (Lieber RL et Fridén J, 1999) [29]. Ainsi, les i-j (55% de fibres de type II) sont plus vulnérables aux effets lésionnels d'une contraction excentrique (Garrett et al., 1984) [15].

- Une étude Douglas et al. de 2017 [30] montre qu'« *Approximativement, 20 à 60% de force supplémentaire est nécessaire à la contraction excentrique, mais les exercices demandent moins d'énergie par unité de travail et donc une réponse cardio-pulmonaire moins grande* »

- **Fatigue et consommation en oxygène moins importantes** : lors d'un travail excentrique, on observe une demande métabolique moindre, comparativement au travail concentrique, avec une baisse d'unité motrice requise. Indépendamment d'une variation du métabolisme anaérobie, les exercices excentriques requièrent 4 à 5 fois moins d'oxygène, et un débit cardiaque ainsi qu'une fréquence cardiaque inférieurs (Douglas et al.,2017) [30].

Cependant certaines limitent apparaissent à l'exercice excentrique :

- les exercices excentriques endommagent le muscle et plus particulièrement les fibres de type II (lésions du cytosquelette, rupture du sarcolemme et des tubules T, désorganisation des composants contractiles des myofibrilles et perturbations de la matrice extracellulaire). Ils s'accompagnent

régulièrement de douleurs musculaires retardées (Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS)) communément appelées « courbatures » (Douglas et al., 2017) [30]. Les DOMS surviennent dans les 12 à 24 heures avec un pic atteint entre 24 et 72 heures après la fin de l'exercice. Les DOMS disparaissent spontanément dans les 5 à 7 jours qui suivent l'effort. Ces sensations nociceptives s'accompagnent d'une altération réversible de la fonction musculaire : perte de mobilité active et diminution de force. Une réduction de 10 à 60% de la contraction maximale volontaire est reportée jusqu'à une semaine après un exercice excentrique et aurait des conséquences sur la performance sportive à court terme. La mise en charge progressive et la répétition de ce type d'exercice atténuent cependant ses effets. (Proske U, Morgan DL, 2001) [5].

2.6 Effets de l'isométrie

Certains auteurs ont analysé dans leurs études les effets d'un renforcement basé sur la contraction isométrique et en ont conclu qu'il permettrait :

- de **développer l'hypertrophie musculaire**, notamment en course externe qui entraîne une plus grosse production de force, plus de dommages musculaires et une restriction sanguine majeure.
- de **diminuer la pression artérielle** systolique, la pression artérielle diastolique et la pression artérielle moyenne chez les jeunes adultes normotendus pour des entraînements isométriques supérieurs à une minute de contraction. Ce type d'exercice pourrait donc prévenir l'hypertension artérielle (Loaiza-Betancur AF et al., 2020) [7], (Carlson DJ et al., 2014) [8], (Cornelissen VA, Smart NA, 2013) [31].
- de **développer une force maximale 10 à 15% plus grande** que la force maximale concentrique. Elle permet donc de créer une plus grande tension musculaire. Cependant, ce gain de force en isométrie est spécifique à l'angle de travail (Thibedeau C, 2013) [32].
- de **réduire la douleur** immédiatement et 45 minutes après une séance d'entraînement isométrique, et **d'augmenter la CIVM** (contraction isométrique volontaire maximale) chez des personnes atteintes de tendinopathie patellaire (Hoeger Bement MK et al., 2008) [33].
- **d'augmenter la longueur du fascicule** au niveau de la partie médiane du muscle en course interne et de la partie distale du fascicule en course externe (Burgess KE et al., 2007) [34].

-d'augmenter l'angle de pennation en course externe (Burgess KE et al., 2007) [34].

- d'augmenter la section transversale tendineuse et sa **raideur** pour des intensités de contraction élevées (supérieures à 70% de la contractions volontaires maximales isométriques) (Burgess KE et al., 2007) [34].

3 Méthode

3.1 Population

Une population de 8 sujets a été étudiée et présente les caractéristiques suivantes :

- Âge : 24,28 +/- 2,56 ans
- Taille : 180,75 +/- 6,86 cm
- Poids : 72 +/-10,85 kg
- Discipline : 400m : 37,5%
100-200m : 62,5%
- Répartition Homme/Femme : 25% Femme – 75% Homme

L'étude comparative réalisée dans le cadre de ce présent mémoire s'est déroulée entre le 22/10/2019 et le 04/02/2020 auprès de 8 sprinters licenciés au club d'athlétisme de Neuilly-Plaisance, évoluant au niveau National 2 A. Ces sprinters ont été répartis aléatoirement via le site Research Randomizer dans deux groupes : le premier groupe effectuera un renforcement isométrique en position du NHE et le second réalisera un renforcement excentrique de type NHE.

Les **critères d'inclusions** ont été les suivants :

- Sprinters avec ou sans antécédents de blessure aux i-j,
- 18 et 30 ans (variation du tissu conjonctif avec l'âge)

Les **critères de non inclusions** ont été les suivants :

- Age > 30 ans
- Contre-indications à la pratique du sprint
- Contre-indications à la pratique d'un bilan sur dynamomètre isocinétique

Les **critères d'exclusions** ont été les suivants :

- Arrêt de l'athlétisme en cours d'année
- Blessures autres que des lésions aux i-j entraînant une incapacité de continuer le programme.

Au cours de l'étude, deux sprinters ont été exclus. L'un pour un motif personnel engendrant un arrêt de l'athlétisme, l'autre pour impossibilité d'effectuer le deuxième bilan isocinétique probablement à cause d'une lésion des i-j.

La présence d'un groupe témoin n'a pas été nécessaire car il s'agit de comparer deux types de programmes entre eux. De plus le nombre restreint de participant à l'étude ne permet pas de faire un troisième groupe témoin.

3.2 Matériel

Un tapis de gym sera nécessaire pour réaliser l'exercice du « NH Excentrique » afin de protéger l'articulation du genou (fémoro-patellaire surtout).

Un tapis de gym et un banc de musculation seront utilisés par le groupe « NH Isométrique » pour faciliter la mise en place de la position dans laquelle l'individu devra tenir.

3.3 Outils de mesures et critères de jugement

L'étude s'est basée sur la mesure de 5 critères :

- Les mesures de la **force maximale excentrique des i-j (moment maximal)** et du **ratio i-j / quadriceps** ont été effectuées par un dynamomètre isocinétique type Biodex (Annexe. I) (fiche d'utilisation Annexe. II). Il a été décrit comme étant le « gold standard » de l'évaluation musculaire analytique selon Edouard P. et Degache F. (2016) [26].
- La **douleur** a été évaluée par l'échelle visuelle analogique (EVA) (Annexe. III) après chaque série d'exercice par l'entraîneur qui a été informé sur l'utilisation de cette échelle. L'EVA mesure l'intensité de la douleur à l'aide d'une règle de 100 mm, munie d'un curseur que l'entraîneur va déplacer en fonction de la douleur perçue par l'individu. L'autre face de la règle est orientée vers l'entraîneur et lui donne une information sur le chiffre correspondant à l'intensité mesurée en millimètre. L'EVA a été choisi car elle est sensible, reproductible et fiable (Boonstra AM et al., 2008) [36].
- La mesure de la **distance doigt-sol** a renseigné l'évaluateur sur la souplesse de la chaîne postérieure de l'individu testé (Annexe. IV). Celle-ci a été prise en début et en fin de programme de renforcement.
- L'**angle poplité** (Annexe. V) a également été mesuré avant et après les six semaines de renforcement pour évaluer la souplesse des i-j en position de flexion de hanche à 90°.

La mesure des amplitudes articulaires s'est faite avec un goniomètre car il est peu coûteux, fiable et reproductible (A.Morichon, 2017) [35].

3.4 Protocole

Méthodes : 8 participants ont été randomisés dans l'un des deux groupes et ont subi une intervention individuelle basée sur l'exercice du Nordic Hamstring, impliquant un renforcement des muscles i-j. Chaque groupe a utilisé un mode différent de renforcement : isométrique ou isotonique excentrique. Les critères de jugement, cités précédemment, ont mesuré la perception de la douleur (EVA), la souplesse de la chaîne postérieure et des i-j (distance doigts-sol et angle poplité) ainsi que la force musculaire des i-j et du quadriceps (ratio mixte de Croisier et force maximale excentrique).

Après la répartition des sprinters dans chacun des groupes, plusieurs mesures ont été réalisées :

- un bilan sur dynamomètre isocinétique
- la distance doigts-sol
- l'angle poplité

Après toutes ces mesures, l'athlète a pu débiter son programme de renforcement de 6 semaines en fonction du groupe dans lequel il est affilié.

Une fois son programme terminé, il a repassé la même batterie de test qu'au départ.

La méthode suivie au cours de cette étude est résumée dans le schéma ci-dessous (fig. 3)

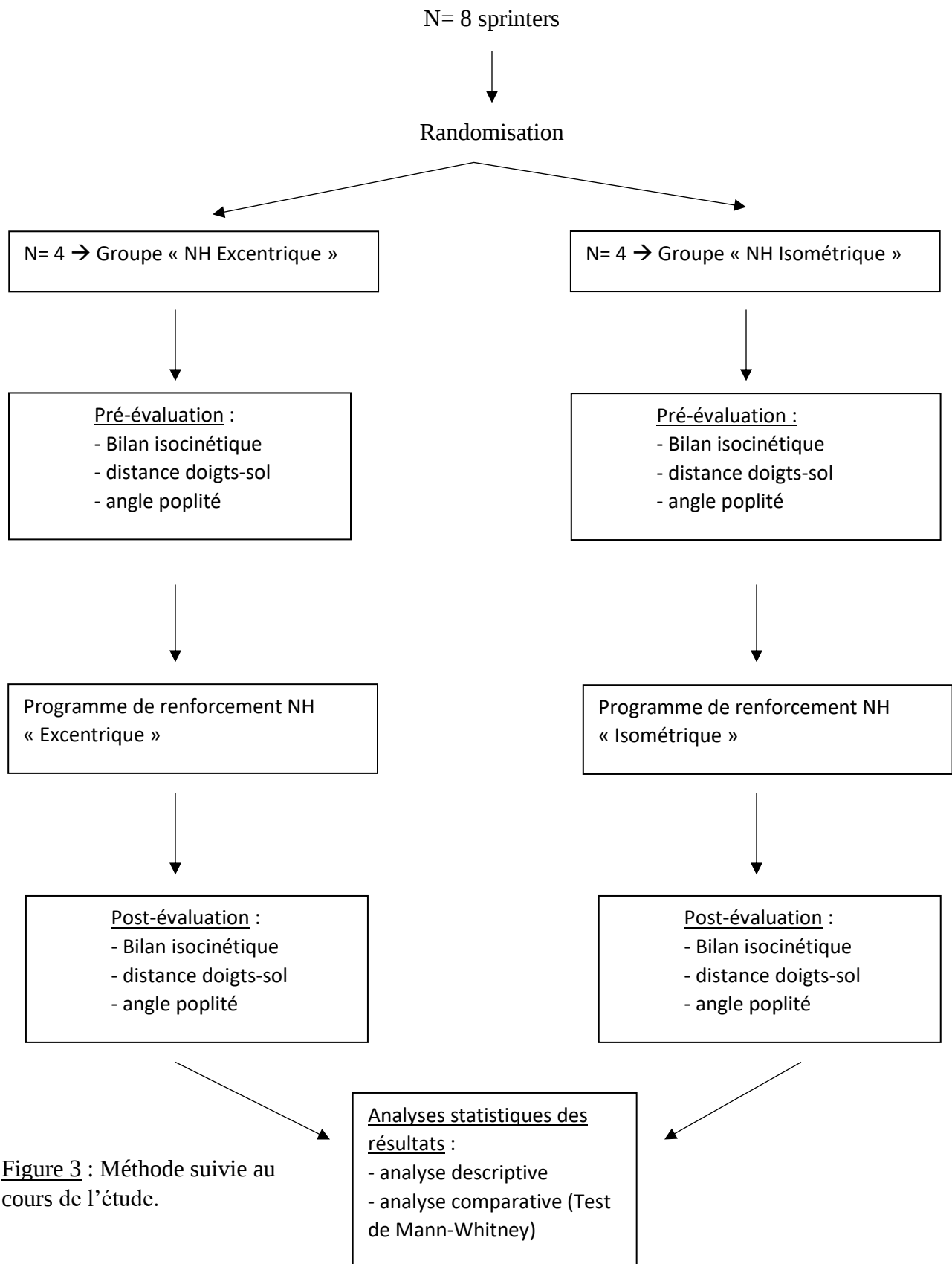


Figure 3 : Méthode suivie au cours de l'étude.

3.5 Le Nordic Hamstring Exercise (NHE)

Le NHE est un exercice de renforcement excentrique des i-j qui nécessite peu de matériel. En effet, son exécution ne requiert qu'un tapis ou un coussin pour soulager la compression du genou au sol et est donc simple à mettre en place. De plus, cet exercice a démontré son efficacité dans une méta-analyse de Van Dyk, Behan et Whiteley (2019) [4] qui a conclu que les programmes incluant le NHE réduisent le risque de blessure des i-j de plus de 51%. L'objectif étant qu'il soit intégré dans le programme de renforcement de la saison sportive afin d'être le plus efficace possible.

3.6 Description de l'exercice

3.6.1 Groupe « NH Excentrique »

Le sujet est agenouillé sur un tapis et un partenaire lui maintient les chevilles. Le sujet tente de résister à un mouvement de chute vers l'avant jusqu'au contact des mains au sol (fig. 4). Puis le sujet se redresse en position de départ en se propulsant avec ses mains (Ribeiro-Alvares JB et al., 2018) [38].



Figure 4 : Position de départ
(1). (Auteur : Ladriere Tom)



Figure 5 : Position intermédiaire
(2). (Auteur : Ladriere Tom)



Figure 6 : Position finale. (Auteur : Ladriere Tom)

3.6.2 Groupe « NH Isométrique »

Le sujet est agenouillé sur un tapis et un partenaire lui maintient les chevilles. Il prend appui avec ses mains sur le banc de manière à avoir un angle entre la malléole externe, l'interligne articulaire du genou et le grand trochanter de 100 à 125° en fonction de la progression de l'individu (fig. 7). Puis il retire ses mains et doit maintenir la position (fig. 8).



Figure 7 : Position de départ et finale. (Auteur : Ladriere Tom)



Figure 8 : Position intermédiaire. (Auteur : Ladriere Tom)

Quelques paramètres communs aux deux groupes sont à prendre en compte lors de la réalisation de cet exercice :

- Veiller à ce que le sujet ne fléchisse pas le tronc pour maximiser le travail des i-j en respectant l'alignement entre les genoux, le bassin, les épaules et la tête.
- Maintenir une contraction de 3 à 5 secondes pendant l'exercice.

3.7 Protocole de renforcement

Le programme consistait à suivre celui proposé par Seymore KD. en 2017 [39] incluant un renforcement progressif des i-j (tab. I). Les sprinters, s'entraînant 4 à 5 fois par semaine, ont donc pu inclure ces exercices dans leurs séances. Un accord avec l'entraîneur a été convenu pour que les exercices soient effectués après l'échauffement et que chaque sprinter note son ressenti de la douleur après la série.

Tableau I : Protocole de renforcement du Nordic Hamstring (selon Seymore KD, 2017).

Semaine	Nombre de séance par semaine	Séries x répétitions
1	1	2 x 5
2	2	2 x 6
3	3	3 x 6-8
4	3	3 x 8-10
5	3	3 x 12-10-8
6	3	3 x 12-10-8

3.8 Evaluation isocinétique

- Echauffement : Chaque individu réalise un échauffement sur ergocycle de 10 minutes avec une puissance de 70 Watts afin de préparer les i-j et les quadriceps à l'effort (Edouard P. et Degache F, 2016) [26].

- Installation et réglages : Après installation du sprinter, les paramètres de réglages du siège étaient notés sur la fiche de présentation de celui-ci (Annexe. VI). Les instructions du déroulement du test étaient ensuite expliquées à chacun.

- Evaluation : 3 tests ont été effectués afin d'évaluer les i-j et les quadriceps :

- Concentrique quadriceps et i-j à vitesse lente (60°/sec)
- Concentrique quadriceps et i-j à vitesse élevée (240°/sec)
- Excentrique i-j à vitesse lente (30°/sec)

Chaque participant a réalisé deux évaluations isocinétiques : en début et en fin de programme de renforcement de NH. Les paramètres mesurés étaient ensuite imprimés en vue de les analyser (Annexe VII).

3.9 Ratio ischio-jambiers / quadriceps

L'évaluation de la force sur dynamomètre isocinétique est utilisée dans deux but :

- Identifier un potentiel déséquilibre entre les muscles agonistes et antagonistes.
- Mettre en place un protocole de renforcement en utilisant cette machine.

En ce qui concerne notre étude, l'objectif était d'établir un ratio entre les muscles i-j et les quadriceps appelé ratio mixte de Croisier (Croisier JL, 2008) [22].

Ratio mixte de Croisier :

Ischio jambiers (excentrique 30 deg/sec) / Quadriceps (concentrique 240 deg/sec)
--

La valeur de la force maximale (=moment max) des i-j en excentrique (30°/sec) et des quadriceps en concentrique (240°/sec) a été analysée afin d'obtenir ce ratio. Le seuil normal de celui-ci est fixé naturellement entre 1 et 1,1 ce qui correspond à une force quasi équivalente du quadriceps en concentrique et des i-j en excentrique. En dessous de cet intervalle le sujet est considéré comme étant à risque de lésion des i-j (Croisier JL, 2008) [22].

3.10 Analyses statistiques

Les résultats de chacun des paramètres mesurés ont été effectués à l'aide d'un tableau Excel.

L'analyse statistique des données a consisté en :

- une analyse descriptive de chacun des groupes afin d'obtenir les moyennes et écarts type.
- une analyse comparative entre les deux groupes par un test statistique de Mann-Whitney pour tester les hypothèses via le logiciel *XL Stats* d'Excel.

L'analyse consistait à comparer les résultats de chacun des groupes avant et après les six semaines de renforcement mais également de comparer les résultats de ces groupes l'un par rapport à l'autre.

Le seuil de significativité « p-value ou p » retenu est de 5%.

4 Résultats

4.1 Résultats du Ratio mixte de Croisier

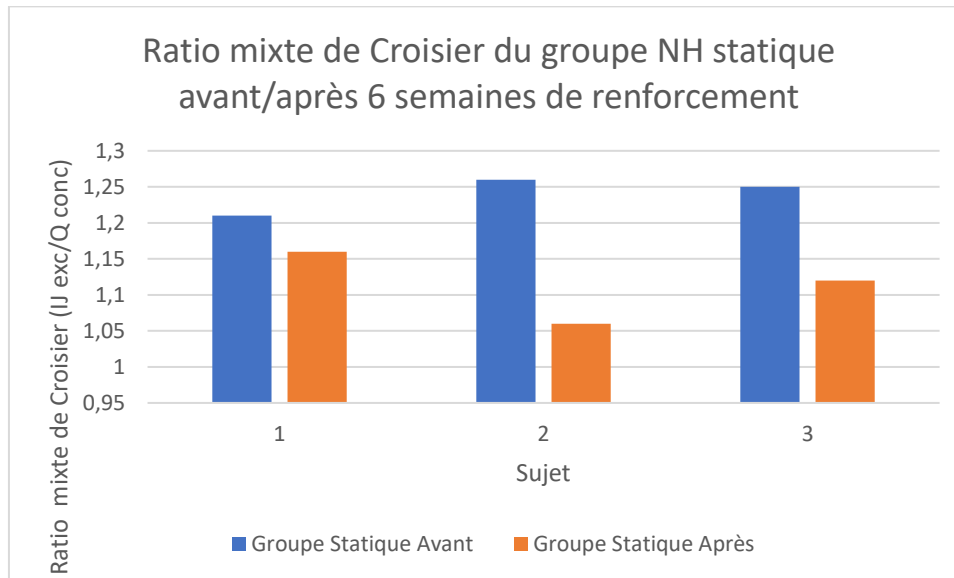


Figure 9 : Résultats avant et après le programme de renforcement du groupe NH Isométrique

D'après les résultats décrits ci-dessus, le ratio mixte de Croisier a diminué pour chacun des sujets du groupe NH Isométrique passant de 1,24 en moyenne à 1,11 après six semaines de renforcement ($p\text{-value} = 0,1 > 0,05$).

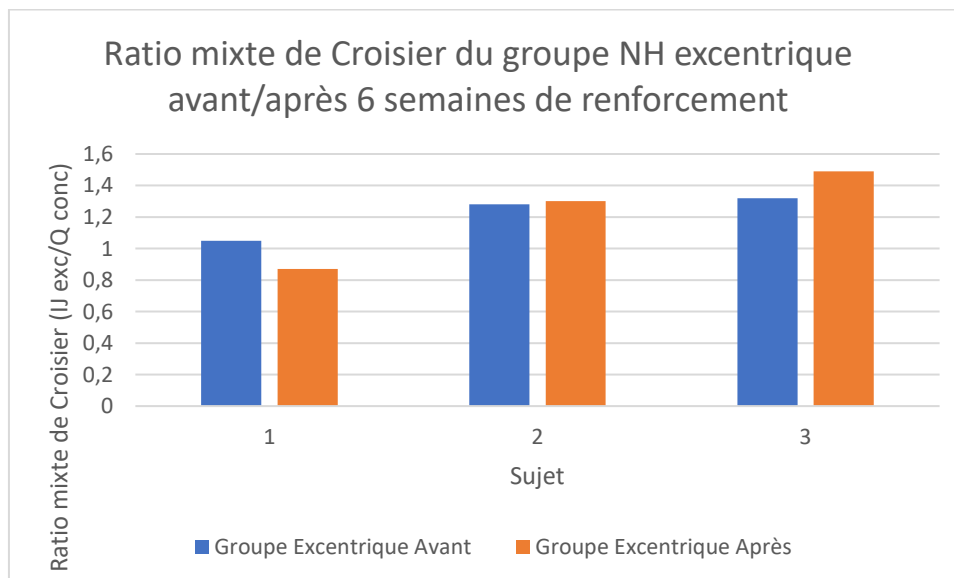


Figure 10 : Résultats avant et après le programme de renforcement du groupe NH Excentrique.

Les résultats décrits ci-dessus montrent que le ratio mixte de Croisier a augmenté pour 2 sujets du groupe NH Excentrique et a diminué pour l'un des sujets. Le ratio i-j / quadriceps était de 1,217 en moyenne lors du bilan initial et de 1,22 lors du bilan final.

En comparant les différences des résultats obtenus avant et après le programme de renforcement, il en ressort ceci :

- Le groupe isométrique a perdu 0,127 point de ratio en moyenne
- Le groupe excentrique a gagné 0,003 point de ratio en moyenne ($p = 0,4 > 0,05$).

4.2 Résultats sur l'EVA

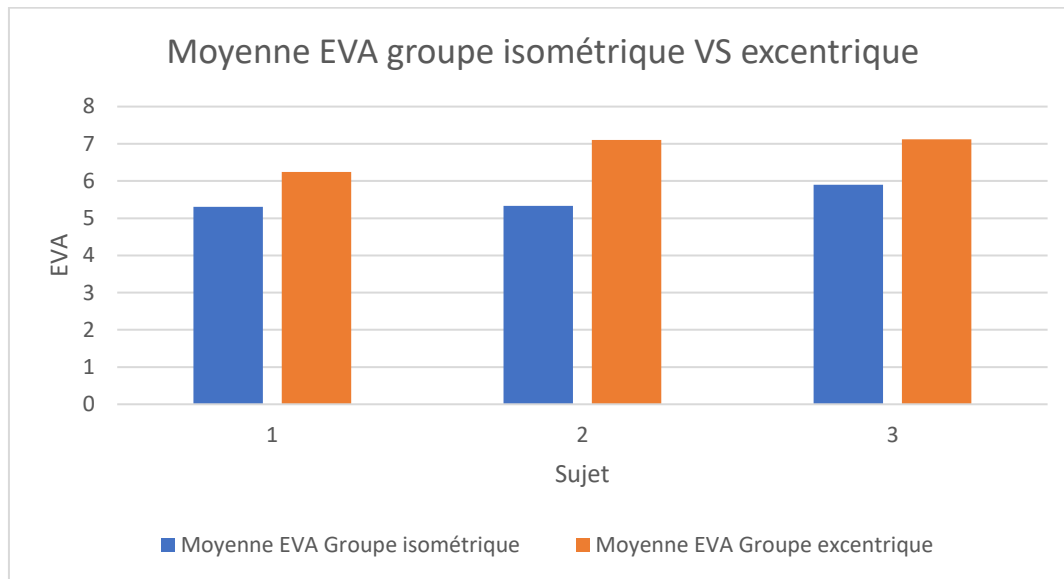


Figure 11 : Moyennes sur l'EVA obtenues pour chacun des sujets du groupe NH Isométrique et du groupe NH Excentrique.

Les résultats montrent une moyenne de l'EVA du groupe NH Isométrique (5,513) inférieure à celle du groupe NH Excentrique (6,82) avec une p-value de $0,1 > 0,05$.

4.3 Résultats de la force maximale (Moment Max) en excentrique des i-j à 30°/sec

Tableau II : Résultats de la force maximale en excentrique des i-j à 30°/sec du groupe NH Isométrique.

Groupe NH Isométrique : Moment Max (en N.m)			
Sujet	Avant	Après	Différence Avant/après
1	169,1	182,95	13,85
2	153,35	158,15	4,8
3	149,2	153,35	4,15
Moyenne	157,22	164,82	7,60
Ecart-type	10,5	15,89	5,42

Tableau III : Résultats de la force maximale en excentrique des i-j à 30°/sec du groupe NH Excentrique.

Groupe NH Excentrique : Moment Max (en N.m)			
Sujet	Avant	Après	Différence Avant/Après
1	219,6	183,4	-36,2
2	240,85	228,15	-12,7
3	143,05	133,5	-9,55
Moyenne	201,17	181,68	-19,48
Ecart-type	51,44	47,35	14,56

Les résultats, présentés ci-dessus, démontrent une amélioration de la force maximale en excentrique des i-j à 30°/sec pour le groupe NH Isométrique avec un gain de 7,6 N.m en moyenne. A l'inverse le groupe NH Excentrique présente une diminution de 19,48 N.m en moyenne ($p = 0,1 > 0,05$).

4.4 Résultats de la Distance doigts-sol

Tableau IV : Distance doigts-sol du groupe NH Isométrique.

Groupe NH Isométrique (distance en cm)			
Sujet	Avant	Après	Différence Avant/Après
1	0	-2	-2
2	16,5	13	-3,5
3	-4	-6	-2
Moyenne	4,17	1,67	-2,5
Ecart-type	10,87	10,02	0,87

Tableau V : Distance doigts-sol du groupe NH Excentrique.

Groupe NH Excentrique (distance en cm)			
Sujet	Avant	Après	Différence Avant/Après
1	6	3	-3
2	10	7	-3
3	7	4	-3
Moyenne	7,67	4,67	-3
Ecart-type	2,08	2,08	0

Le groupe NH Isométrique a gagné 2,5cm en moyenne contre 3cm pour le groupe NH Excentrique ($p=0,4 > 0,05$).

4.5 Résultats sur l'Angle Poplité

Tableau VI : Résultats de l'angle poplité du groupe NH Isométrique.

Groupe NH Isométrique (mesure en degré)			
Sujet	Avant	Après	Différence Avant/Après
1	87,5	90	2,5
2	69,5	75	5,5
3	90	90	0
Moyenne	82,33	85	2,67
Ecart-type	11,18	8,66	2,75

Tableau VII : Résultats de l'angle poplité du groupe NH Excentrique.

Groupe NH Excentrique (mesure en degré)			
Sujet	Avant	Après	Différence Avant/Après
1	72,5	80	7,5
2	69	77,5	8,5
3	73,25	80	6,75
Moyenne	71,58	79,17	7,58
Ecart-type	2,27	1,44	0,88

Les résultats montrent une augmentation de l'angle poplité des deux groupes avec un gain de 7,58° en moyenne pour le groupe NH Excentrique contre 2,67° pour le groupe NH Isométrique ($p=0,1 > 0,05$).

Tableau VIII : Récapitulatif des résultats de l'étude.

	Groupe NH Excentrique			Groupe NH Isométrique			Indice de significativité (0,05)
	Avant protocole	Après protocole	Résultat/Différence	Avant protocole	Après protocole	Résultat/Différence	
Ratio Mixte de Croisier	1,217 ± 0,146	1,22 ± 0,318	0,003 ± 0,177	1,24 ± 0,026	1,113 ± 0,05	-0,127 ± 0,077	p= 0,4
Moment Max en Exc des i-j à 30°/sec (N.m)	201,17 ± 51,44	181,68 ± 47,35	-19,48 ± 14,56	157,22 ± 10,5	164,82 ± 15,89	7,6 ± 5,42	p= 0,1
Distance doigts-sol (cm)	7,67 ± 2,08	4,67 ± 2,08	-3 ± 0	4,17 ± 10,87	1,67 ± 10,02	-2,5 ± 0,87	p= 0,4
Angle poplité (degré)	71,58 ± 2,27	79,17 ± 1,44	7,58 ± 0,88	82,33 ± 11,18	85 ± 8,66	2,67 ± 2,75	p=0,1
EVA	6,82 ± 0,502			5,513 ± 0,335			p= 0,1

Les résultats de cette étude comparative décrits dans le tableau ci-dessus (tab. VIII), montrent :

- une moyenne de l'EVA du groupe NH Isométrique (5,513) inférieure à celle du groupe NH Excentrique (6,82).
- une amélioration du moment max des i-j en excentrique (à 30°/sec) de 7,6 N.m pour le groupe NH Isométrique. Une diminution du moment max des i-j en excentrique (à 30°/sec) de 19,48 N.m pour le groupe NH Excentrique
- une augmentation du ratio du groupe NH Excentrique (+0,003) contre une faible baisse pour le groupe NH Isométrique (-0,127).

- une réduction de la distance doigts-sol de 3cm pour le groupe NH Excentrique et de 2,5cm pour le groupe NH Isométrique.
- une augmentation de l'angle poplité des deux groupes avec un gain de 7,58° en moyenne pour le groupe NH Excentrique contre 2,67° pour le groupe NH Isométrique.

5 Discussion

Comparer les effets d'un exercice isométrique en position du NH par rapport à l'exercice du NH excentrique était l'objectif de cette étude afin de potentiellement l'intégrer dans un programme de renforcement ou d'une rééducation kinésithérapeutique post-lésionnelle.

Les résultats traduisent une amélioration du groupe NH Excentrique en ce qui concerne la souplesse musculaire. En effet l'angle poplité a augmenté de 7,58°. La distance doigts-sol s'est réduite de 3cm en moyenne.

Le groupe NH Isométrique, quant à lui, n'a démontré qu'une légère amélioration des résultats sur l'aspect souplesse musculaire. L'angle poplité a augmenté de seulement 2,67° en moyenne et la distance doigts-sol s'est réduite de 2,5cm en moyenne. Ces valeurs permettent de confirmer l'hypothèse initiale quant à la supériorité d'un programme de renforcement NH excentrique par rapport au NH isométrique sur la souplesse musculaire.

Les résultats sur le ratio i-j / quadriceps montrent une légère différence entre les deux groupes. Le ratio mixte de Croisier a évolué de 0,003 point pour le groupe NH Excentrique contre une diminution de 0,127 point pour le groupe NH Isométrique. Plusieurs études (Lee JWY, 2018) [40], (Croisier JL, 2008) [22], ont montré une amélioration du ratio mixte i-j/quadriceps par un travail excentrique de plusieurs semaines, ce qui est en accord avec les résultats décrits dans ce mémoire, bien que ceux-ci soient peu significatifs ($p=0,4 > 0,05$).

La force maximale excentrique des i-j a augmenté de 7,6 N.m pour le groupe NH Isométrique contre une diminution de 19,48 N.m pour le groupe NH Excentrique. Ces écarts de résultats pourraient être la conséquence d'une meilleure participation du groupe NH Isométrique à l'exercice.

Les résultats sur l'EVA permettent de confirmer l'hypothèse émise en début d'étude. En effet le groupe NH Isométrique montre une EVA inférieure (5,513) à celle du groupe NH Excentrique (6,82). Cette différence de 1,307 point sur l'EVA traduit d'une perception de la douleur plus faible du groupe NH Isométrique. Ces deux valeurs restent tout de même élevées, ce qui met en avant la difficulté de ces deux types d'exercices.

Bien que ces valeurs semblent probantes pour certains paramètres, le degré de significativité reste inférieur à celui attendu. Même si la p-value se rapproche de l'indice ($p=0,05$) pour l'EVA, l'angle poplité et la force maximale, elle ne descend cependant pas en dessous de $p=0,1$. Les différences entre les deux groupes ne sont donc pas significatives. Plusieurs limites à l'étude, citées ci-dessous, pourraient en être la cause.

5.1 Limites de l'étude

Plusieurs limites ont pu être observées au cours de cette intervention expérimentale.

Tout d'abord, le nombre restreint de participants ne permet pas d'avoir des différences significatives entre les deux groupes, et de ce fait, une variation des résultats importante d'un des sujets du groupe influence considérablement les résultats du groupe entier. L'écart type de 14,56 dans le groupe NH Excentrique et de 5,42 dans le groupe NH Isométrique pour le moment de force maximale met en avant cet effet.

De plus, les sujets avaient tous un âge compris entre 21 et 27 ans et étaient essentiellement composés d'hommes (75%). Ces constats ne permettent donc pas de généraliser les résultats à l'ensemble de la population.

L'athlétisme est un sport qui comprend beaucoup de disciplines et cette étude s'est centrée sur les sprinters de 100, 200 et 400m. Elle n'a donc pas pris en considération une population de hurdlers qui sollicitent leurs i-j de manière plus intense en raison des gestes techniques (passage de haies) qui leurs sont propres. De plus, les entraînements des sprinters varient en fonction de leurs disciplines et ainsi la filière énergétique utilisée n'est pas la même entre un sprinter de 100m (filière énergétique préférentielle : anaérobie alactique) et un sprinter de 400m (filière énergétique

préférentielle : anaérobie lactique). Celle-ci a probablement eu une influence sur les mesures isocinétiques qui demandent des efforts d'intensité élevée sur une courte durée.

Le contexte dans lequel les mesures ont été prises n'était pas le même lors du bilan initial et final (préparation ou post compétitions, matin et soir, en semaine ou le week-end...). Ces éléments ont à priori eu une influence sur la fatigue, la force et sur la souplesse musculaire des participants.

De plus la littérature [41] indique que le dynamomètre de type Biodex a une précision de mesure de 90% ce qui laisse 10% d'erreur de précision attribuable à celle-ci.

Enfin, il est important de souligner que les encouragements donnés pendant le test peuvent avoir un impact sur les résultats. En effet, Rendos et al., (2019) [42] nous indiquent que les mots utilisés, la fréquence, le volume ou encore la hauteur des encouragements peuvent influencer les résultats lors de la réalisation d'un test isocinétique sur les fléchisseurs et extenseurs du genou. Or, les paramètres d'encouragements n'ont pas été les mêmes pour tous les sujets du fait de la difficulté d'avoir des encouragements strictement égaux pour chaque patient. Cet élément est démontré par la différence du coefficient de variance et peut donc avoir un impact sur la validité interne de cette étude.

Ainsi, le protocole de cette dernière pourrait en revanche servir à la conception d'une étude contrôlée et randomisée à plus grande échelle.

6 Recommandations pour la pratique

Les participants à cette étude clinique présentaient pour plus de 60 % d'entre eux une blessure aux i-j. Le sous entraînement de ce groupe musculaire postérieur de cuisse, lors de la préparation physique, pourrait être à l'origine de la fréquence de ces blessures. Suite à cette étude différents principes de rééducations peuvent s'extraire. L'étude et les revues de la littérature (Van Dyk et al. 2019 [4], Rio E et al. 2014 [6]) démontrent les effets bénéfiques d'un renforcement NH Isométrique et NH Excentrique.

Toute blessure musculaire engendre un arrêt partiel des entraînements et, après cicatrisation, la référence à la douleur est un outil essentiel pour atteindre l'objectif de renforcement sans

atteindre le seuil de récurrence de blessure. Le NH Isométrique permet le choix de la mise en tension précise du corps musculaire et de l'intensité, permettant ainsi d'accéder à la possibilité de gain de force et de souplesse en secteur protégé avec un contrôle sur la douleur.

Néanmoins, il est aussi indispensable d'envisager une préparation physique permettant de limiter le nombre de blessure voire de s'en affranchir. Chez les athlètes ne présentant pas de facteur limitant lié à un antécédent de blessure, le NH Excentrique reste un outil intéressant pour la recherche d'un ratio i-j / quadriceps équilibré en optimisant le capital musculaire des i-j, protecteur de l'articulation fémoro-tibiale et du ligament croisé antérieur (Croisier JL, 2008) [22].

Ceci nous amène à proposer les recommandations suivantes :

- intégrer un programme de renforcement NH Isométrique pour une population sensible à la douleur tout en développant la force maximale dans un angle spécifique et avec une possibilité d'action sur d'autres éléments comme diminuer la pression artérielle, ce qui est élément de santé capital.

- favoriser un protocole incluant le NH Excentrique pour une population souhaitant performer sur le renforcement musculaire via une augmentation du taux d'IGF-1 entre autres, avec également la particularité de réduire la consommation d'oxygène tissulaire. Ce type de renforcement permet en outre d'améliorer le ratio i-j / quadriceps en cas d'insuffisance des i-j et de favoriser le gain de souplesse musculaire, ce qui est un facteur clé dans la prévention des blessures.

Dans la pratique, ces programmes de prises en charge peuvent s'inclure dans des protocoles de réhabilitation fonctionnelle post blessure ou en programme de préparation physique.

7 Conclusion

Les lésions myo-aponévrotiques des i-j sont fréquemment retrouvées chez les sprinters et le NH excentrique est un exercice souvent utilisé en prévention de ces blessures (Van Dyk et al., 2019. Petersen et al., 2011). Cependant, c'est un exercice douloureux et sa bonne exécution est difficile. Une variante a donc été proposée et cette étude avait pour objectif de comparer les effets d'un exercice isométrique en position du NH, par rapport à l'exercice du NH excentrique, afin de potentiellement intégrer le NH isométrique dans une rééducation kinésithérapeutique.

Bien que le NH excentrique améliore la souplesse musculaire ($p > 0,05$), le NH isométrique présente, quant à lui, des résultats satisfaisants sur la douleur et sur le renforcement musculaire. En effet le score obtenu sur l'EVA au cours d'un exercice NH isométrique est inférieur à celui obtenu lors d'un exercice NH excentrique ($p = 0,1 > 0,05$). La force maximale excentrique des i-j serait augmentée de manière plus importante après 6 semaines de renforcement NH isométrique ($p = 0,1 > 0,05$).

Le ratio i-j / quadriceps semblerait être amélioré par un renforcement NH excentrique alors que le NH isométrique diminuerait ce ratio ($p = 0,4 > 0,05$).

Cependant, malgré un gain global des deux groupes sur les différents paramètres étudiés, la non-significativité des résultats et les nombreuses limites ne permettent pas d'en tirer une quelconque conclusion.

Toutefois ce travail peut servir de base à la conception d'une future étude, contrôlée et randomisée. Les éléments évoqués précédemment, associés à un effectif plus important, permettraient d'obtenir un potentiel résultat significatif.

Une autre étude, avec une population composée uniquement de patients en soins kinésithérapeutiques, incluant ces deux types d'exercices pourrait aussi être envisagée. Cette intervention aurait pour objectif de comparer les effets des deux programmes entre eux pour en déterminer les avantages et les inconvénients. Des protocoles de rééducation pourraient ainsi être mis en place en fonction de l'objectif recherché par le masseur-kinésithérapeute.

Bibliographie

- [1] FFA : <https://www.athle.fr/asp.net/main.forums/expand.aspx?post=21821>
- [2] Edouard P, Branco P, Alonso JM. 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 May;50(10):619-30. doi: 10.1136/bjsports-2015-095559. Epub 2016 Feb 17.
- [3] Edouard P, Depiesse F, Branco P, Alonso JM. Analyses of Helsinki 2012 European Athletics Championships injury and illness surveillance to discuss elite athletes risk factors..*Clin J Sport Med*. 2014 Sep;24(5):409-15. doi: 10.1097/JSM.0000000000000052. PMID: 24326930
- [4] Van Dyk, Behan, Whiteley. Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes.. 2019
- [5] Proske U, Morgan DL Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications.. *J Physiol*. 2001 Dec 1;537(Pt 2):333-45.
- [6] Rio E, Kidgell D, Purdam C, Gaida J, Moseley GL, Pearce AJ, Cook J. Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar tendinopathy.. *Br J Sports Med*. 2015 Oct;49(19):1277-83. doi: 10.1136/bjsports-2014-094386. Epub 2015 May 15.
- [7] Loaiza-Betancur AF, Pérez Bedoya E, Montoya Dávila J, Chulvi-Medrano I. Effect of Isometric Resistance Training on Blood Pressure Values in a Group of Normotensive Participants: A Systematic Review and Meta-analysis.. *Sports Health*. 2020 Mar 17:1941738120908070. doi: 10.1177/1941738120908070.
- [8] Carlson DJ, Dieberg G, Hess NC, Millar PJ, Smart NA. Isometric exercise training for blood pressure management: a systematic review and meta-analysis.. *Mayo Clin Proc*. 2014 Mar;89(3):327-34. doi: 10.1016/j.mayocp.2013.10.030
- [9] Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jørgensen E, Hölmich P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial.. *Am J Sports Med*. 2011 Nov;39(11):2296-303. doi: 10.1177/0363546511419277. Epub 2011 Aug 8.
- [10] Elaine N. Marieb, Katja Hoehn, 2013 Human Anatomy and Physiology, 9th edition.
- [11] Dufour M, Pillu M. Biomécanique fonctionnelle. Paris : Éditions Masson, 2007.
- [12] Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur. Tome I : Membre inférieur. Paris : Éditions Masson, 2001
- [13] Ferré J, Leroux P. Préparation aux brevets d'État d'éducateur sportif : bases physiologiques de l'entraînement. Paris : Éditions Amphora, 1985
- [14] Legeard E. Force, entraînement et musculation : de la théorie à la pratique. Paris : Éditions Amphora, 2005.
- [15] Garrett WE Jr, Califf JC, Bassett FH 3rd Histochemical correlates of hamstring injuries.. *Am J Sports Med*. 1984 Mar-Apr;12(2):98-103.
- [16] Jones, D., Round, J. & De Haan, A, 2005. Physiologie du muscle squelettique : De la structure au mouvement. Paris : Elsevier.
- [17] Stanish WD, Rubinovich RM, Curwin S. Eccentric exercise in chronic tendinitis.. *Clin Orthop Relat Res*. 1986 Jul;(208):65-8.
- [18] Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury.. *Sports Med*. 2012 Mar 1;42(3):209-26. doi: 10.2165/11594800-000000000-00000.

- [19] Heiderscheit BC, Sherry MA, Silder A, Chumanov ES, Thelen DG. Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention.. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):67-81. doi: 10.2519/jospt.2010.3047.
- [20] Kumazaki T, Ehara Y, Sakai T Anatomy and physiology of hamstring injury. Int J Sports Med. 2012 Dec;33(12):950-4. doi: 10.1055/s-0032-1311593. Epub 2012 Aug 15.
- [21] P.Edouard, J.-M.Serra, J.Pruvost, F.Depiesse Les lésions musculaires des ischio-jambiers. Muscle injury hamstring <https://doi.org/10.1016/j.jts.2013.02.001> Journal de Traumatologie du Sport, Volume 30, Issue 3, September 2013, Pages 176-184
- [22] Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study.. Am J Sports Med. 2008 Aug;36(8):1469-75. doi: 10.1177/0363546508316764. Epub 2008 Apr 30.
- [23] Wiemann K, Tidow G.Relative activity of hip and knee extensors in sprinting: implications for training. New Studies in Athletics1995;10(1):29-49.
- [24] Alonso JM, Edouard P, Fischetto G, Adams B, Depiesse F, Mountjoy M Determination of future prevention strategies in elite track and field: analysis of Daegu 2011 IAAF Championships injuries and illnesses surveillance.. Br J Sports Med. 2012 Jun;46(7):505-14. doi: 10.1136/bjsports-2012-091008. Epub 2012 Apr 20.
- [25] Tokutake G , et al, T. G. (2018). The Risk Factors of Hamstring Strain Injury Induced by High-Speed Running. - PubMed - NCBI.
- [26] Edouard P et Degache F. Guide D'isocinétisme : Des Concepts Aux Conditions Sportives et Pathologiques 2016, Pages 289-323
- [27] Croisier JL, Codine P. Exercice musculaire excentrique, 2009. Editeur: MASSON
- [28] Woods KA, Camacho-Hübner C, Bergman RN, Barter D, Clark AJ, Savage MO, Effects of insulin-like growth factor I (IGF-I) therapy on body composition and insulin resistance in IGF-I gene deletion , J Clin Endocrinol Metab, 2000;85:1407-1411.
- [29] Lieber RL, Fridén J. Mechanisms of muscle injury after eccentric contraction. J Sci Med Sport. 1999 Oct;2(3):253-65.
- [30] Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. Sports Med. 2017 Apr;47(4):663-675. doi: 10.1007/s40279-016-0624-8.
- [31] Cornelissen VA, Smart NA. Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta-analysis. J Am Heart Assoc. 2013 Feb 1;2(1):e004473. doi: 10.1161/JAHA.112.004473.
- [32] Thibedeau C. Theorie et Application de Methodes Modernes de Force et de Puissance: Methodes modernes pour developper une super-force. 2013 Editeur : F Lepine Publishing.
- [33] Hoeger Bement MK, Dicapo J, Rasiarmos R, Hunter SK. Dose response of isometric contractions on pain perception in healthy adults.. Med Sci Sports Exerc. 2008 Nov;40(11):1880-9. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817
- [34] Burgess KE, Connick MJ, Graham-Smith P, Pearson SJ. Plyometric vs. isometric training influences on tendon properties and muscle output..J Strength Cond Res. 2007 Aug;21(3):986-9.
- [35] A.Morichon. Fiabilité et accord interévaluateurs de trois méthodes de mesure des amplitudes articulaires lors de leur utilisation par des étudiants en 1re année de kinésithérapie, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2017.02.060>

- [36] Boonstra AM, Schiphorst Preuper HR, Reneman MF, Posthumus JB, Stewart RE. Reliability and validity of the visual analogue scale for disability in patients with chronic musculoskeletal pain. *Int J Rehabil Res*. 2008 Jun;31(2):165-9. doi: 10.1097/MRR.0b013e3282fc0f93.
- [37] Yen YR, Luo JF, Liu ML, Lu FJ, Wang SR. The Anthropometric Measurement of Schober's Test in Normal Taiwanese Population. *Biomed Res Int*. 2015;2015:256365. doi: 10.1155/2015/256365. Epub 2015 Jul 27.
- [38] Ribeiro-Alvares JB, Marques VB, Vaz MA, Baroni BM. Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. *J Strength Cond Res*. 2018 May;32(5):1254-1262. doi: 10.1519/JSC.0000000000001975.
- [39] Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, Rider PM, Kulas AS. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *Eur J Appl Physiol*. 2017 May;117(5):943-953. doi: 10.1007/s00421-017-3583-3. Epub 2017 Mar 9.
- [40] Lee JWY, Mok KM, Chan HCK, Yung PSH, Chan KM. Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *J Sci Med Sport*. 2018 Aug;21(8):789-793. doi: 10.1016/j.jsams.2017.11.017. Epub 2017 Dec 5.
- [41] Système d'évaluation et de rééducation multi-articulaires isocinétiques Biodex S4 mode d'emploi
- [42] Rendos NK, Harriell K, Qazi S, Regis RC, Alipio TC, Signorile JF. Variations in Verbal Encouragement Modify Isokinetic Performance. *J Strength Cond Res*. 2019 Mar;33(3):708-716. doi: 10.1519/JSC.0000000000002998.

Liste des tableaux et figures

Figure 1 : Groupe musculaire des ischio-jambiers en vue postérieure. (Source : réseau d'enseignement de la danse)

Figure 2 : Aspect des ischio-jambiers en vue postérieure. (Source : Dufour M, 2001)

Figure 3 : Méthode suivie au cours de l'étude.

Figure 4 : Position de départ (1). (Auteur : Ladriere Tom)

Figure 5 : Position intermédiaire (2). (Auteur : Ladriere Tom)

Figure 6 : Position finale. (Auteur : Ladriere Tom)

Figure 7 : Position de départ et finale. (Auteur : Ladriere Tom)

Figure 8 : Position intermédiaire. (Auteur : Ladriere Tom)

Figure 9 : Résultats avant et après le programme de renforcement du groupe NH Isométrique

Figure 10 : Résultats avant et après le programme de renforcement du groupe NH Excentrique.

Figure 11 : Moyennes sur l'EVA obtenues pour chacun des sujets du groupe NH Isométrique et du groupe NH Excentrique.

Tableau I : Protocole de renforcement du Nordic Hamstring (selon Seymore KD, 2017).

Tableau II : Résultats de la force maximale en excentrique des i-j à 30°/sec du groupe NH Isométrique.

Tableau III : Résultats de la force maximale en excentrique des i-j à 30°/sec du groupe NH Excentrique.

Tableau IV : Distance doigts-sol du groupe NH Isométrique.

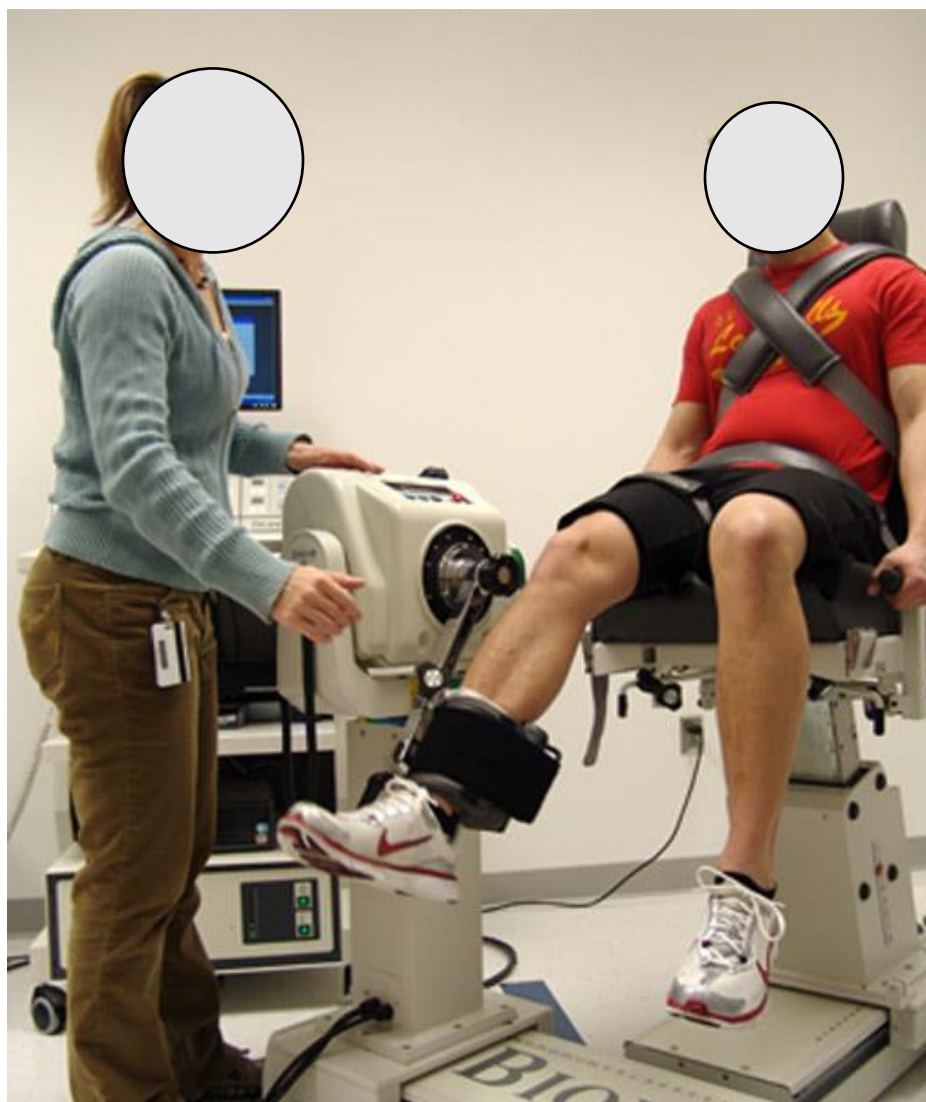
Tableau V : Distance doigts-sol du groupe NH Excentrique.

Tableau VI : Résultats de l'angle poplité du groupe NH Isométrique.

Tableau VII : Résultats de l'angle poplité du groupe NH Excentrique.

Tableau VIII : Récapitulatif des résultats de l'étude.

Annexes



Annexe I : Dynamomètre isocinétique Biodex (Source : Natural touch rehabilitation centre)

BIODEX REGLAGES

Initialisation terminée.

Allumer l'ordinateur.

Patient

- Ajout
- Nom poids code #

Sauvegarder

Fermer

Protocole

- Protocole isocinétique genou bilatéral
- Conc/Conc 240° / 60°
- Ou Protocole isocinétique genou passif bilatéral
- Excentrique 30°

Réglages

Profondeur de l'assise : deux travers de doigt genou siège (manuel)

Hauteur du siège

Avancée du siège : condyle latéral en regard de la molette (manuel)

Bras de levier, deux travers de doigt des malléoles

Amplitudes Limites

Contrôle informatique

Effacer les limites

Extérieur : extension blocage régler

Intérieur : flexion blocage régler

Continuer

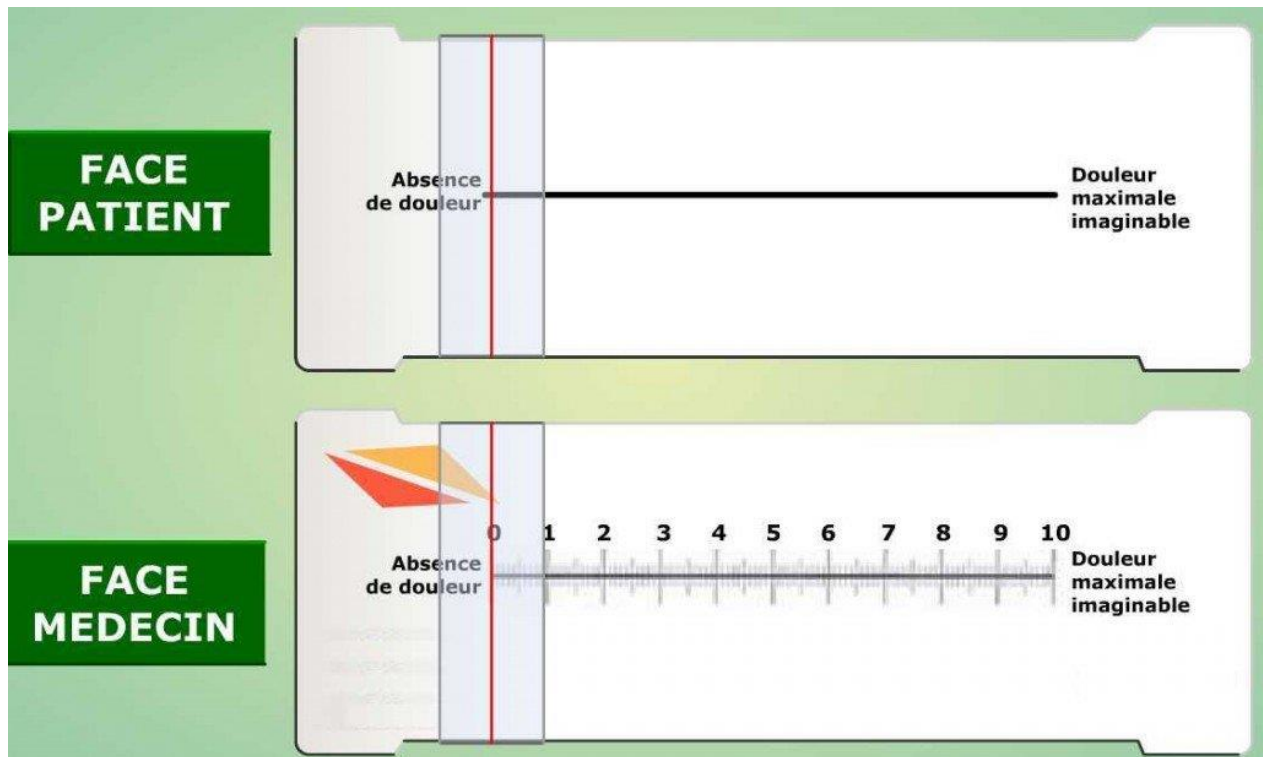
Régler le 90 ° blocage - clic sur image goniomètre

Poids de la jambe à 25 ° bloquer courbe plate cliquer sur l'image.

Période d'essai avant test. Laisser le membre inférieur en position de départ pour

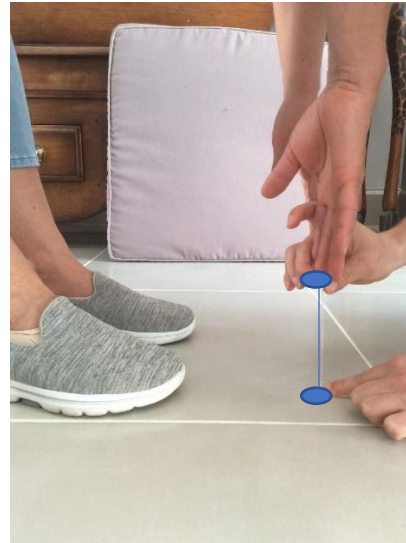
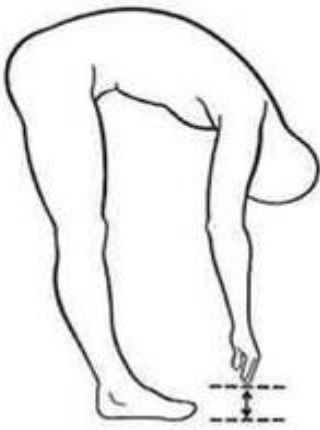
Débuter le test _ GO

Annexe II : Fiche d'utilisation du dynamomètre isocinétique Biodex.



Annexe III : Echelle Visuelle Analogique (EVA). (Source : <https://www.ambulancier.fr/leva-echelle-visuelle-analogique>)

L'évaluateur montre la face « patient » au sprinter et ce dernier doit placer le curseur qu'il mobilise le long d'une ligne droite dont l'une des extrémités correspond à « *Absence de douleur* », et l'autre à « *Douleur maximale imaginable* ». Le sprinter doit positionner le curseur à l'endroit qui situe le mieux sa douleur. Sur l'autre face, se trouvent des graduations millimétrées vues seulement par l'évaluateur. La position du curseur mobilisé par le sprinter permet de lire l'intensité de la douleur.



Annexe IV : Mesure de la distance doigts-sol.

Le sujet réalise une flexion antérieure du tronc en déroulant le dos et en gardant les pieds serrés à hauteur du bassin. Les genoux restent tendus. Il tend les bras de manière à ce qu'ils soient perpendiculaires au sol puis l'évaluateur mesure la distance entre le majeur du sujet et le sol à l'aide d'un mètre ruban. Cette mesure est un indicateur sur la souplesse de la chaîne postérieure des membres inférieurs et du tronc.

Quelques points importants sont à respecter lors de la mesure :

- Ne pas plier les genoux, ce qui diminuerait la distance doigts-sol.
- Le mouvement de bascule du buste vers l'avant doit être progressif, sans secousse. Celle-ci risquerait d'activer un réflexe myotatique entraînant des contractions des ischio jambiers.
- Veiller à ne pas réaliser ce test trop rapidement. La position finale, doigts vers le sol, doit pouvoir être stabilisée quelques secondes pour rendre la mesure plus précise.
- Toujours réaliser ce test dans les mêmes circonstances. L'échauffement tendino-musculaire augmente naturellement la souplesse et améliore le test, ce qui pourrait fausser une analyse comparative d'un test à l'autre.



Annexe V : Mesure de l'angle poplité. (Source : Kinotes)

Le sujet est en décubitus. L'évaluateur effectue une flexion de hanche et de genou à 90° puis une extension du genou. Lorsque la tension des i-j est maximale, l'évaluateur place le centre de son goniomètre au niveau de l'interligne articulaire du genou, une branche en direction de la malléole externe et l'autre branche en direction du grand trochanter. Il relève ensuite l'angle indiqué sur le goniomètre. La même mesure est effectuée sur les deux membres inférieurs.

Fiche de présentation de l'athlète

NOM :

Prénom :

Date de naissance :

Groupe :

Taille :

Poids :

Latéralité :

H/F :

Discipline sportive :

Antécédents médicaux :

-
-
-

Réglages du siège lors du bilan isocinétique :

- Profondeur du siège :
- Hauteur du siège :
- Avancée de l'assise :
- Dynamo Droit :
- Dynamo Gauche :
- Bras du dynamo :

Mesures :

	Pré-test	Post-test
Distance doigts-sol		
Angle poplité	D : G :	D : G :

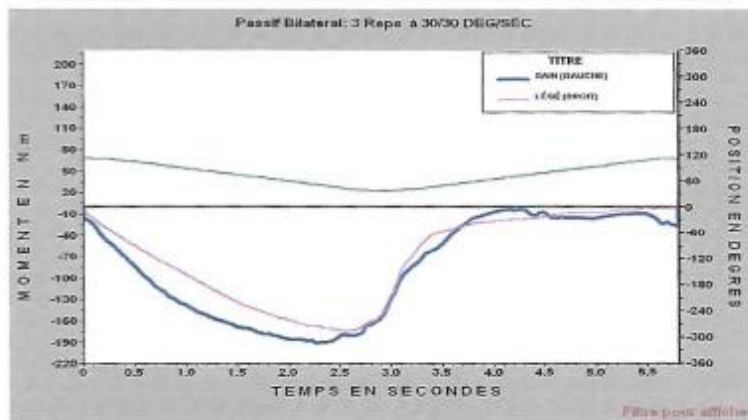
Douleur moyenne ressentie lors des exercices (EVA) :

Annexe VI : Fiche de présentation du sujet.

Evaluation comprehensive

Nom: [REDACTED] Séance: 04/02/2020 18:47:29 Filtrage: Aucun
 Code: #PEPIMEM Côté Lésé: Droit Protocole: Passif Bilatéral
 Né(e)le: (dd/MM/yyyy) Clinicien: Mouvement: Extension/Flexion
 Taille (cm): Correspondant: Mode: Passif
 Poids (kg): 76.0 Articulation: Genou Contraction: Exc/Exc
 Sexe: Masculin Diagnostic: Gravité: Pas de correction pesanteur bilatéral à 3 vitesses

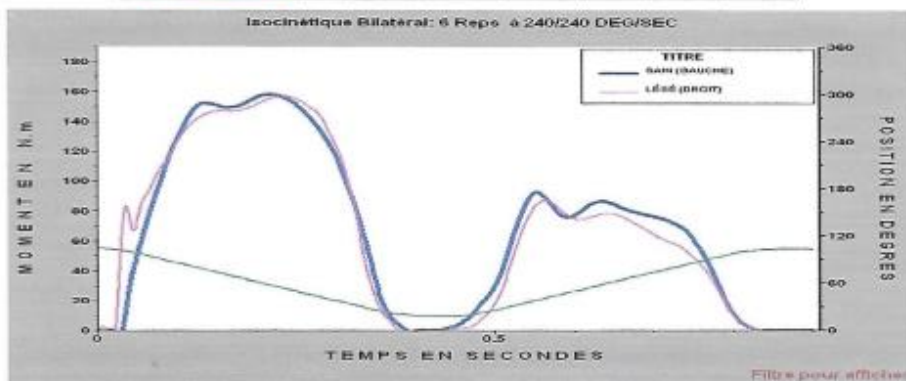
EXTENSION 30 DEG/SEC				FLEXION 30 DEG/SEC			
NB de REPS: Droit 3		SAN	LESE	DEFICIT	SAN	LESE	DEFICIT
NB de REPS: Gauche 3		GAUCHE	DRIT		GAUCHE	DRIT	
MOMENT MAX	N.m	191.2	174.7	8.6	158.7	154.7	2.5
MOM. MAX / POIDS	%	252.2	230.4		209.3	204.0	
TEMPS MOM. MAX	ms	2290.0	2600.0		10.0	10.0	
ANGLE AU MOMENT MAX	DEG	51.0	38.0		36.0	31.0	
MOMENT À 30.0 DEG	N.m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MOMENT À 0.18 SEC	N.m	39.7	25.3	36.2	111.5	103.5	7.2
COEFF. DE VARGANCE	%	8.5	14.3		20.4	12.7	
TRAVAIL MAX	N.m	195.1	163.1	16.4	32.2	28.4	11.7
N° REP. AU TRAVAIL MAX	#	3	2		3	2	
TRAVAIL / POIDS	%	257.4	215.1		42.5	37.5	
TRAVAIL TOTAL	N.m	532.1	428.0	19.6	84.1	58.5	30.4
TRAVAIL 1er TIERS	N.m	147.1	125.9		30.0	15.5	
TRAVAIL 2ième TIERS	N.m	195.1	139.1		31.7	14.2	
FATIGUE AU TRAVAIL	%	-32.6	-10.5		-5.6	8.3	
PUISSANCE MOYENNE	WATTS	61.7	48.3	21.8	9.6	6.5	31.7
DUREE ACCELERATION	ms	330.0	320.0		360.0	370.0	
DUREE DECELERATION	ms	150.0	130.0		190.0	180.0	
AMPLITUDE	DEG	74.8	77.0		74.8	77.0	
MOM. MAX MOY.	N.m	181.3	153.0		131.7	137.4	
RAPPORT AGOINTA	%	83.0	88.5	0: N/A			



Evaluation comprehensive

Nom: [REDACTED] Séance: 04/02/2020 18:38:16 Filtrage: Isocinétique
 Code: #PEPIMEM Côté Lésé: Droit Protocole: Isocinétique Bilatéral
 Né(e)le: (dd/MM/yyyy) Clinicien: Mouvement: Extension/Flexion
 Taille (cm): Correspondant: Mode: Isocinétique
 Poids (kg): 76.0 Articulation: Genou Contraction: Con/Con
 Sexe: Masculin Diagnostic: Gravité: 24 N.m à 25 Grav. angle:

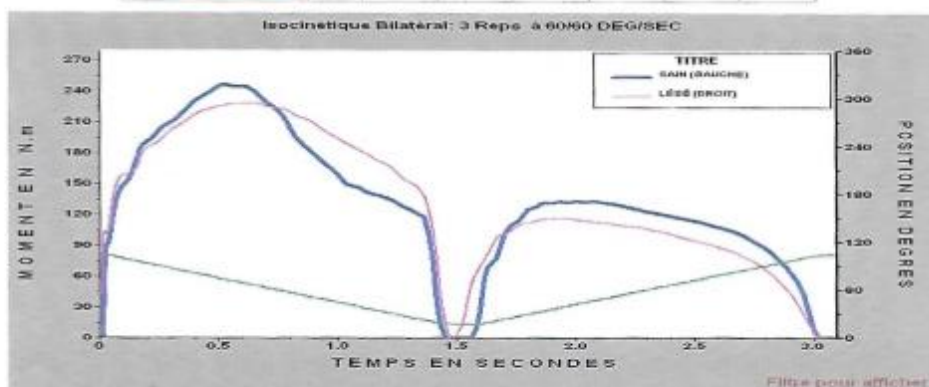
EXTENSION 240 DEG/SEC				FLEXION 240 DEG/SEC			
NB de REPS: Droit 6		SAN	LÉSÉ	DEBIT	SAN	LÉSÉ	DEBIT
NB de REPS: Gauche 6		GAUCHE	DRIT		GAUCHE	DRIT	
MOMENT MAX	N.m	158.0	156.9	0.7	92.6	87.3	5.7
MOM. MAX / POIDS	%	208.4	206.9		122.1	115.1	
TEMPS MOM. MAX	ms	230.0	230.0		110.0	120.0	
ANGLE AU MOMENT MAX	DEG	57.0	53.0		38.0	43.0	
MOMENT À 30.8 DEG	N.m	52.9	27.6	47.9	58.8	28.6	51.4
MOMENT À 0.18 SEC	N.m	150.7	150.2	0.4	86.5	78.4	9.4
COEFF. DE VARIANCE	%	7.1	5.0		23.2	16.1	
TRAVAIL MAX	N.m	165.5	155.5	6.0	91.1	73.1	18.8
N° REP. AU TRAVAIL MAX	#	2	2		1	1	
TRAVAIL / POIDS	%	218.3	205.1		120.1	98.4	
TRAVAIL TOTAL	N.m	944.3	845.0	10.5	481.2	395.6	17.8
TRAVAIL 1er TIERS	N.m	345.0	315.3		176.3	144.2	
TRAVAIL 3ème TIERS	N.m	260.8	225.6		133.7	115.5	
FATIGUE AU TRAVAIL	%	24.4	28.5		24.2	19.9	
PUISSANCE MOYENNE	WATTS	339.7	321.3	5.4	171.9	152.7	11.1
DUREE ACCELERATION	ms	60.0	50.0		50.0	50.0	
DUREE DECELERATION	ms	100.0	100.0		100.0	80.0	
AMPLITUDE	DEG	87.1	80.3		87.1	80.3	
MOM. MAX MOY.	N.m	146.1	145.9		79.0	77.5	
RAPPORT AGOANTA	%	58.6	55.6	0: N/A			



Evaluation comprehensive

Nom: [REDACTED] Séance: 04/02/2020 18:38:16 Filtrage: Isocinétique
 Code: #PEPIMEM Côté Lésé: Droit Protocole: Isocinétique Bilatéral
 Né(e)le: (dd/MM/yyyy) Clinicien: Mouvement: Extension/Flexion
 Taille (cm): Correspondant: Mode: Isocinétique
 Poids (kg): 76.0 Articulation: Genou Contraction: Con/Con
 Sexe: Masculin Diagnostic: Gravité: 24 N.m à 25 Grav. angle:

EXTENSION 60 DEG/SEC				FLEXION 60 DEG/SEC			
NB de REPS: Droit 3				NB de REPS: Gauche 3			
	SAIN	LÉSÉ	DEFICIT		SAIN	LÉSÉ	DEFICIT
	GAUCHE	DROIT			GAUCHE	DROIT	
MOMENT MAX	N.m	246.3	228.3	7.3	132.9	116.8	12.1
MOM. MAX / POIDS	%	324.9	301.1		175.3	154.0	
TEMPS MOM. MAX	ms	530.0	550.0		500.0	360.0	
ANGLE AU MOMENT MAX	DEG	73.0	67.0		46.0	45.0	
MOMENT À 30.0 DEG	N.m	134.1	144.6	-7.8	124.8	90.3	27.7
MOMENT À 0.16 SEC	N.m	186.9	186.8	0.0	114.7	105.9	7.7
COEFF. DE VARANCE	%	4.5	3.4		2.7	5.0	
TRAVAIL MAX	N.m	270.6	244.2	9.7	160.1	120.3	24.9
N° REP. AU TRAVAIL MAX	#	1	3		1	1	
TRAVAIL / POIDS	%	356.9	322.1		211.1	158.6	
TRAVAIL TOTAL	N.m	795.2	711.0	10.8	468.3	343.0	26.7
TRAVAIL 1er TIERS	N.m	270.6	238.0		160.0	120.3	
TRAVAIL 3ème TIERS	N.m	254.7	244.2		148.5	112.9	
FATIGUE AU TRAVAIL	%	5.9	-2.6		7.2	6.1	
PUISSANCE MOYENNE	WATTS	173.2	174.7	-0.8	106.2	86.2	18.8
DUREE ACCELERATION	ms	30.0	10.0		40.0	30.0	
DUREE DECELERATION	ms	170.0	70.0		80.0	40.0	
AMPLITUDE	DEG	87.9	80.5		87.9	80.5	
MOM. MAX MOY.	N.m	235.3	219.8		130.5	110.6	
RAPPORT AGCIANTA	%	53.9	51.1	0: 61.0			



Consentement éclairé

Je soussigné(e), né (e) le à, certifie avoir donné mon accord pour participer à une étude dans le cadre d'un mémoire de recherche en masso-kinésithérapie.

Au cours de cette expérience, j'accepte que différentes mesures soient effectuées et je comprends que ces données recueillies sont strictement confidentielles et à usage exclusif des investigateurs concernés.

J'ai été informé(e) que mon identité n'apparaîtra dans aucune publication et que toute information me concernant sera traitée dans la confidentialité.

J'accepte que les données enregistrées au cours de l'étude puissent être conservées dans une base de données et faire l'objet d'un traitement non nominatif.

Je suis conscient(e) que ma participation n'est pas obligatoire et que je peux me désister à tout moment sans justification.

Date et signature, précédées de la mention « lu et approuvé » :