

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION LORRAINE
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE
DE NANCY

**Effet de la fatigue locale des membres inférieurs
et de la récupération
sur la
qualité du contrôle postural statique**

Mémoire présenté par Charlotte HANRIOT
étudiante en 3^{ème} année de masso-kinésithérapie
en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
de Masseur-Kinésithérapeute
2014-2015

SOMMAIRE

RESUME

1. INTRODUCTION	1
2. CADRE THEORIQUE	2
2.1. La fonction d'équilibration	2
2.1.1. <i>Mécanisme</i>	2
2.1.2. <i>L'évaluation</i>	4
2.2. L'épreuve de fatigue : travail isométrique continu maximal	5
2.2.1. <i>Analyse théorique de la fatigue</i>	5
2.2.2. <i>Analyse cinésiologique de la position de fatigue</i>	5
2.3. La récupération	8
3. MATÉRIEL ET MÉTHODE	8
3.1. Méthode de recherche bibliographique	8
3.2. Matériel d'expérimentation	10
3.2.1. <i>Matériel</i>	10
3.2.2. <i>Population</i>	11
3.3. Méthode d'analyse	11
3.3.1. <i>Avant propos</i>	11
3.3.2. <i>Installation du matériel</i>	12
3.3.3. <i>Paramètres évalués</i>	12
3.3.4. <i>Prise de mesure</i>	13
3.3.5. <i>Réalisation de l'épreuve travail statique continu maximal</i>	14
3.3.6. <i>Récupération</i>	15
3.3.7. <i>Méthode statistique</i>	16
4. RÉSULTATS	16
4.1. Analyse du questionnaire	16
4.2. Analyse des différents paramètres posturaux	17

4.2.1.	<i>Surface</i>	17
4.2.2.	<i>La longueur</i>	19
4.2.3.	<i>La longueur X</i>	20
4.2.4.	<i>La longueur Y</i>	22
4.2.5.	<i>L.F.S.</i>	23
5.	DISCUSSION	24
5.1.	Validité interne	25
5.1.1.	<i>Le matériel</i>	25
5.1.2.	<i>La méthode</i>	25
5.1.3.	<i>Hygiène de vie</i>	27
5.2.	Validité externe	28
6.	CONCLUSION	30

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

RESUME

Introduction : La fatigue due à la rééducation ou même à l'activité de la vie quotidienne est un fait réel.

Objectifs : A partir de cette problématique, notre étude vise à évaluer l'effet de la fatigue musculaire obtenue par un travail statique continu maximal et suivi d'une récupération de 6 minutes sur la qualité de ce contrôle postural statique chez des sujets sains.

Matériel et méthode : Trente personnes de 20 à 32 ans ont réalisé des séries de mesures sur une plateforme de posturographie (de marque SATEL®). Deux mesures ont été réalisées yeux ouverts et yeux fermés comme référence, seule la deuxième a été retenue, la première faisant office d'habitude. Après l'épreuve de fatigue musculaire, 2 épreuves statiques yeux ouverts et yeux fermés ont été réalisées ainsi que 2 prises de mesure yeux ouverts et yeux fermés après une période de récupération.

Résultats : Les résultats montrent une augmentation significative des perturbations entre le pré-test et le test post-fatigue. De plus, une récupération de 6 minutes ne paraît pas suffisante pour retrouver des paramètres posturaux initiaux, durant l'épreuve statique yeux ouverts.

Discussion : Rien ne confirme que la fatigue musculaire soit à elle seule la source de cette répercussion sur la qualité du contrôle postural. D'autres études ont montré l'influence de la déshydratation sur la qualité de l'équilibre. La population étudiée étant considérée comme jeune et saine, il serait intéressant de mener une étude ultérieure portant sur une autre population telle que des travailleurs, des sujets présentant différentes pathologies ou des personnes âgées, ces dernières étant plus directement touchées par ce phénomène de fatigue au quotidien et de troubles de l'équilibre.

Mots clés : Posturographie, contrôle postural, fatigue musculaire, récupération musculaire

Key words : Posturography, postural control, muscle fatigue, muscle recovery

1. INTRODUCTION

La fatigue est un phénomène connu de tous mais reste difficile à caractériser. « *Elle peut se définir comme un état résultant des contraintes physiologiques et psychologiques aboutissant à une diminution des performances physiques et/ou mentales* » [1]. Elle est considérée comme l'une des principales causes d'accidents de travail [2].

La fatigue centrale est avérée par le fait que la fonction musculaire périphérique est préservée au moment où l'activité volontaire est défaillante (perte de force). Ainsi, la fatigue centrale se définit comme une diminution de la capacité à activer volontairement le muscle au cours de l'exercice.

La fatigue périphérique « *implique les mécanismes de l'excitation musculaire* » [3]. Elle correspond à la défaillance du mécanisme contractile soit au niveau de la plaque motrice, soit des sarcolemmes ou encore des ponts d'actine myosine.

Trois contraintes semblent concourir à la fatigue : la charge de travail physique, le stress psychologique et la perturbation des rythmes veille-sommeil [2]. Dans le contexte actuel, les patients sont susceptibles de subir les trois contraintes préalablement citées, et la fatigue peut devenir pathologique si elle devient récurrente comme dans le syndrome de surentraînement.

Par ailleurs, maintenir son équilibre veut dire gérer en temps réel des informations provenant à la fois de l'environnement et du sujet lui-même, de façon à adapter en permanence sa position et les mouvements de son corps pour satisfaire aux besoins de sa posture, de son équilibration et de son orientation.

De nombreuses études, relayées par Paillard dans une revue de la littérature [4] ont montré que la fatigue musculaire avait plus ou moins d'influence sur le contrôle postural, malgré les divergences dans les protocoles, les exercices et/ou les indices posturaux retenus. Il a été montré par Givioni [5] que des exercices de fatigue musculaire excentriques étaient plus délétères que les exercices de fatigue musculaire concentriques.

Nous nous sommes intéressés à l'effet de la fatigue musculaire obtenue par un travail isométrique continu maximal suivi d'une récupération de 6 minutes post fatigue sur la qualité du contrôle postural au sein d'une population saine. Dans la première partie de ce mémoire consacrée au cadre théorique, nous développerons la fonction d'équilibration et la posturographie. Puis dans une deuxième partie, nous présenterons notre méthode de recherche bibliographique ainsi que le protocole de l'expérimentation. Les deux dernières parties sont consacrées aux résultats obtenus et à leur discussion.

2. CADRE THEORIQUE

2.1. La fonction d'équilibration

2.1.1. Mécanisme

Paillard représente la régulation posturale selon le schéma suivant (fig.1).

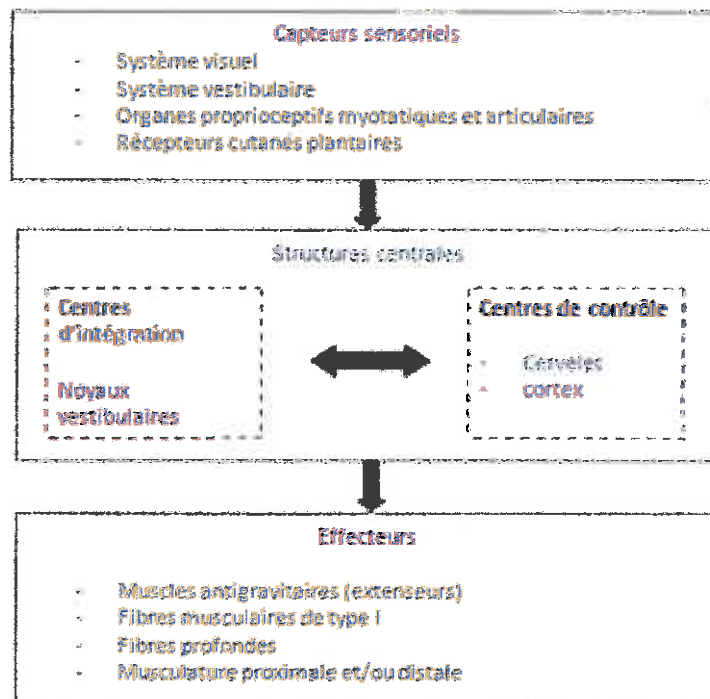


Figure 1 : Régulation de la posture ([6])

L'homme érigé est un organisme à l'architecture osseuse complexe et mobile, soumis aux lois de la gravité. Pour maintenir la position debout, l'homme a développé différentes stratégies et coordonne les entrées sensorielles. Il s'agit des entrées issues des trois grands référentiels spatiaux allocentriques (vision), géocentriques (vestibulaire par les macules otolithiques et les canaux semi circulaires) et égocentriques (proprioception et par la somesthésie cutanée plantaire principalement) [7].

Le référentiel égocentrique regroupe les récepteurs et l'ensemble des terminaisons nerveuses permettant à un individu de connaître la position et les mouvements de son propre corps sans avoir à les observer visuellement. Il répond à la somesthésie, aux sensations kinesthésiques, tendineuses, musculaires et cutanées plantaires. La cohésion ostéoarticulaire (assurée par les organes tendineux de Golgi), le tissu musculaire, les ligaments articulaires, la peau, les aponévroses, et le tonus musculaire (généralisé par les propriétés mécaniques des muscles) sont en étroite collaboration entre eux. Ces capteurs sensoriels périphériques sont la principale source d'informations.

Toutes les informations récoltées par ces entrées sensorielles sont analysées. Elles remontent par le système nerveux jusqu'au centre d'intégration, représenté par les noyaux vestibulaires et jusqu'au centre de contrôle, représenté par le cervelet et le cortex. Ce dernier les intègre et les traite. Le corps ajuste alors instantanément la position selon les besoins par l'intermédiaire des effecteurs afin d'obtenir une réponse adaptée. Les muscles anti-gravitaires, les fibres musculaires profondes et de type I assurent la cohérence des informations entre les différentes entrées assurant la stabilité et le maintien de l'équilibre.

Le rôle de la musculature est double, il permet le mouvement et assure la posture. Les motoneurons alpha assurent la commande motrice en activant les fibres musculaires. A l'aide des unités motrices de type I, ils assurent le tonus. Ce dernier est de répartition inégale entre les différents groupes musculaires, et avantage les muscles qui s'opposent à la gravité [8]. Ces muscles anti-gravitaires sont principalement présents au niveau des extenseurs des membres, du tronc et du cou. La balance entre les muscles fléchisseurs et extenseurs est continue et nécessite un développement des masses musculaires antérieures et postérieures équilibré.

Ces ajustements posturaux permettent au corps de rester debout, sans cesse soumis à la gravité. Ils provoquent des oscillations pour maintenir le sujet stable. Un très faible déplacement du support du sujet nécessite une réaction de correction pour contrer ce déséquilibre. Lors d'un déséquilibre, ce sont les muscles lents qui répondent par une contraction de type tétanique.

L'homme debout est en perpétuelle recherche d'équilibre. En statique, un corps est sollicité par deux forces (réaction du sol et gravité terrestre) appliquées en des points différents. Il ne peut être en équilibre que dans le cas où ces deux forces sont alignées, égales et opposées.

2.1.2. L'évaluation

La posturographie statique consiste en l'observation de la station bipodale immobile, l'analyse et la théorisation de la déficience posturale sur une plate-forme de force. Elle utilise en général une posture standardisée dite de référence qui permet de définir la normalité de l'alignement des segments osseux. Cette position permet de reconnaître les possibilités de stabilisation et la capacité d'adaptation à la position imposée.

Dans l'évaluation des actes professionnels, la Haute Autorité de Santé (H.A.S.) [9] mentionne que la posturographie informatisée quantifie le trouble de l'équilibre, et vient en complément d'autres examens cliniques. Cet outil analyse aussi les anomalies posturales et les risques de chutes.

Parallèlement, il existe différents tests cliniques permettant d'évaluer la fonction d'équilibre (test Tinetti, Get Up and Go...) mais la posturographie, bien qu'encore trop peu utilisée dans les cabinets libéraux, se présente comme un moyen objectif et précis d'analyser cette fonction. Le contrôle postural peut s'évaluer en statique ou en dynamique à l'aide de plateformes faisant varier les conditions d'examen.

La posturographie permet de détecter les stratégies corporelles de l'individu à un instant t.

2.2. L'épreuve de fatigue : travail isométrique continu maximal [10]

2.2.1. Analyse théorique de la fatigue

Pour J. Scherrer, « *la fatigue musculaire est une baisse d'activité musculaire liée à une activité antérieure de celui-ci alors que l'incitation venant des centres est constante, et réversible par le repos* ». C'est un concept général qui désigne une diminution des performances correspondant à la fois en une augmentation de la force nécessaire dans l'effort et en l'incapacité éventuelle à produire cette force. Elle s'installe de façon croissante au plus profond des unités motrices (sarcomères et myofibrilles).

Une contraction isométrique maximale a une influence sur la vitesse de relaxation des muscles, correspondant au retour de la cellule musculaire à l'état de repos physiologique. La force musculaire développée est égale à la force extérieure à laquelle le corps est soumis, il n'y a pas de raccourcissement ni d'allongement des fibres musculaires, ni de déplacement osseux.

Le test de fatigue est réalisé en état de travail isométrique continu maximal, c'est-à-dire sans interruption jusqu'à épuisement musculaire. La limitation du temps de maintien est due à l'épuisement des réserves énergétiques du muscle ou à la limitation d'apport énergétique. Quand survient le seuil d'épuisement, la performance musculaire ne peut alors être poursuivie à son niveau initial. Cet épuisement peut être associé à des sensations d'inconfort et parfois de douleur, variable selon les individus.

2.2.2. Analyse cinésiologique de la position de fatigue

Afin de comprendre ce qui se passe au niveau musculaire lors de la position de fatigue, nous proposons une analyse cinésiologique. Le sujet est dos au mur les bras le long du corps, la tête et le bassin collés au mur. Les articulations des membres inférieurs présentent des angles de 90° au niveau des hanches, des genoux et des chevilles ainsi qu'un écartement entre les deux genoux égal à la largeur des épaules (fig. 2). L'épreuve de fatigue consiste en un

travail isométrique où toutes les forces s'équilibrent. Les forces présentes sont la force du quadriceps, celle des fessiers, la réaction du sol et le poids du sujet.

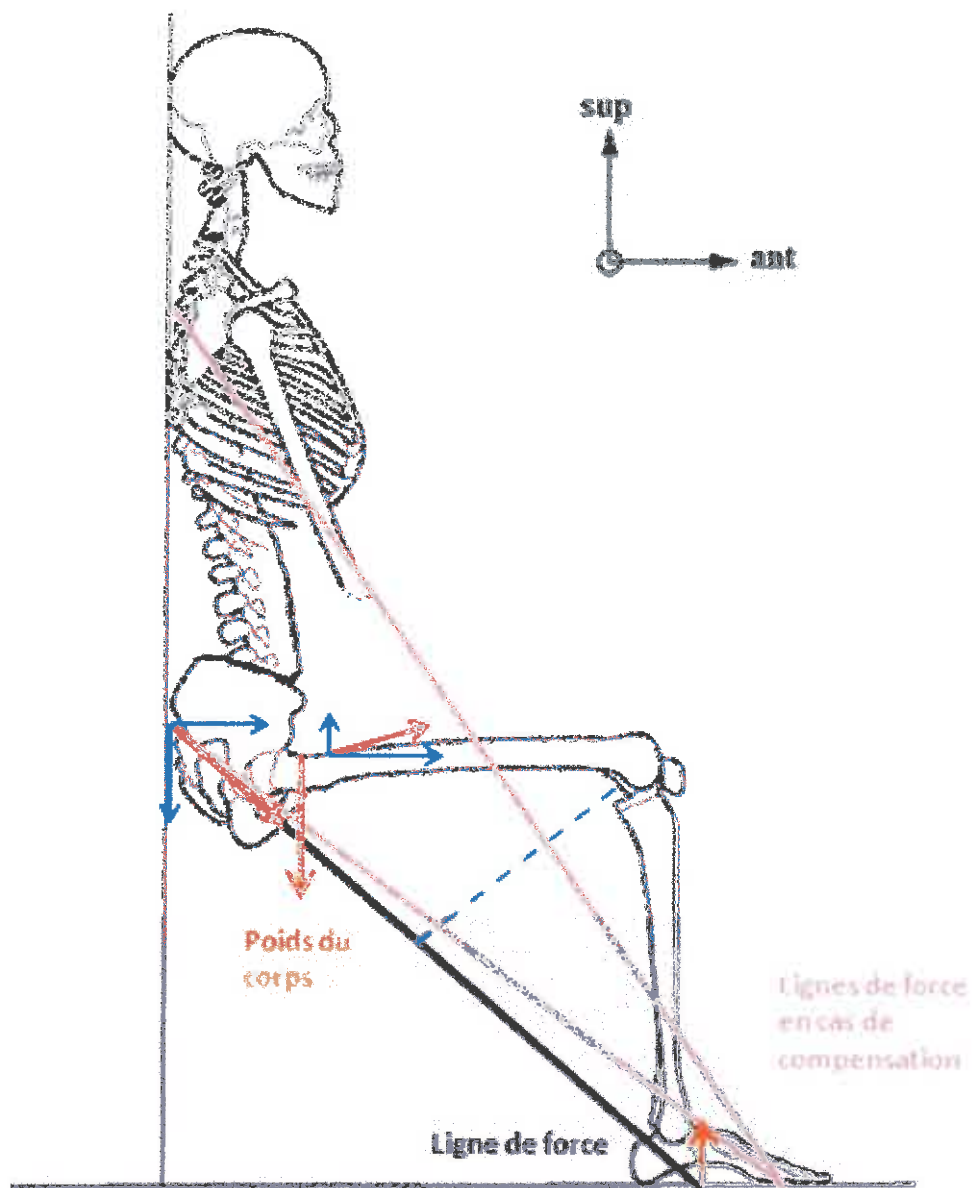


Figure 2 : Représentation schématique de la biomécanique de la position de fatigue (dans un souci de compréhension, les membres supérieurs ne sont pas représentés)

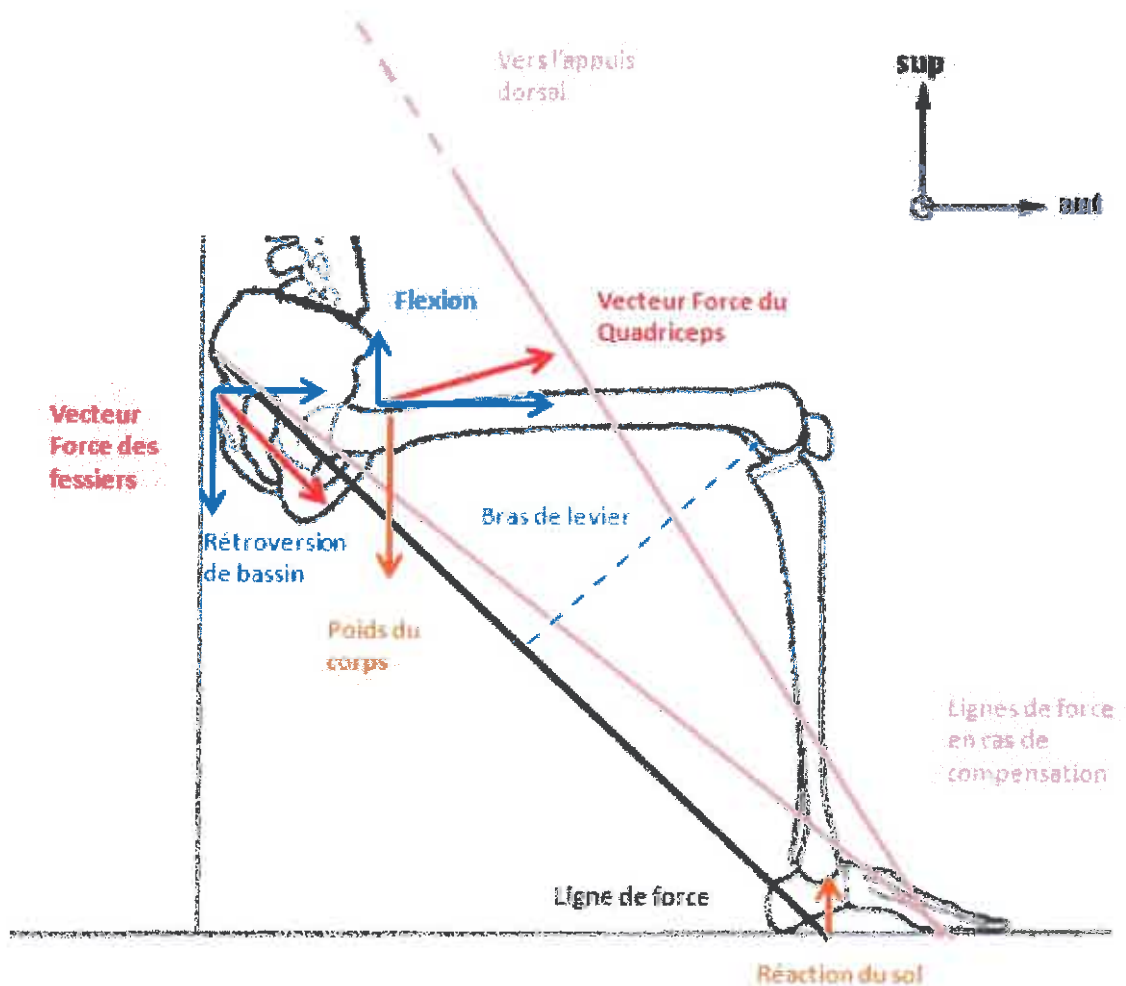


Figure 3 : Agrandissement du schéma cinésiologique au niveau des membres inférieurs

L'agrandissement (fig. 3) permet une décomposition de force des muscles du quadriceps et des fessiers. Nous remarquons une force de flexion pour le quadriceps et une force de rétroversion du bassin par les fessiers qui amène une extension du rachis. Cette force est égale à la force d'appui des épaules sur le mur c'est-à-dire très faible. Le moment de la force verticale de flexion du quadriceps est quasiment égal au moment du poids du corps, si les bras de leviers sont égaux. En résumé, c'est le quadriceps qui travaille le plus.

Cette position permet de représenter une ligne de force entre les deux points d'appui (bassin et pied) et de voir l'importance du bras de levier du quadriceps par rapport au genou. Or, le sujet peut avoir recours à des subterfuges pour limiter l'utilisation de la force du quadriceps. Il peut monter sur la pointe des pieds, le bras de levier est alors diminué et l'effort du quadriceps est moindre. Il peut aussi faire un hyper appui au niveau dorsal induisant un effort supérieur au niveau des ischios jambiers au lieu du quadriceps.

2.3. La récupération

La récupération se fait en deux phases, une rapide qui correspond à l'élimination des déchets puis une lente qui résulte de la restauration des réserves énergétiques du muscle.

Lors d'un travail statique, le temps nécessaire pour que le muscle retrouve sa capacité de travail et sa force maximale, varie comme le logarithme du temps durant lequel la force est maintenue [8]. La demi-vie des courbes de récupération dure environ une minute, et les valeurs normales de force et de puissance sont retrouvées dans un délai de cinq à dix minutes [11].

Nous avons choisi 6 minutes de récupération après l'épreuve de fatigue car selon plusieurs auteurs, l'effet négatif de la fatigue s'estompe au bout de 6 minutes [12, 13].

3. MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1. Méthode de recherche bibliographique

Avant de débiter notre étude, nous avons effectué une recherche portant sur les documents concernant le lien entre fatigue musculaire et contrôle postural statique, quel type de fatigue choisir et suivant quelles conditions ? Nous nous sommes également intéressés au temps de récupération musculaire après l'épreuve de fatigue. D'autres recherches concernent la plateforme de posturographie et le test de force isométrique.

Nos recherches se sont effectuées sur Pubmed, PEDro, Kinedoc, le site de la H.A.S., EM-Premium et Science-direct. Concernant les ouvrages, nous nous sommes tournés vers Réédoc et la bibliothèque de la Faculté de Médecine de Nancy. Nous n'avons pas limité la période de recherche.

Les mots clés principaux en français ont été : « posturographie », « contrôle postural », « fatigue musculaire », « récupération musculaire » et une partie de nos références ont été extraites de la littérature anglaise à l'aide des mots clés suivant : « posturography », « postural control », « muscle fatigue », « muscle recovery ».

Tableau I : Récapitulatif des recherches effectuées en fonction des bases de données

Base de données	Recherche	Résultats
Pubmed	« postural control » ; « muscle fatigue »	217
	« postural control » ; « muscle recovery »	201
PEDro	« postural control » ; « muscle fatigue »	2
	« postural control » ; « muscle recovery »	12
Kinedoc	« contrôle postural », « fatigue musculaire»	5
	« contrôle postural », « récupération musculaire »	11
H.A.S.	« contrôle postural », « fatigue musculaire»	6
	« contrôle postural », « récupération musculaire »	6
EM- Premium	« contrôle postural », « fatigue musculaire»	812
	« contrôle postural », « récupération musculaire »	5684
Science - direct	« postural control » ; « muscle fatigue »	9506
	« postural control » ; « muscle recovery »	12 124

Lorsque les réponses ont été nombreuses à traiter, notamment sur EM-Premium et Science-direct, pour le terme « postural control » ; « muscle recovery » ou « postural control » « muscle fatigue », les recherches ont été affinées à l'aide de nouveaux mots clés : « isometric », « fatigue » ou « recovery ».

Les articles ont été sélectionnés suivant la pertinence du titre, du résumé et des mots clés. Par ailleurs, les recherches ont été également complétées à l'aide des références bibliographiques d'articles déjà sélectionnés, ainsi qu'une demande au responsable du Laboratoire d'Analyse de la Posture, de l'Equilibration et de la Motricité (LAPEM), le Professeur Philippe Perrin.

3.2. Matériel d'expérimentation

3.2.1. Matériel

Nous utilisons pour l'expérimentation :

- un fil à plomb ;
- la plateforme Satel ® et son logiciel ;
- un ordinateur ;
- un chronomètre ;
- un goniomètre métallique à grande branche.

Pour cette étude, nous utilisons une plateforme de stabilométrie clinique informatisée de marque : SATEL ®. Elle est constituée d'un plateau rigide reposant sur trois capteurs de pression, disposés en triangle équilatéral. Elle permet d'obtenir la visualisation du déplacement du centre de pression au cours du temps et d'étudier les stratégies de contrôle postural statique.

Le centre de pression (C.d.P.) correspond à la résultante des forces exercées sur les trois jauges par la masse corporelle. Il permet d'étudier les mécanismes de l'équilibration. Dans les conditions de stabilométrie normalisée, nous pouvons assimiler la position du C.d.P. à une verticale passant par le centre de gravité du sujet avec une marge d'erreur de 1% [14]. La plateforme est connectée à un ordinateur qui recueille les variations du centre de pression au cours du temps.

Cette plateforme répond à la norme 85, recommandées par l'Association Française de Posturologie (A.F.P.). La position des pieds imposée permet la comparaison d'un examen à l'autre. Les pieds sont nus, talons espacés de 2 centimètres avec un angle d'ouverture de 30° (positionnement à l'aide du gabarit mobile fourni). Un fil à plomb est pendu au mur à environ 90 cm de distance de repos oculaire permettant de fixer l'image rétinienne de la verticale. La tâche du sujet est de maintenir une position verticale pendant la durée d'acquisition des signaux de la plateforme qui sont fixés à 25,6 secondes pour notre étude. Nous avons choisi 25,6 secondes au lieu de 51,2 secondes au vu du nombre de prises de mesure effectuées.

Lors de l'analyse, nous veillons au respect de l'environnement visuel et sonore. Pour cela, les sujets sont placés dans une pièce calme (ambiance sonore neutre afin d'éviter de détourner l'attention du sujet) et en lumière artificielle (lumière identique pour toutes les conditions d'examen et non violente) et sans repère visuel à l'exception du fil à plomb.

3.2.2. Population

Trente personnes âgées de 20 à 32 ans, quinze hommes et quinze femmes, étudiants à l'Institut de Formation Lorrain de Masso-Kinésithérapie de Nancy (I.F.L.M.K.), ont pris part à cette étude.

Chacun d'entre eux a participé volontairement et signé un formulaire de consentement éclairé (ANNEXE I). Seuls ont été retenus les participants sans antécédent orthopédique ni de trouble psychologique et neurologique.

Autres critères de non inclusion :

- les signes de fatigue musculaire : courbature, crampe, contracture ;
- troubles vestibulaires ;
- problème de vision ;
- troubles orthodontiques ;
- traitement médicamenteux au long cours ;
- hygiène de vie
 - prise d'excitant (café, coca cola ®, red bull ®...) à moins d'1 heure de l'examen ;
 - prise de tabac ou d'alcool à moins d'1 heure de l'examen.

3.3. Méthode d'analyse

3.3.1. Avant propos

L'étude commence par une explication de l'expérience à laquelle le sujet va participer. Nous lui faisons remplir le formulaire de consentement éclairé (ANNEXE I) et le questionnaire (ANNEXE II) afin de satisfaire aux conditions d'inclusion.

3.3.2. Installation du matériel

Pour toutes les mesures effectuées, la position du patient sur la plateforme est identique, les pieds sont nus et les bras sont placés le long du corps.

3.3.3. Paramètres évalués

Les mesures sont faites entre 8 heures et 12 heures pour éviter la fatigue d'origine centrale.

Le statokinésigramme permet de visionner la « pelote » (fig. 4) entre les deux pieds correspondant aux variations de positions du C.d.P. au cours de l'enregistrement. Il nous renseigne sur l'amplitude des oscillations du corps de droite à gauche, représentée par les abscisses, et d'avant en arrière, représentée par l'axe des ordonnées ainsi que la stabilité et la précision du sujet.

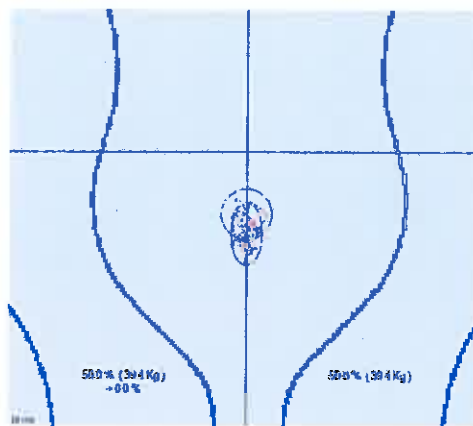


Figure 4 : Statokinésigramme représentant les variations des positions du C.d.P.

Nous analysons :

- les déplacements latéraux (longueur en X) qui correspondent aux valeurs des abscisses ;
- les déplacements antéropostérieurs (longueur en Y) qui correspondent aux valeurs des ordonnées ;
- la surface qui contient 90% des positions du C.d.P. et représente la précision ;
- la longueur correspondant à la distance parcourue par le C.d.P. durant l'enregistrement, signe de la stabilité du sujet ;

- la longueur en fonction de la surface (L.F.S.) qui correspond au chemin parcouru par le C.d.P. au cours de l'enregistrement et qui signe de la dépense énergétique.

3.3.4. *Prise de mesure*

Nous effectuons la mesure sans prévenir le patient de son début, en lui demandant comme tâche principale de rester immobile et une tâche secondaire cognitive qui sera toujours la même (soustraire 7 en commençant à 200). Cette tâche permet au patient de ne pas se concentrer sur son équilibre mais sur le calcul mental.

Nous effectuons l'épreuve de travail statique continu maximal puis à la fin nous interrogeons le sujet sur ses sensations et son état de fatigue lors de la prise des dernières mesures dites post fatigue. Le tableau II représente les différentes mesures que nous effectuons au cours de l'expérimentation.

Tableau II : Résumé des prises de mesure

Numérotation	Remarque	Spécification des yeux
E 1 (25,6 sec)	Habituation	Yeux ouverts
E 2 (25,6 sec)		Yeux fermés
E 3 (25,6 sec)	Pré-test	Yeux ouverts
E 4 (25,6 sec)		Yeux fermés
Epreuve de fatigue (maximum)		
F 1 (25,6 sec)	Post fatigue 1	Yeux ouverts
F 2 (25,6 sec)		Yeux fermés
F 3 (25,6 sec)	Post fatigue 2	Yeux ouverts
F 4 (25,6 sec)		Yeux fermés
Phase de récupération (6 minutes)		
R 1 (25,6 sec)	Post récupération 1	Yeux ouverts
R 2 (25,6 sec)		Yeux fermés
R 3 (25,6 sec)	Post récupération 2	Yeux ouverts
R 4 (25,6 sec)		Yeux fermés

Les mesures E1 et E2 servent d'habitué pour le sujet au test de la plateforme, de ce fait, elles ne seront pas prises en compte dans l'analyse des résultats. Les mesures E3 et E4 correspondent aux valeurs références en état de repos. Les mesures F1,2,3,4 représentent les états après l'épreuve de fatigue, et les mesures R1,2,3,4 sont quant à elles représentatives des états après récupération. Tous les chiffres pairs représentent les prises de mesures yeux fermés et les chiffres impairs les mesures yeux ouverts.

3.3.5. Réalisation de l'épreuve travail statique continu maximal

Le test de fatigue est réalisé en état de travail statique continu maximal, c'est-à-dire sans interruption jusqu'à l'épuisement musculaire subjectif du patient. Nous veillons au bon positionnement du patient (fig. 5), les genoux écartés de la largeur du bassin et un angle de 90° au niveau des différentes articulations des membres inférieurs (fig. 6). Ce dernier point est vérifié à l'aide d'un goniomètre. Le dos, la tête et les épaules sont posés sur le mur sans hyper appui. Les bras sont pendants le long du corps.

De plus, nous veillons aussi à ce que le patient ne porte pas de vêtements synthétiques qui pourraient glisser lors de l'épreuve.



Figure 5 : installation des sujets lors de l'épreuve de fatigue

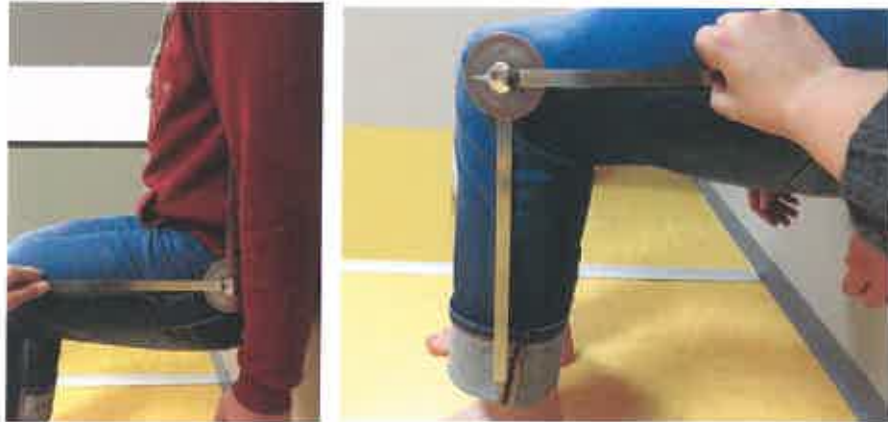


Figure 6 : vérification des angulations aux niveaux des différentes articulations

3.3.6. Récupération

« La position assise est excellente pour favoriser le relâchement musculaire. » [15].

Dans un souci de reproductibilité, tous les sujets se sont reposés 6 minutes assis sur une chaise sans croiser les jambes (fig.7). Bien que le temps de repos soit objectif, la capacité de récupération diffère d'un individu à l'autre. Afin d'avoir une idée sur le ressenti de chaque sujet, nous les avons interrogés par la question : « Comment vous sentez vous après le temps de repos ? »

A la fin de ce temps, les sujets sont immédiatement remontés sur la plateforme pour prendre les mesures en état de récupération.



Figure 7 : position de repos

3.3.7. Méthode statistique

Pour chaque épreuve posturographique, nous avons enregistré plusieurs paramètres posturaux (longueur totale, longueur Y, longueur X, surface, L.F.S.). Des analyses descriptives ont été réalisées pour présenter les caractéristiques de notre population ainsi que les différents résultats obtenus en utilisant les moyennes et écart-types.

Nous considérons que les distributions des paramètres posturaux pour chaque épreuve suivent une loi normale. Par conséquent, pour comparer les performances posturales dans les trois conditions (pré-test, post-fatigue et post-récupération) sur l'évolution de chaque paramètre postural enregistré, nous avons réalisé une analyse de variance à mesures répétées (ANOVA). Les comparaisons post-hoc ont été réalisées à l'aide du test HSD de Tuckey. Nous considérons comme significatives les valeurs de $p \leq 0,05$.

4. RÉSULTATS

Au total, 36 sujets ont participé à l'étude, seulement 30 ont été retenus par rapport aux critères d'inclusion. Six personnes ont été exclues dont 5 pour des troubles orthopédiques récents (inférieurs à 3 mois) ou trop importants tels qu'une ligamentoplastie de cheville et une personne pour des troubles orthoptiques.

Trente sujets, 15 hommes et 15 femmes, tous étudiants à l'Institut de Formation Lorrain de Masso-Kinésithérapie âgés de $23,63 \pm 3,27$ ans, mesurant $173,77 \pm 9,25$ cm, considérés comme « sains » avec une hygiène de vie « correcte » ont donc été retenus pour cette étude.

4.1. Analyse du questionnaire

Le temps de maintien de l'exercice de fatigue musculaire isométrique maximal est en moyenne de $1'57''11 \pm 1'04''46$.

A la question, « comment vous sentez vous après le temps de repos ? », la majorité des sujets ont répondu qu'ils étaient « totalement remis » ou « bien mais pas totalement remis » respectivement à 33% et 57%, 10% ont répondu être encore « fatigués » (fig. 8).



Figure 8 : représentation graphique des réponses à la question « comment vous sentez vous après le temps de repos »

Concernant la question du temps de sommeil, 80 % ont répondu avoir dormi 6 heures ou plus (63% entre 6 et 8 heures et 17% plus de 8 heures).

4.2. Analyse des différents paramètres posturaux

Les graphiques présentent les valeurs moyennes et les écarts types des différents paramètres posturaux mesurés en pré-test, en post fatigue et en post récupération durant les épreuves posturographiques statiques.

4.2.1. Surface

En condition yeux ouverts, l'ANOVA à mesures répétées a montré des différences significatives pour le paramètre postural « surface » ($F=5,17$ $p=0,00072$) (fig. 9).

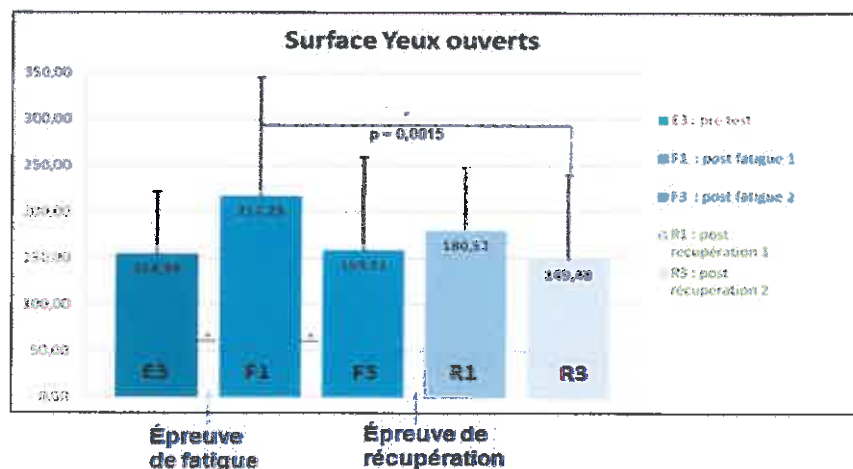


Figure 9 : Représentation graphique de la surface yeux ouverts (moyenne et écart type)

Les comparaisons post-hoc mettent en évidence des différences significatives entre les conditions suivantes :

- E3 et F1 : la surface yeux ouverts est plus importante ($p=0,041$) en post fatigue qu'en pré-test ;
- F1 et F3 : la surface yeux ouverts est plus importante ($p=0,092$) en post fatigue 1 qu'en post fatigue 2 ;
- F1 et R3 : la surface yeux ouverts est plus grande ($p=0,015$) en post fatigue 1 qu'en post récupération 2.

En condition yeux fermés, l'ANOVA à mesures répétées n'a pas montré de différence significative pour le paramètre postural « surface » (fig. 10). Toutefois, les moyennes observées en pré-test, post fatigue 1 et post récupération 2 présentent les mêmes variations que lors des conditions yeux ouverts. Par exemple, la surface post fatigue 1 est en moyenne de 195,90 alors qu'en pré-test elle est de 186,86. La moyenne lors de l'épreuve post récupération 2 de 179,08 est inférieure à la moyenne du pré-test (186,86).

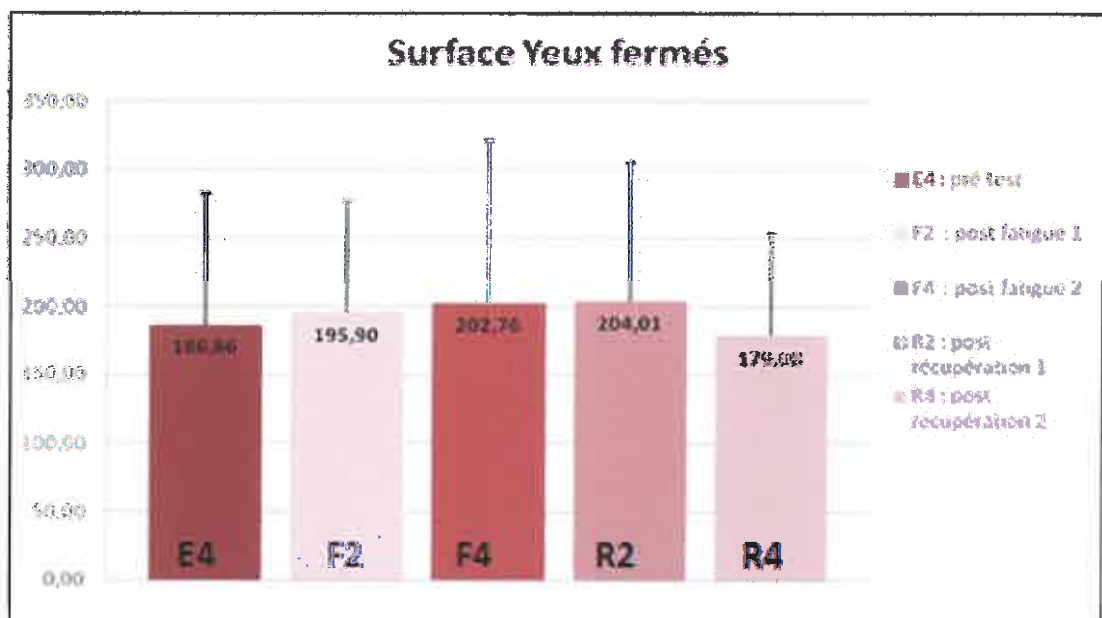


Figure 10 : Représentation graphique de la surface yeux fermés (moyenne et écart type)

4.2.2. La longueur

En condition yeux ouverts, l'ANOVA à mesures répétées a montré des différences significatives pour le paramètre postural « longueur » ($F=14,96$ $p=6,88^E-10$) (fig. 11).

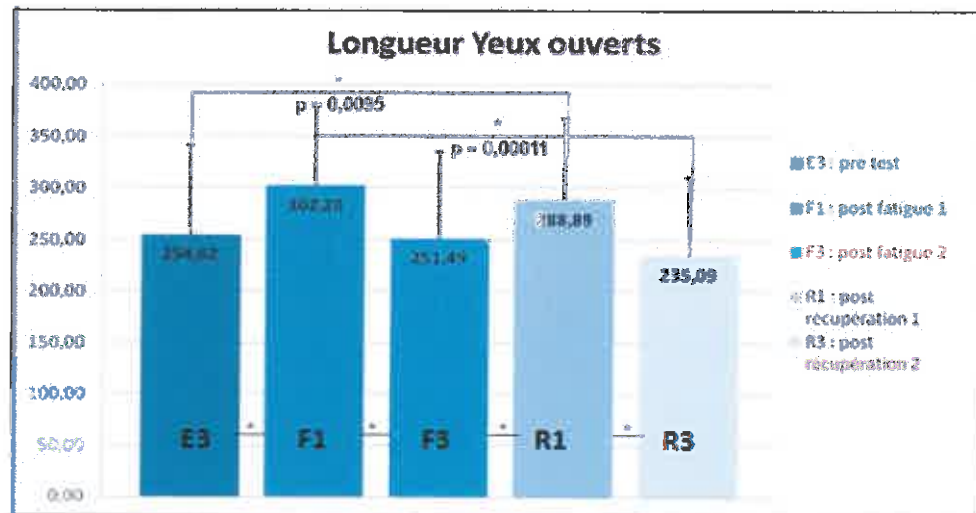


Figure 11 : Représentation graphique de la longueur yeux ouverts (moyenne et écart type)

Les comparaisons post-hoc mettent en évidence des différences significatives entre les conditions suivantes :

- par rapport au pré-test, la longueur est plus importante en post fatigue ($p=0,00019$) et en post récupération 1 ($p=0,0095$) ;
- par rapport au post fatigue 1, la longueur est plus petite en post fatigue 2 ($p=0,0013$) et en post récupération 2 ($p=0,00011$) ;
- par rapport au post récupération 1, la longueur est plus petite en post fatigue 2 ($p=0,0036$) et en post récupération 2 ($p=0,00012$).

En condition yeux fermés, l'ANOVA à mesures répétées n'a pas montré de différences significatives pour le paramètre postural « longueur » (fig. 12). Toutefois, les moyennes observées présentent les mêmes variations que lors des conditions yeux ouverts. Par exemple, la longueur post fatigue 1 est en moyenne de 361,82 alors qu'en pré-test elle est de 336,26. La moyenne lors de l'épreuve post récupération 2 de 323,80 est inférieure à la moyenne du pré-test (336,26).

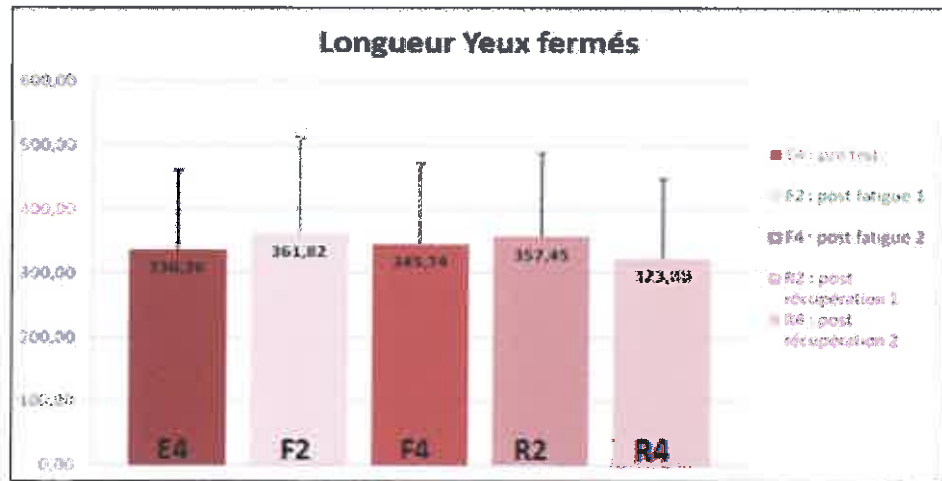


Figure 12 : Représentation graphique de la longueur yeux fermés (moyenne et écart type)

4.2.3. La longueur X

En condition yeux ouverts, l'ANOVA à mesures répétées a montré des différences significatives pour le paramètre postural «longueur X» ($F=13,72$ $p=3,44 \times 10^{-9}$) (fig. 13).

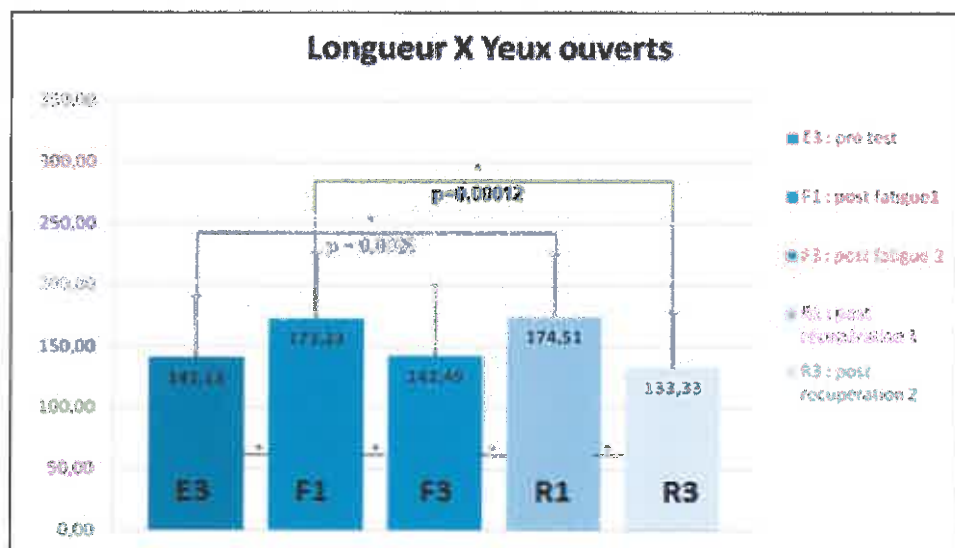


Figure 13 : Représentation graphique de la longueur X yeux ouverts (moyenne et écart type)

Les comparaisons post-hoc mettent en évidence des différences significatives entre les conditions suivantes :

- par rapport au pré-test, la longueur X est plus importante en post fatigue ($p=0,0004$) et en post récupération 1 ($p=0,0026$) ;
- par rapport au post fatigue 1, la longueur X est plus petite en post fatigue 2 ($p=0,0072$) et en post récupération 2 ($p=0,00012$) ;
- par rapport au post récupération 1, la longueur X est plus petite en post fatigue 2 ($p=0,0043$) et en post récupération 2 ($p=0,00012$).

En condition yeux fermés, l'ANOVA à mesures répétées n'a pas montré de différences significatives pour le paramètre postural « longueur X » (fig. 14). Toutefois, les moyennes observées présentent les mêmes variations que lors des conditions yeux ouverts. Par exemple, la longueur X post fatigue 1 est en moyenne de 212,58 alors qu'en pré-test elle est de 184,24. La moyenne lors de l'épreuve post récupération 2 de 184,50 est presque équivalente à la moyenne du pré-test (184,24).

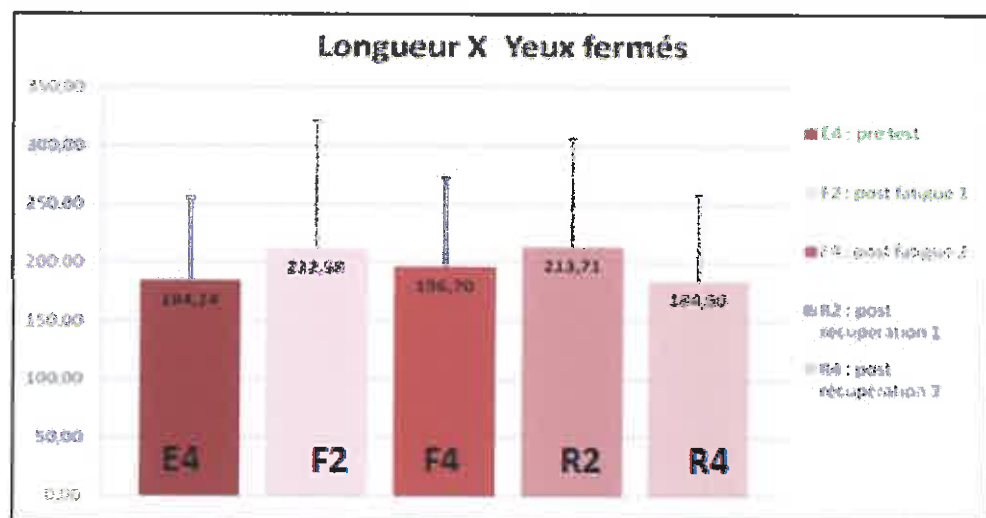


Figure 14 : Représentation graphique de la longueur X yeux fermés (moyenne et écart type)

4.2.4. La longueur Y

En condition yeux ouverts, l'ANOVA à mesures répétées a montré des différences significatives pour le paramètre postural «longueur Y» ($F=9,41$ $p=1,27 \times 10^{-6}$) (fig. 15).

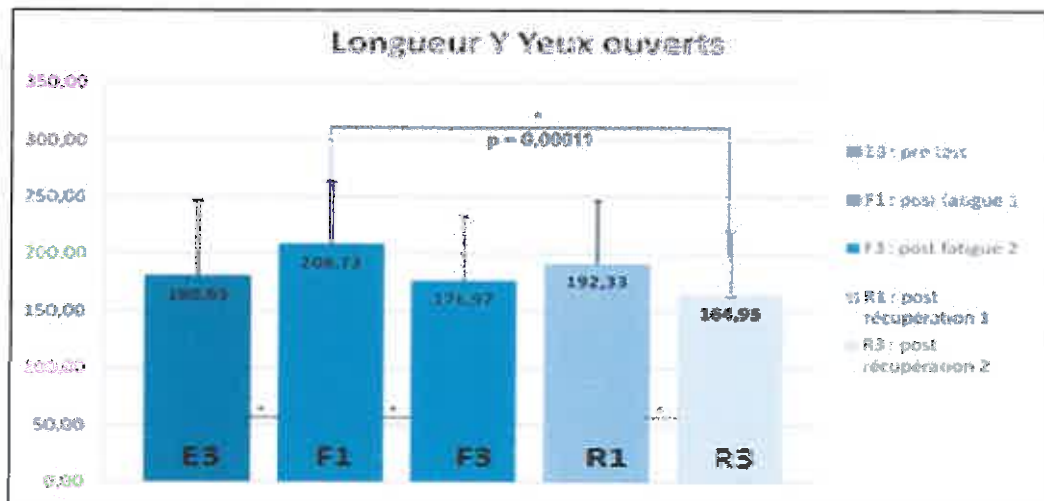


Figure 15 : Représentation graphique de la longueur Y yeux ouverts (moyenne et écart type)

Les comparaisons post-hoc mettent en évidence des différences significatives entre les conditions suivantes :

- E3 et F1 : la longueur Y est plus importante ($p=0,0038$) en post fatigue qu'en pré-test ;
- par rapport au post fatigue 1, la longueur Y est plus petite en post fatigue 2 ($p=0,00069$) et en post récupération 2 ($p=0,00011$) ;
- R1 et R3 : la longueur Y lors du deuxième essai après récupération est inférieure à celle lors du premier essai ($p=0,0046$).

En condition yeux fermés, l'ANOVA à mesures répétées n'a pas montré de différences significatives pour le paramètre postural « longueur Y » (fig. 16). Toutefois, les moyennes observées présentent les mêmes variations que lors des conditions yeux ouverts. Par exemple, la longueur Y post fatigue 1 est en moyenne de 246,75 alors qu'en pré-test elle est de 241,31. La moyenne lors de l'épreuve post récupération 2 de 225,09 est inférieure à la moyenne du pré-test (241,31).

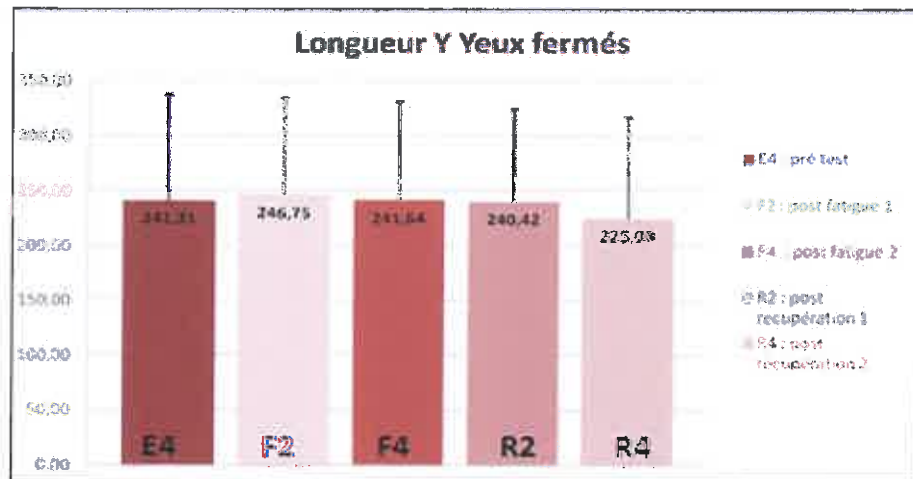


Figure 16 : Représentation graphique de la longueur Y yeux fermés (moyenne et écart type)

4.2.5. L.F.S.

En condition yeux ouverts, l'ANOVA à mesures répétées a montré des différences significatives pour le paramètre postural «L.F.S.» ($F=10,75$ $p=1,9E^{-7}$) (fig. 17).

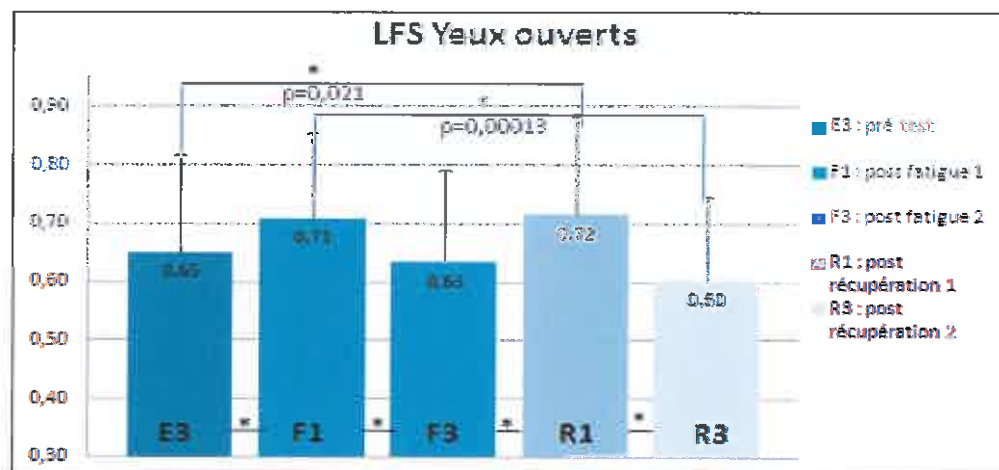


Figure 17 : Représentation graphique de la L.F.S. yeux ouverts (moyenne et écart type)

Les comparaisons post-hoc mettent en évidence des différences significatives entre les conditions suivantes :

- par rapport au pré-test, la L.F.S. est plus importante en post fatigue ($p=0,046$) et en post récupération 1 ($p=0,0021$) ;

- par rapport au post fatigue 1, la L.F.S. est plus petite en post fatigue 2 ($p=0,0045$) et en post récupération 2 ($p=0,00012$) ;
- par rapport au post récupération 1, la longueur est plus petite en post fatigue 2 ($p=0,0017$) et en post récupération 2 ($p=0,00012$).

En condition yeux fermés, l'ANOVA à mesures répétées n'a pas montré de différences significatives pour le paramètre postural « L.F.S. » (fig. 18). Par exemple, la L.F.S. post fatigue 1 est en moyenne de 0,69 alors qu'en pré-test elle est de 0,66. La moyenne lors de l'épreuve post récupération 2 de 0,64 est légèrement inférieure à la moyenne du pré-test (0,66).

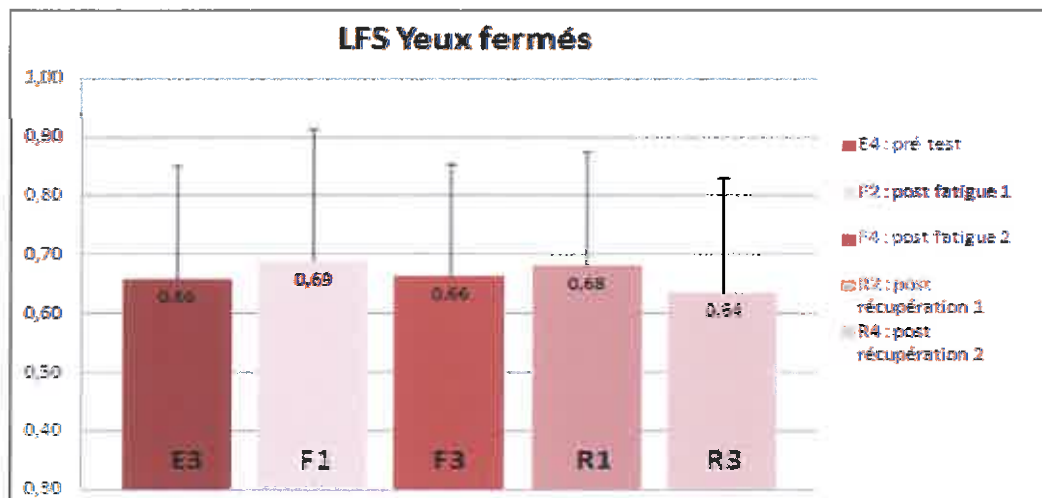


Figure 16 : Représentation graphique de la L.F.S. yeux fermés (moyenne et écart type)

5. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer de manière instrumentale l'effet de la fatigue musculaire locale des membres inférieurs et d'une récupération de 6 minutes sur la qualité du contrôle postural statique chez des personnes saines. Les principaux résultats ont montré que la fatigue musculaire locale des membres inférieurs a entraîné une perturbation statistiquement significative entre le pré-test et le test post fatigue sur tous les critères posturaux étudiés pour l'épreuve statique uniquement en condition yeux ouverts. Les sujets sont moins précis, moins stables et présentent une augmentation des oscillations antéropostérieures, latérales et de la consommation d'énergie.

Juste après l'épreuve de fatigue, le premier essai se déroule en condition yeux ouverts, nous notons la présence des perturbations importantes, en revanche lors du deuxième essai yeux ouverts (soit 30 secondes après le test yeux fermés) nous remarquons déjà une amélioration (par exemple la longueur moyenne passe de 302,20 à 251,49). L'effet délétère de la fatigue est présent mais s'atténue rapidement.

La récupération de 6 minutes entraîne, lors du deuxième essai post récupération, un retour aux valeurs initiales des paramètres posturaux étudiés pour l'épreuve statique yeux ouverts. Nous pouvons en déduire qu'un délai de 6 minutes est suffisant pour une récupération optimale.

Nos résultats n'ont pas mis en évidence un effet statistiquement significatif de la fatigue musculaire ni de la récupération sur l'épreuve statique yeux fermés malgré des variations identiques aux résultats en condition yeux ouverts. Ces résultats peuvent être dus à l'ordre chronologique des tests effectués, puisque nous commençons toujours par les yeux ouverts.

5.1. Validité interne

5.1.1. Le matériel

Nous prenons les mesures sur une plateforme (Satel®) qui est certifiée et limite les erreurs. De plus, l'enregistrement informatique des résultats permet une lecture claire et précise.

5.1.2. La méthode

Nous allons revenir sur les différents facteurs méthodologiques qui peuvent influencer la mesure du contrôle postural statique. Il faut tout d'abord s'assurer que les consignes soient claires. Pour cela, nous avons mis en place une feuille d'informations avec le déroulement de la session de mesures (ANNEXE 1). De plus, nous avons directement expliqué aux sujets les consignes de réalisation. Nous nous sommes assurés de la bonne compréhension de ces consignes.

«*Si le patient est exposé à des perturbations de manière répétée, cela conduit à une amélioration de la stabilité posturale*» [16]. Un effet d'apprentissage peut se produire à la suite de la répétition de l'évaluation posturographique ce qui peut être un biais, puisque nous effectuons 12 mesures [17]. Ceci peut expliquer pourquoi les résultats des tests post récupération sont meilleurs que ceux initialement effectués.

Le sujet peut changer de position durant l'épreuve de fatigue, si nous n'y prêtons pas assez d'attention, et induire une fatigue musculaire sur différents muscles. Pour cette raison nous veillons à ce que les deux genoux ne soient pas serrés pour éviter l'effet de la béquille naturelle, et que le sujet n'effectue ni d'hyper appui dorsal ni ne monte sur la pointe des pieds. L'épreuve de fatigue a un impact sur les muscles antigravitaires principalement les quadriceps, les fessiers et les muscles du rachis. Comme représenté sur l'analyse cinésiologique, des compensations peuvent être sollicitées par les sujets (les ischio-jambiers par exemple). Ces dernières peuvent avoir une influence sur la qualité du contrôle postural. Une étude de Lin [18] a montré que la localisation de la fatigue musculaire a une influence sur le contrôle postural. Une fatigue au niveau des muscles lombaires ou des muscles de la cheville affecte plus la commande posturale que la fatigue musculaire des muscles du genou ou de l'épaule. De plus, Paillard [4] conclut sa revue de la littérature en supposant que la fatigue locale des muscles extenseurs des membres inférieurs dégrade plus le contrôle postural que la fatigue des muscles distaux ou des fléchisseurs des membres supérieurs. Pour éviter un biais sur les muscles maintenant la posture, nous veillerons à ce que les sujets effectuent l'épreuve de fatigue comme décrite précédemment.

Nos résultats montrent que l'effet de la fatigue musculaire sur le contrôle postural n'a entièrement disparu que lors du deuxième essai. Cet intervalle de temps permet aux sujets d'avoir une meilleure récupération. Afin de s'assurer de celle-ci, il aurait été intéressant de prendre la fréquence cardiaque et la saturation en oxygène après l'épreuve et d'évaluer leur retour au niveau de repos [20]. Pour plusieurs auteurs [12, 13] l'effet négatif de la fatigue s'estompe au bout de 6 minutes. L'étude de Fox [19] explique que « *les effets de la fatigue semblent persister jusqu'à 8 minutes après l'exercice* ». Au vu de cette expérimentation, nous aurions dû choisir un temps de récupération plus long. Il serait intéressant de reprendre la même expérimentation avec un temps de repos de 8 minutes conseillé par Fox.

Nous avons choisi un temps d'enregistrement de 25,6 secondes dans un souci de confort de réalisation des mesures. Si nous avons choisi un temps de 51,2, le temps passé sur la plateforme aurait été plus long et donc demanderait plus de concentration. Par ailleurs, celui-ci étant plus long, la fatigue aurait été nettement diminuée entre les deux prises de mesures. Nous pouvons donc nous demander si les résultats obtenus auraient été les mêmes.

5.1.3. *Hygiène de vie*

Nous nous sommes intéressés à la fatigue musculaire, mais la fatigue centrale est un biais que nous ne pouvons pas contrôler. Celle-ci, comme la privation de sommeil, entraîne une détérioration de la stabilité posturale [1]. Pour la limiter au maximum, nous avons effectué nos mesures le matin de 8 heures à midi et interrogé les individus sur leur temps de sommeil. Il a été révélé que 80 % d'entre eux ont dormi plus de 6 heures. Par conséquent, nous pouvons donc considérer que seule la fatigue musculaire intervient dans cette étude.

Une étude menée par Lion [21, 22] a démontré que la déshydratation a une influence négative sur le maintien de l'équilibre en diminuant la pression labyrinthique, en affectant la sensibilité et l'efficacité du contrôle postural. Celle-ci peut être amenée par une mauvaise hygiène de vie (alcool, café, sommeil, etc.) ou par l'exercice physique entraînant la fatigue. C'est pourquoi lors de l'interrogatoire, nous avons questionné les sujets quant à leur consommation d'alcool, de thé ou encore de café. L'alcool conduit à une déshydratation qui peut être néfaste. Elle est facteur de perturbations posturales autres que celles amenées par la fatigue musculaire.

« Cette déshydratation peut entraîner une modification de la composition, du volume ou de la pression du liquide endolymphatique de l'oreille interne, ce qui peut induire une surdité et/ou des troubles de l'équilibre » [23]. Dans notre étude, rien ne nous permet d'affirmer ou d'infirmer que l'épreuve physique de fatigue musculaire a induit une déshydratation, ni que c'est celle-ci qui est à l'origine des perturbations du contrôle postural.

5.2. Validité externe

Dans sa revue de la littérature [4], Paillard expose les différentes études déjà réalisées concernant la fatigue et le contrôle postural. Quelque soit le type d'exercice, concentrique ou excentrique, la fatigue a perturbé l'équilibre par exemple après un effort de course à pied [24] ou un travail analytique des muscles de la cheville [25]. Chaque étude a été menée différemment et l'auteur note bien la multitude de possibilités tant au niveau des paramètres posturaux étudiés que du type d'essai effectué. Quoi qu'il en soit *« les effets physiologiques induits par des exercices généraux et locaux diffèrent, mais les deux types d'exercices contribuent à détériorer l'efficacité de l'entrée sensorielle et motrice du système postural. »*

Par ailleurs, Vuillerme [26, 27] a montré que les muscles fatigués diffusent moins d'informations et que le système nerveux central se repose donc moins sur les informations proprioceptives. Cette sensibilité est d'autant plus perturbée que la fatigue musculaire atteint les muscles extenseurs des membres inférieurs.

D'autres études ont observé lors d'une analyse posturale, après un exercice de fatigue des triceps suraux, des perturbations davantage marquées en condition yeux ouverts. Cela signifie que dans certaines conditions de fatigue, le réflexe dynamique augmente pour maintenir la stabilité [4].

La fatigue pourrait modifier l'exactitude de l'information proprioceptive, résultant d'une diminution de sensibilité du fuseau neuromusculaire qui conduit à changer de posture [28]. Une diminution de la sensibilité proprioceptive des muscles extenseurs des membres inférieurs facilite l'augmentation de la contribution d'informations sensorielles [26].

Notre étude a été menée sur 30 sujets volontaires parmi les étudiants de l'LL.F.M.K.. Grâce à nos critères de participation et d'exclusion, nous avons obtenu une population homogène, jeune et saine, ce qui ne permet pas une extrapolation pure et simple des résultats, notamment sur des sujets pathologiques.

Le contrôle postural prend tout son sens pour des patients dont nous souhaitons évaluer l'équilibre. Il serait intéressant de réaliser les mesures sur différents échantillons de sujets atteints de pathologies affectant l'équilibre. De plus, s'agissant d'un échantillon de convenance, les résultats ne sont donc vrais que pour la population étudiée.

Nous avons effectué notre étude sur une fatigue musculaire statique car il s'agit du mécanisme le plus fatigant et le plus violent au niveau musculo-squelettique bien que nous la retrouvons peu dans la vie quotidienne.

Les troubles musculo-squelettiques sont des questions de santé publique puisqu'ils sont de plus en plus nombreux, 73% des maladies professionnelles, et coûteux, 40% du coût économique des problèmes de santé au travail [29]. Le travail actuel requiert peu de force mais aussi peu de mouvement. De nombreux problèmes peuvent apparaître. Garder une posture durant une période longue peut faire naître des lésions péri-articulaires d'hyper sollicitation. Elles surviennent lorsque la demande de travail des tissus mous dépasse la capacité musculo-squelettique de la personne à s'adapter. Le travail musculaire statique correspond au maintien prolongé d'une posture comme fixer l'épaule en position de travail pour permettre l'exécution d'un travail dynamique de la main ou rester debout sans bouger.

L'intérêt, de choisir un effort isométrique, prend un sens plus pratique dans la vie quotidienne de tous les travailleurs. Solliciter de manière prolongée et continue les mêmes groupes musculaires engendre une surcharge, entrave la circulation sanguine et laisse s'accumuler les toxines. La charge statique prolongée peut se traduire par des sensations de fatigue. Il aurait été intéressant de faire des tests de posturographie sur des sujets sains effectuant un travail statique avant et après leurs heures de travail pour savoir si effectivement les troubles de l'équilibre apparaissent après un travail statique en entreprise.

Tous les programmes de rééducation et de réadaptation définis par la H.A.S. ont pour objectifs de permettre d'augmenter les capacités physiques et de renforcer l'autonomie. La prise en charge des troubles de l'équilibre en fait partie mais il faut tenir compte de la fatigabilité des sujets vieillissants. Il paraît intéressant de voir si les mêmes tests effectués sur une population de personnes âgées produiraient les mêmes conclusions, puisque le vieillissement altère les capacités d'équilibration.

6. CONCLUSION

Par notre étude, nous cherchons à évaluer de manière instrumentale l'effet de la fatigue musculaire locale des membres inférieurs ainsi qu'une récupération de 6 minutes sur la qualité du contrôle postural statique chez des sujets sains.

Les mesures stabilométriques réalisées sur une plateforme de posturographie permettent de constater une perturbation sur l'ensemble des critères posturaux analysés, majorée lorsque les yeux sont ouverts. Elles ont montré l'importance de l'impact de la fatigue musculaire sur le phénomène d'équilibration. Les sujets sont moins précis, moins stables et présentent une augmentation des oscillations et de la consommation d'énergie.

De plus une récupération de 6 minutes apparaît comme une limite minimale pour une récupération efficace, alors qu'un repos de 8 minutes, selon la littérature, serait optimal.

D'un point de vue thérapeutique, l'application est directe, chaque thérapeute doit avoir conscience que les perturbations posturales peuvent être entraînées par la fatigue. La notion de progressivité et de pause, doivent aussi, être au cœur de notre rééducation.

Dans toutes les analyses effectuées précédemment, la fonction d'équilibration est perturbée quelque soit le type de fatigue. Ici, nous avons choisi la fatigue statique car étant la plus traumatisante, elle peut être mise en lien avec les troubles musculo-squelettiques bien que rien ne nous permet de le confirmer.

Une étude spécifique en entreprise pourrait permettre de savoir si l'équilibre est perturbé par la fatigue. De même, le test statique ayant été effectué sur des sujets « sains », le réaliser sur des personnes présentant des pathologies diverses influençant ou non leur équilibre permettrait d'objectiver le lien entre la fatigue musculaire statique et l'équilibration.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHENNAOUI M, GOMEZ-MERINO D, DUCLO M, GUEZENNEC C. La fatigue : mécanismes et conséquences. *Science & sport*, 2004; 19.
- [2] NOA A, ISAAC A, EREZ B, BELLA A, DAVID Z, REUVEN K, YAIR M. Brief posturographic test as an indicator of fatigue. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*. 2006; 60: 340-346.
- [3] MORANA C, PERREY S. Evaluation de la fatigue musculaire. *K.S.*, juin 2009; 500.
- [4] PAILLARD T. Effects of general and local fatigue on postural control: A review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2012; 36:162-176.
- [5] GIVIONI N, PHAM T, ALLEN T, PROSKE U. The effect of quadriceps muscle fatigue on position matching at the knee. *J. Physiol.*. 2007; 584:111-119.
- [6] PAILLARD T. Vieillesse et condition physique. *Ellipses* ; décembre 2008. Page 129.
- [7] LACOUR M. Physiologie de l'équilibre : des modèles génétiques aux conceptions cognitivistes. *EMC – Podologie* 2013;9(1) :1-7[Article 27-025-A-30].
- [8] PERRIN Ph, LESTIENNE F. Mécanisme de l'équilibration humaine : exploration fonctionnelle, application au sport et à la rééducation. Paris : Masson; 1994.
- [9] HAUTE AUTORITE DE SANTE. Analyse de la posture statique et/ou dynamique sur plate-forme de force (posturographie), statokinésigraphie informatisée; Service évaluation des actes professionnels, Juin 2007.
- [10] MONOD H, FLANDROIS R. Physiologie du sport. Masson; 1989.

- [11] SESBOUE B, GUINCESTRE J-Y. La fatigue musculaire. *Annales de réadaptation et de médecine physique*. 2006; 49: 257-264.
- [12] NARDONE A, TARANTOLA J, GIORDANO A, SCHIEPPATI M. Fatigue effects on body balance. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*. 1997; 105: 309-320.
- [13] BOVE M, FAELLI E, TACCHINO A, LOFRANO F, COGO C, RUGGERI P. Postural control after a strenuous treadmill exercise. *Neuroscience Letters*. 2007; 418: 276-281.
- [14] GAGEY P-M, WEBER B. *Posturologie, Régulation et dérèglements de la station debout*. 3ème édition. Paris : Elsevier Masson; 2004.
- [15] PAILLARD T. Vieillesse et condition physique. *Ellipses*; décembre 2008. Page 270.
- [16] WRISLEY D and co. Learning effects of repetitive administrations of the sensory organization test in healthy young adults. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2007; 88: 1049-1054.
- [17] LEITNER C, MAIR P, PAUL B, WICK F, MITTERMANIER C, SYCHA T, EBENBICHLER G. Reliability of posturographic measurements in the assessment of impaired sensorimotor function in chronic low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2009; 19: 380-190.
- [18] LIN D, NUSSBAUM M, SEOL H, SINGH N, MADIGAN M, WOJCIK L. Acute effects of localized muscle fatigue on postural control and patterns of recovery during upright stance : influence of fatigue location and age. *Eur J. Appl. Physiol.* 2009; 106: 425-434.
- [19] FOX Z and co. Return of postural control to baseline after anaerobic and aerobic exercise protocols. *Journal of Athletic Training*. 2008; 43(5): 456-463.
- [20] ASTRAND PO, RODAHL K. *Précis de physiologie de l'exercice musculaire*. Masson; 1980.

- [21] LION A, BOSSER G, GAUCHARD G, DJABAHAH K, MALLIEE J.P, PERRIN P. Exercise and dehydration : a possible role of inner ear in balance control disorder. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2010; 20: 1196-1202.
- [22] LION A. Modification des stratégies sensori-motrices de l'équilibration en fonction du type d'exercices et de perturbation de l'homéostasie. 2010. 141p. Thèse Science de la Vie et de la Santé : Nancy
- [23] COULOIGNIER V, TEIXEIRA M, STERKERS O, RASK-ANDERSEN H, FERRARY E. Le sac endolymphatique: ses fonctions au sein de l'oreille interne. *Médecine/Sciences*. 2004; 20: 304-10.
- [24] LEPERS R, BIGARD A, DIARD J-P, GOUTEYRON J-F, GUEZENNEC C. Posture control after prolonged exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1997; 76: 55-61.
- [25] THEDON T, MANDRICK K, FOISSAC M, MOTTET D, PERREY S. Degraded postural performance after muscle fatigue can be compensated by skin stimulation. *Gait & posture*. 2011; 33: 686-698.
- [26] VUILLERME N, FORESTIER N, NOUGIER V. Attentional demands and postural sway: the effect of the calf muscles fatigue. *Méd. Sci. Sports. Exerc.*. 2002; vol 34, n°12: 1907-1912.
- [27] VUILLERME N, DANION F, FORESTIER N, NOUGIER V. Postural sway under muscle vibration and muscle fatigue in human. *Neuroscience Letters*. 2000; 333: 131-135.
- [28] GAUCHARD G, TESSIER A, JEANDEL C, PERRIN Ph. Improved muscle strength and power in elderly exercising regularly. *Int. J. Sport. Med.*. 2003; 24: 71-74.
- [29] VAILLANT J. Troubles musculo-squelettiques. *K.S.*. Mai 2006; 466: 55-56.

ANNEXES

ANNEXE I : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ECLAIRE

ANNEXE II : QUESTIONNAIRE

ANNEXE I : FORMULAIRE CONSENTEMENT ECLAIRE

Madame, Monsieur,

Au quotidien, le masseur-kinésithérapeute a besoin de savoir si la qualité de l'équilibre du patient est correcte pour établir des objectifs propre à chacun.

Le but de cette étude est d'utiliser une plateforme de posturographie type SATEL ® pour réaliser une mesure du déplacement du centre de pression représentatif du déplacement du centre de gravité.

L'intérêt de l'étude à pu être montré concernant la fatigue centrale, de ce fait nous nous intéressons davantage à la fatigue musculaire et ainsi qu'à la récupération.

Premièrement, nous allons vous demander de vous installer sur la plateforme les pieds calés sur le gabarit face au mur. Les modalités précises de l'épreuve vous seront présentées ultérieurement.

Suite à cela, nous allons réaliser des mesures grâce à la plateforme. Votre but sera de rester immobile le plus possible.

Deux mesures seront réalisées les yeux ouverts puis deux les yeux fermés alternativement.

Ensuite vous réaliserez une épreuve physique, qui vous aura été expliquée au préalable. Le but de cette épreuve étant s'atteindre un niveau de fatigue maximale.

A la suite de cette épreuve de fatigue, nous réalisons une autre série de deux mesures (yeux ouverts et yeux fermés)

Enfin après 6 minutes de repos, nous réalisons la dernière série de mesures (yeux ouverts et yeux fermés)

Je, soussigné(e), M, Mme, Mellené(e) le/..../.....
Après avoir reçu oralement toutes les informations nécessaires précisant les modalités de déroulement de l'étude, j'ai eu la possibilité de poser toutes les questions qui me paraissaient utiles pour la bonne compréhension de la note d'information et de recevoir des réponses claires et précises. J'ai disposé d'un délai de réflexion suffisant avant de prendre ma décision. J'accepte librement et volontairement de participer à cette recherche dans les conditions ci-dessus. Je suis conscient(e) que je peux arrêter à tout moment ma participation à cette recherche sans supporter aucune responsabilité.

Je donne mon accord pour participer à cette étude dans les conditions ci-dessous.

- Cet accord ne décharge en rien les organisateurs de l'étude de leur responsabilité.
- Toutes les données et informations qui me concernent resteront strictement confidentielles.
- Je pourrai à tout moment demander toute information complémentaire aux organisateurs de l'étude.

Fait à, le/..../.....

Signature de l'investigateur

Signature du Volontaire précédée de
la mention « lu et approuvé »

ANNEXE II : QUESTIONNAIRE

Nom :
Prénom :
Age : Taille : Pointure :

Antécédents

❖ Problèmes orthopédiques genou cheville hanche (entorse, fracture...): oui non
Si oui lesquels ? Quand ? :

❖ Neurologique

Pathologie vestibulaire (vertiges) : oui non

Pathologie oculaire (orthoptie) : oui non

Actuellement

❖ Hygiène de vie :

▪ Alcool : oui non / café : oui non / thé : oui non

Si oui, à quand remonte la dernière prise ? Quelle quantité ?

▪ Sommeil : inférieur à 4 heures
de 4 à 6 heures
de 6 à 8 heures
supérieur à 8 heures

❖ Traitement médical :

❖ Fatigue musculaire ? (crampes, courbatures, douleurs ...) oui non

Temps au test de fatigue :

Après les mesures

Pourquoi avez-vous arrêté l'épreuve de fatigue ? Douleur Fatigue Trop long

Comment vous sentez vous après le temps de repos ?

- extrêmement fatigué (identique au post effort)
 fatigué
 bien mais pas encore totalement remis
 totalement remis

Remarques :

.....