

# Reproductibilité de la mesure de force des muscles de la hanche en isocinétisme

**E Maupas<sup>1,2</sup>, N Frize<sup>1</sup>, C Souléry<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> UMT - Centre de Rééducation Fonctionnelle, Rue Angély Cavalié, 81000 Albi

<sup>2</sup> Laboratoire de Physiologie de la Posture et du Mouvement, Centre Universitaire JF Champollion, Place de Verdun, 81000 Albi

**Maupas Eric,**

UMT-Centre de Rééducation Fonctionnelle, Rue Angély Cavalié, 81000 Albi

Tél : 05.63.45.70.70 ; fax : 05.63.45.70.92 ; e-mail : [eric.maupas@umt81.fr](mailto:eric.maupas@umt81.fr)

Laboratoire de Physiologie de la Posture et du Mouvement, Centre Universitaire JF Champollion, Place de Verdun, 81000 Albi

# INTRODUCTION

## Isocinétisme : concepts généraux

L'isocinétisme, décrit pour la première fois en 1967 par Hislop et Perrine, recouvre à la fois le mode de contraction musculaire effectuée à vitesse constante et le matériel nécessaire à la réalisation d'un tel type de contraction (Pocholle et Codine, 1998). Les principes de l'isocinétisme sont une vitesse de mouvement fixe et l'asservissement de la résistance. La vitesse est prédéterminée par l'évaluateur et demeure constante tout au long du mouvement. Par ailleurs, il y a un asservissement de la résistance, c'est-à-dire que celle-ci est adaptée en tout point du mouvement afin qu'elle soit égale à la force développée par le sujet.

La contraction musculaire peut se réaliser sur un mode concentrique (rapprochement des points d'insertion du muscle) ou excentrique (éloignement des points d'insertion, le muscle s'allonge). Cette technique nécessite l'usage d'appareils spécifiques dénommés dynamomètres isocinétiques. Ces appareils permettent des évaluations musculaires objectives, quantitatives, qualitatives et reproductibles (Calmels et al, 1991 ; Davies, 1992), et de plus, réalisées avec une grande sécurité pour le patient (Davies, 1992). Il ne peut en effet rencontrer plus de résistance qu'il ne peut affronter car la résistance est égale à la force appliquée. Ainsi, en cas de douleur survenant au cours d'un effort, l'inhibition musculaire induite par la douleur se traduit immédiatement par une diminution de résistance du dynamomètre. L'unité de mesure de la force est le Newton-mètre (Nm) car il s'agit de la mesure d'un moment de force. Ce type de dynamomètre est utilisé en pratique courante pour l'évaluation musculaire, la rééducation ainsi que pour l'établissement et le suivi de programmes d'entraînements physiques et sportifs. Toutes les grandes articulations peuvent être concernées par ce type d'évaluation mais les plus fréquemment étudiées sont le genou, les épaules et le rachis.

Dans le champ de la recherche isocinétique, la hanche est probablement l'articulation la plus négligée (Dvir, 2004). Le peu d'études publiées concernant la hanche ne donne pas les bases claires d'un protocole de mesure reproductible. En effet, ni la position, ni les vitesses, ni le nombre de répétitions, ni le mode de contraction ne sont encore clairement définis.

## Articulations les plus testées en isocinétisme : genou, épaule, rachis

L'articulation reine en isocinétisme est le genou, elle représente plus de 75% de toutes les publications sur le sujet (Dvir, 2004). De nombreux auteurs ont démontré la reproductibilité du test-retest sur cette articulation avec des coefficients de corrélation se situant entre 0,93 et 0,99 (Kramer, 1990 ; Calmels et al, 1991 ; Thomson et al, 1993 ; Kramer et al, 1994) pour le mouvement de flexion-extension.

De nombreuses publications concernent l'articulation de l'épaule avec, notamment pour Hutchinson (1996), une reproductibilité partiellement bonne pour le moment de force maximum, moins bonne pour le ratio agoniste/antagoniste. Cet auteur note des variabilités selon les mouvements analysés avec une reproductibilité bonne pour les rotations, moindre pour l'abduction-adduction et mauvaise pour la flexion-extension. Ainsi la reproductibilité va dépendre pour chaque articulation du mouvement concerné et ne peut être transposée d'un mouvement à l'autre du fait de leur spécificité. Cela rejoint la problématique de l'évaluation de la hanche où plusieurs mouvements peuvent être analysés, flexion-extension (FE), abduction-adduction (ABAD), rotation médiale-rotation latérale (RMRL).

Pour la flexion-extension du rachis, les coefficients de corrélation varient de 0,88 à 0,93 (Byl et Sadowsky, 1993) pour la reproductibilité du moment de force maximal, de la puissance moyenne. Timm (1994) retrouve une valeur de 0,92. Là aussi la reproductibilité peut varier selon les variables étudiées et le type de mouvement. Ainsi, Madsen (1996) retrouve une reproductibilité moyenne du moment maximal, du travail total, et mauvaise du temps d'accélération avec un appareil Cybex. Palmer McLean et Conner (1994) retrouvent des coefficients de reproductibilité entre 0,81 et 0,98 avec un appareil Biodex pour les valeurs du couple de force en flexion, mais des valeurs moindres pour le travail en extension.

## **Données isocinétiques concernant la hanche**

Peu d'études ont été consacrées à la reproductibilité de la mesure isocinétique de la force des muscles de la hanche. Le plus souvent, ces études ne concernent qu'un seul type de mouvement, peu de vitesses différentes et de faibles effectifs, qu'il s'agisse de sujets sains ou pathologiques.

Cahalan et al (1989) ont évalué la reproductibilité de la mesure de la force isométrique et isocinétique des muscles de la hanche chez 72 sujets sains, de 20 à 81 ans (37 femmes, 35 hommes). Ils ont testé avec un Cybex II modifié les muscles extenseurs, fléchisseurs, abducteurs et adducteurs en position debout avec un système de stabilisation du sujet conçu spécifiquement pour ce protocole. Les rotations ont été testées en position assise. Les tests isocinétiques ont été effectués à 30, 90, 150 et 210°/sec. Les muscles les plus forts sont les extenseurs, puis les fléchisseurs, adducteurs, abducteurs et rotateurs internes puis externes. La force observée diminue avec la vitesse du test. Concernant la reproductibilité, 13 sujets seulement ont été testés à deux reprises avec une différence moyenne de moins de 4% et un coefficient de corrélation entre les deux évaluations de 0,96 mais sans plus de précision dans le texte.

Chez le sujet sain, Burnett et al (1990) ont évalué la reproductibilité de la mesure des fléchisseurs-extenseurs et abducteurs-adducteurs chez 29 garçons de 6 à 10 ans en position couchée, à 30 et 90°/sec. La mesure est effectuée avec un Cybex II lors de 2 sessions de test espacées d'une à deux semaines. Les valeurs observées sont similaires entre les deux vitesses de test. Seul l'ICC (Intraclass Correlation Coefficients) des extenseurs à 90°/sec est considéré comme acceptable (ICC = 0,84). Vient ensuite l'ICC des fléchisseurs à 90°/sec (ICC = 0,75). L'ICC pour les mouvements d'abduction et d'adduction est inférieur à 0,6.

Emery et al (1999) se sont intéressés à la reproductibilité des mouvements de flexion et d'adduction en concentrique et excentrique chez des sujets adultes sains en position couchée. 19 hommes ont été testés à 3 reprises à la seule vitesse de 60°/sec sur un Cybex Norm. Il s'agit d'un protocole enchaînant un cycle d'un mouvement excentrique puis concentrique avant de faire un test d'endurance de 20 contractions en excentrique et concentrique à 150°/sec. La reproductibilité était bonne pour l'adduction en excentrique (ICC = 0,85 pour le côté dominant et 0,84 pour le côté non dominant) mais l'ICC était inférieur à 0,67 pour les autres mouvements testés.

Arokoshi et al (2002) ont retrouvé chez 27 hommes (47 à 64 ans) présentant une arthrose de hanche une force significativement plus basse des muscles fléchisseurs, abducteurs, adducteurs par rapport à des sujets sains. La reproductibilité sur dynamomètre Lido a été étudiée chez 11 hommes jeunes sains, 9 sujets avec arthrose de hanche. Il s'agissait de 2 tests séparés de 2 à 6 semaines. Les sujets étaient testés en position couchée à 60 et 120°/sec. L'ICC était compris entre 0,7 (60°/sec) et 0,89 (120°/sec) en flexion chez les sujets sains et entre 0,84 (60°/sec) et 0,89 (120°/sec) chez les sujets arthrosiques. L'ICC allait de 0,9 (60°/sec) à 0,84 (120°/sec) en extension chez les sujets sains et de 0,87 (60°/sec) à 0,86 (120°/sec) chez les sujets arthrosiques.

Chez 9 hémiparétiques (8 hommes, 1 femme), plus de 6 mois après AVC (Accident Vasculaire Cérébral), Hsu et al (2002) ont mesuré à deux reprises à une semaine d'intervalle sur dynamomètre Cybex 6000 en position couchée la force des fléchisseurs de hanche, des extenseurs

du genou et des fléchisseurs plantaires de cheville des deux côtés. La hanche et le genou étaient testés à 30 et 90°/sec et la cheville à 15 et 30°/sec. La mesure normalisée de la force, c'est-à-dire la force divisée par le poids du sujet, a présenté des ICC bons à excellents (0,62 à 0,94) pour les trois articulations testées. Pour les fléchisseurs de hanche, l'ICC était de 0,91 à vitesse lente et 0,93 à vitesse rapide.

Eng et al (2002) se sont également intéressés à la reproductibilité de la mesure isocinétique de la force des fléchisseurs et extenseurs de la hanche, du genou et de la cheville chez 20 patients hémiplegiques (15 hommes, 5 femmes) après AVC. Les tests ont été effectués à 2 reprises en concentrique à 60°/sec sur Kin-Com. Pour la hanche, le sujet était en position semi-inclinée à 30° par rapport à l'horizontale. L'ICC était compris entre 0,95 et 0,98 pour la flexion et l'extension du côté sain. Du côté parétique, l'ICC était du même ordre, 0,98 pour la flexion et 0,97 pour l'extension.

Plus récemment, Claiborne et al (2008) ont évalué 13 sujets sains (7 hommes et 6 femmes) sur un dynamomètre isocinétique Biodex® couplé à un EMG (électromyogramme) sur 2 sessions à une semaine d'intervalle approximativement. La vitesse était de 60°/s pour un effort maximal de 3 répétitions en mode concentrique et 3 répétitions en mode excentrique. Ces tests étaient réalisés en position debout, sauf pour l'évaluation des rotations faite en position assise, et mesuraient l'ABAD, la FE, et la RMRL de hanche de façon bilatérale. Cette étude montre une forte reproductibilité du moment maximal de force en mode concentrique pour l'abduction (en bilatéral), la flexion (en bilatéral), l'extension (du côté droit), et la rotation médiale (en bilatéral) de hanche ; en mode excentrique pour l'abduction (du côté gauche), l'adduction (du côté gauche), la flexion (du côté droit) et l'extension (en bilatéral) (ICC de 0,81 à 0,91). Mais elle montre aussi une faible reproductibilité du moment maximal de force en mode concentrique pour l'adduction (droite), l'extension (gauche), la rotation médiale (gauche) et la rotation latérale (droite) de hanche, en mode excentrique pour l'adduction (droite), la flexion (gauche) et la rotation médiale et latérale (en bilatéral) de hanche (ICC de 0,49 à 0,79).

Julia et al (2010) ont étudié chez 10 sujets (9 hommes et 1 femme) la reproductibilité de la mesure des fléchisseurs-extenseurs de hanche lors de 3 mesures à une semaine d'intervalle entre chaque mesure. L'évaluation est faite bilatéralement sur appareil Contrex en décubitus dorsal en mode concentrique (60 et 180°/sec) pour les extenseurs et fléchisseurs et en excentrique (30 et 90°/sec) pour les extenseurs seulement. Les ICC étaient compris entre 0,75 à 0,96 pour les fléchisseurs et extenseurs sauf pour les extenseurs de hanche droite à 60°/sec en concentrique (ICC=0,62) et les extenseurs de hanche gauche en excentrique à 30°/sec (ICC=0,68).

Ces études ne permettent pas de connaître précisément la reproductibilité de la mesure isocinétique de force de la hanche pour tous les mouvements et toutes les vitesses utilisables, que ce soit en mode concentrique ou excentrique.

Les objectifs de cette recherche sont déterminés en fonction de l'hypothèse suivante : pour chacun des mouvements de la hanche, flexion-extension, abduction-adduction, rotation médiale-latérale, en mode concentrique ou excentrique, la reproductibilité de mesure de la force est optimale pour une position et une vitesse déterminées.

Ainsi, l'objectif principal est d'évaluer pour tous les mouvements de la hanche (FE, ABAD, RMRL) la reproductibilité de la mesure de force isocinétique des muscles de la hanche, pour chaque position, chaque mode de contraction, et chaque vitesse dans une étude de type test-retest. L'objectif secondaire est de préciser les caractéristiques des muscles de la hanche (évolution du moment de force maximale en fonction de la vitesse, comparaison entre les groupes musculaires).

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Population étudiée**

60 sujets sains (30 hommes et 30 femmes) ont été recrutés en fonction des critères d'inclusion et de non-inclusion suivants :

#### **Critères d'inclusion**

- Sujets masculins ou féminins,
- Agés de 18 à 35 ans,
- En bonne santé générale,
- N'ayant qu'une activité sportive occasionnelle ou peu intensive.

#### **Critères de non-inclusion**

- Sujets présentant une pathologie récente traumatique ou rhumatologique au niveau de la hanche, du bassin ou du rachis lombaire,
- Antécédents traumatiques majeurs au niveau du bassin ou des membres inférieurs,
- Sujets ne pouvant comprendre ou appliquer les consignes pendant l'effort,
- Traitement par myorelaxant ou anxiolytique pendant la période d'examen.

### **Dynamomètre isocinétique**

Les évaluations isocinétiques ont été réalisées avec un système multi-articulaire isocinétique Biodex S4 PRO (Biodex Medical Systems Inc., 20 Ramsay road, Shirley, New York 11967-4704, USA) : cf annexes.

### **Plan expérimental**

Les participants ont été répartis par randomisation préalable en 3 groupes : un groupe « flexion-extension / abduction-adduction en position couchée » dit « FE/ABAD COU », un groupe « flexion-extension debout/ abduction-adduction debout » dit « FE/ABAD DEB » et un groupe « rotation médiale-rotation latérale » dit RMRL. La randomisation est effectuée au préalable à l'expérimentation avec détermination du groupe parmi les trois sus-cités; détermination du côté testé en premier, droit ou gauche (ou seul côté testé pour la rotation) et détermination du mouvement testé en premier, c'est-à-dire FE ou ABAD. Ainsi pour les groupes « FE/ABAD COU » et « FE/ABAD DEB » il y a détermination du mouvement testé en premier à savoir flexion-extension ou abduction-adduction. Le deuxième mouvement est testé sur l'autre hanche.

Chaque participant a été convié à deux séances d'expérimentation à une semaine d'intervalle. Chaque séance a lieu le même jour de la semaine et à la même heure.

#### **Programme de la première journée**

*Recueil du consentement* : avant la première évaluation, chaque sujet a donné son consentement éclairé après avoir été informé oralement et par écrit des modalités de l'expérimentation (avis favorable du Comité de Protection des Personnes du Sud-Ouest et Outre-Mer II).

*Evaluation clinique* : recueil des antécédents médicaux et chirurgicaux, recueil des données anthropométriques (poids, taille), évaluation de la latéralité des membres inférieurs, mesure des amplitudes articulaires passives et actives de hanche.

*Evaluation instrumentale* après échauffement préalable de 15 minutes sur cycle ergomètre.

- Installation sur la machine selon la procédure prévue par le constructeur.

- Positionnement du sujet : pour les tests en rotation, le sujet est assis face au dynamomètre et sanglé (cf annexes). Pour les tests en position couchée, le sujet est installé en décubitus dorsal pour l'évaluation de la flexion-extension et en décubitus latéral pour l'abduction-adduction (cf annexes). Les tests en position debout sont réalisés avec un marche-pied pour éviter au pied du membre testé de frotter sur le sol (cf annexes). Quel que soit le test, les paramètres d'installation sont mesurés et enregistrés pour pouvoir être reproduits lors de la deuxième évaluation. Il s'agit de la position, de la hauteur et de la rotation du siège ; de la hauteur, de la position, de l'inclinaison et de la rotation du dynamomètre ; de la longueur de l'accessoire et enfin de la profondeur d'assise et de l'inclinaison du dossier pour les tests en position assise.
- Evaluation en mode concentrique avec 3 mouvements à 30°/sec, 3 mouvements à 60°/sec, 4 mouvements à 90°/sec, 5 mouvements à 120°/sec, 5 mouvements à 180°/sec et 5 mouvements à 240°/sec.
- Evaluation en mode excentrique avec 3 mouvements à 30°/sec (agoniste et antagoniste évalués sur 2 séries différentes) et 3 mouvements à 60°/sec (agoniste et antagoniste évalués sur 2 séries différentes)

### **Programme de la deuxième journée**

*Evaluation clinique* : recueil d'éventuels évènements survenus après la première évaluation à type de courbatures musculaires (intensité, délai d'apparition, localisation, durée) ou de douleurs.

*Evaluation instrumentale* : le sujet est évalué selon la même procédure que lors de la première journée d'expérimentation.

### **Traitement et analyse des données**

Les données provenant de l'analyse instrumentale ont été stockées sur le disque dur du PC de l'appareil d'isocinétisme et dupliquées sur disque dur externe pour analyse ultérieure. Les données ont été exportées sur un tableur Excel puis traitées au niveau statistique avec les logiciels SPSS 17 et XLSTAT 2010.

### **Description des méthodes statistiques**

La reproductibilité des mesures de force a été étudiée en évaluant la concordance entre les valeurs obtenues lors du test-retest, au sein de chaque groupe (rotations, FE debout...) pour chacune des vitesses testées. S'agissant de variables continues, nous avons utilisé le calcul de l'ICC (Intraclass Coefficient Correlation), décrit par Shrout et Fleiss (1979). L'ICC associe une mesure de corrélation à une statistique testant la différence entre les moyennes. Il s'agit de la mesure utilisée dans la plupart des études de type test-retest. Plus la valeur de l'ICC est proche de 1, meilleure est la reproductibilité. Différentes interprétations de la valeur de l'ICC existent. Selon Fleiss (1986), la reproductibilité est excellente quand l'ICC est supérieur à 0,75. D'après Rosner (2005), une valeur d'ICC inférieure à 0,40 indique une mauvaise reproductibilité, une valeur entre 0,40 et 0,75 une bonne reproductibilité et une valeur supérieure à 0,75 une excellente reproductibilité.

Pour chacun des tests en mode concentrique, par exemple l'évaluation du moment maximal des rotateurs médiaux, les valeurs retrouvées pour les différentes vitesses ont été comparées entre elles avec un test de Friedman. Pour le mode excentrique, n'ayant que deux vitesses à comparer, un test de Wilcoxon signé a été utilisé.

## **Calcul du nombre de personnes incluses**

En tenant compte des valeurs d'ICC décrites dans la littérature médicale concernant l'évaluation isocinétique de la hanche et d'autres articulations, et de notre souhait de sélectionner les tests permettant d'obtenir des ICC d'au moins 0,9 ; cela pour un risque alpha de 5 % et bêta de 20 % ; le calcul de l'effectif nécessaire (Walter et al 1998 ; Bonett Douglas 2002) indique un échantillon de 15 à 18 sujets. Nous avons donc inclus 20 sujets dans chacun des 3 groupes soit 60 volontaires sains au total.

## **RESULTATS**

### **Population étudiée**

Dans le groupe RMRL (n=20 ; 10 hommes, 10 femmes), l'âge moyen était de  $23,45 \pm 3,57$  ans (18-32 ans), la taille moyenne de  $170,70 \pm 8,14$  cm (155-185 cm) et le poids moyen de  $64,26 \pm 9,52$  kg (49-86 kg). Dans le groupe FE/ABAD COUCH (n=20 ; 10 hommes, 10 femmes), l'âge moyen était  $25 \pm 3,59$  ans (20-34 ans), la taille moyenne  $173,40 \pm 9,24$  cm (155-188 cm) et le poids moyen  $70,95 \pm 15,95$  (46-120 kg). Dans le groupe FE/ABAD DEB (n=20 ; 10 hommes, 10 femmes), l'âge moyen était  $23,79 \pm 3,96$  ans (20-33 ans), la taille moyenne  $171 \pm 7,64$  cm (156-183 cms) et le poids moyen  $65,80 \pm 10,62$  kg (47-85 kg).

### **Suivi du calendrier**

Dans le groupe RMRL, tous les tests ont pu être effectués selon le calendrier prévu sauf un test retardé à J21 pour raisons personnelles et un autre reporté à J35 pour des douleurs musculaires consécutives à un effort musculaire inhabituel entre les deux tests. Parmi le groupe couché, un test a été reporté à J14 pour un syndrome infectieux survenu le jour du deuxième test et un autre test reporté à J14, le sujet ayant présenté des douleurs au niveau des adducteurs dès le premier mouvement du deuxième test. Aucun test n'a été reporté dans le groupe debout.

Pour chaque sujet, toutes les vitesses ont pu être testées y compris en concentrique à  $30^\circ/\text{sec}$ , vitesse étant perçue comme étant la plus difficile.

### **Effets indésirables**

Les effets indésirables observés entre les deux tests sont ceux recensés en évaluation isocinétique concentrique et excentrique, à type de courbatures (Croisier et al, 2003) et variables selon les groupes. Dans le groupe RMRL, 5 sujets ont ressenti des courbatures au niveau du membre inférieur testé, essentiellement du lendemain au surlendemain et jusqu'à 5 jours après le test pour un sujet. 12 sujets du groupe FE/ABAD COU ont présenté des courbatures surtout au niveau d'un ou des deux membres inférieurs, mais aussi de la région lombaire et des membres supérieurs dans les 3 jours suivant le premier test. Enfin, parmi le groupe FE/ABAD DEB, 7 sujets ont présenté des courbatures des membres inférieurs et parfois des abdominaux, d'un biceps brachial et des pectoraux du lendemain jusqu'au troisième jour après le test.

### **Evaluation isocinétique**

#### ***Valeurs observées en rotation***

Le tableau I présente les valeurs du moment maximal pour les mouvements de rotation en position assise pour les différentes vitesses, en concentrique et en excentrique, lors des deux tests avec la valeur de l'ICC.

**Tableau I : moment maximal des rotateurs médiaux et latéraux (n=20) lors des tests 1 et 2 avec calcul de l'ICC**

		M MAX							
		CONCENTRIQUE					EXCENTRIQUE		
		30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s	30°/s	60°/s
		M ± ET	M ± ET	M ± ET	M ± ET	M +/- ET	M ± ET	M ± ET	M ± ET
<b>Rotateurs médiaux</b>	Test 1	<b>76.46</b>	<b>66.07</b>	<b>61.58</b>	<b>60.79</b>	<b>53.12</b>	<b>44.04</b>	<b>110.06</b>	<b>110.41</b>
		20.62	19.55	21.52	17.54	17.05	16.08	40.08	34.16
	Test 2	<b>84.07</b>	<b>79.45</b>	<b>71.2</b>	<b>70.49</b>	<b>62.04</b>	<b>52.74</b>	<b>115.15</b>	<b>123.93</b>
20.08		19.76	18.55	16.46	14.11	14.13	28.58	33.24	
<b>ICC</b>		<b>0,78</b>	<b>0,68</b>	<b>0,69</b>	<b>0,78</b>	<b>0,71</b>	<b>0,69</b>	<b>0,77</b>	<b>0,61</b>
<b>Rotateurs latéraux</b>	Test 1	<b>49.37</b>	<b>43.98</b>	<b>41.56</b>	<b>41.31</b>	<b>37.63</b>	<b>31.08</b>	<b>60.52</b>	<b>60.92</b>
		13.09	12.4	11.14	9.8	11.42	9.91	14.87	16.06
	Test 2	<b>51.45</b>	<b>50.24</b>	<b>48.53</b>	<b>46.31</b>	<b>41.79</b>	<b>35.27</b>	<b>57.84</b>	<b>58.4</b>
13.34		11.84	11.6	12.22	10.96	11.87	19.28	20.08	
<b>ICC</b>		<b>0,67</b>	<b>0,86</b>	<b>0,79</b>	<b>0,85</b>	<b>0,81</b>	<b>0,77</b>	<b>0,65</b>	<b>0,77</b>

M MAX = moment maximal

M ± ET = moyenne ± écart-type

ICC = Intraclass Correlation Coefficient

Lors du premier test, en mode concentrique, le moment maximal des rotateurs médiaux et latéraux a diminué avec l'augmentation de la vitesse de test. Quelle que soit la vitesse, le moment maximal des rotateurs médiaux était supérieure à celui des rotateurs latéraux. Il a été retrouvé des différences significatives (Friedman :  $p < 0.0001$ ) entre les différentes vitesses en concentrique pour les rotateurs médiaux (tableau II) et les rotateurs latéraux (tableau III) :

**Tableau II : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les rotateurs médiaux**

Rotateurs médiaux	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
60°/s	NS	X	NS	NS	< 0,0001	< 0,0001
90°/s	< 0,0001	NS	X	NS	NS	< 0,0001
120°/s	< 0,0001	NS	NS	X	NS	< 0,0001
180°/s	< 0,0001	< 0,0001	NS	NS	X	NS
240°/s	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	NS	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

Pour le mode excentrique, les valeurs du moment maximal étaient similaires entre les deux vitesses (test de Wilcoxon signé non significatif). Par ailleurs, le moment maximal observé en excentrique était toujours supérieur au moment maximum observé en concentrique. Comme en mode concentrique, quelle que soit la vitesse, le moment maximal des rotateurs médiaux était supérieur à celui des rotateurs latéraux.

**Tableau III : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les rotateurs latéraux**

Rotateurs latéraux	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
60°/s	NS	X	NS	NS	< 0,0001	< 0,0001
90°/s	< 0,0001	NS	X	NS	NS	< 0,0001
120°/s	< 0,0001	NS	NS	X	NS	< 0,0001
180°/s	< 0,0001	< 0,0001	NS	NS	X	< 0,0001
240°/s	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

### **Etude de la reproductibilité en rotation**

En mode concentrique, pour les rotateurs médiaux, les valeurs de l'ICC comprises entre 0,68 (à 60°/sec) et 0,78 (à 30°/sec) montraient une reproductibilité bonne à excellente selon la vitesse. Pour les rotateurs latéraux, l'ICC de 0,67 (à 30°/sec) à 0,86 (à 60°/sec) indiquait une reproductibilité bonne à excellente selon la vitesse. En mode excentrique, l'ICC des rotateurs médiaux était maximum à 30°/sec (ICC = 0,77) et celui des rotateurs latéraux à 60°/sec (ICC = 0,77) correspondant à une excellente reproductibilité.

### **Valeurs observées en flexion-extension en position couchée**

Le tableau IV récapitule les valeurs observées du moment maximal pour les mouvements de flexion-extension en position couchée pour les différentes vitesses en concentrique et en excentrique lors des deux tests avec le calcul de l'ICC.

**Tableau IV : moment maximal des fléchisseurs et extenseurs (n=20) lors des tests 1 et 2 avec calcul de l'ICC en position couchée**

		M MAX							
		CONCENTRIQUE						EXCENTRIQUE	
		30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s	30°/s	60°/s
		M +/- ET							
<b>Fléchisseurs couchée</b>	Test 1	<b>144.94</b> 49.88	<b>136.26</b> 51.18	<b>121.43</b> 38.46	<b>116.85</b> 40.07	<b>108.05</b> 33.82	<b>100.32</b> 36.09	<b>128.76</b> 53.45	<b>132.99</b> 48.09
	Test 2	<b>145.51</b> 52.04	<b>138.33</b> 50.74	<b>126.58</b> 45.33	<b>118.14</b> 38.9	<b>111.51</b> 31.62	<b>100.89</b> 34.04	<b>134.25</b> 62.89	<b>139.04</b> 52.82
	ICC	<b>0,88</b>	<b>0,87</b>	<b>0,78</b>	<b>0,89</b>	<b>0,83</b>	<b>0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,90</b>
<b>Extenseurs couchée</b>	Test 1	<b>204.14</b> 70.71	<b>186.76</b> 62.28	<b>174.96</b> 57.22	<b>175.76</b> 65.43	<b>160.91</b> 56.86	<b>141.91</b> 60.71	<b>287.70</b> 97.68	<b>285.2</b> 85.2
	Test 2	<b>199.53</b> 63.57	<b>184.59</b> 57.01	<b>173.65</b> 54.13	<b>168.58</b> 53.48	<b>146.9</b> 53.6	<b>132.13</b> 53.35	<b>295.56</b> 80.29	<b>304.06</b> 80.83
	ICC	<b>0,92</b>	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	<b>0,82</b>	<b>0,78</b>	<b>0,84</b>	<b>0,91</b>	<b>0,67</b>

M MAX = moment maximal

M ± ET = moyenne ± écart-type

ICC = Intraclass Correlation Coefficient

A partir des valeurs observées lors du premier test, en concentrique le moment maximal des fléchisseurs et extenseurs diminuait avec l'augmentation de la vitesse de test. Quelle que soit la vitesse, le moment maximal des extenseurs était supérieur à celui fléchisseurs. Des différences significatives (Friedman :  $p < 0.0001$ ) ont été retrouvées entre les différentes vitesses en concentrique pour les fléchisseurs (tableau V) et les extenseurs (tableau VI) :

**Tableau V : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les fléchisseurs en position couchée**

<b>Fléchisseurs</b>	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
60°/s	NS	X	NS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
90°/s	< 0,0001	NS	X	NS	NS	< 0,0001
120°/s	< 0,0001	< 0,0001	NS	X	NS	NS
180°/s	< 0,0001	< 0,0001	NS	NS	X	NS
240°/s	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	NS	NS	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

**Tableau VI : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les extenseurs en position couchée**

<b>Extenseurs</b>	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	< 0,0001	NS	< 0,0001	< 0,0001
60°/s	NS	X	NS	NS	< 0,0001	< 0,0001
90°/s	< 0,0001	NS	X	NS	NS	< 0,0001
120°/s	NS	NS	NS	X	NS	< 0,0001
180°/s	< 0,0001	< 0,0001	NS	NS	X	NS
240°/s	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	NS	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

Pour le mode excentrique, il n'y avait pas de différence significative entre les valeurs du moment maximal entre 30 et 60°/sec, que ce soit pour les fléchisseurs ou les extenseurs (test de Wilcoxon signé). Les valeurs en excentrique étaient toutes supérieures aux valeurs du mode concentrique en ce qui concerne les extenseurs. Par contre, pour les fléchisseurs, le moment maximal observé à 30°/sec était supérieur au moment observé en excentrique que ce soit à 30 ou 60°/sec. Enfin, quelle que soit la vitesse, le moment maximal des extenseurs était supérieur à celui des fléchisseurs tout comme en mode concentrique.

#### ***Etude de la reproductibilité pour la flexion-extension en position couchée***

En mode concentrique, pour les fléchisseurs, la reproductibilité était excellente avec des valeurs d'ICC comprises entre 0,78 (90°/sec) à 0,91 (240°/sec). Pour les extenseurs, l'ICC compris entre 0,78 (180°/sec) et 0,92 (30°/sec) représentait également une excellente reproductibilité. En mode excentrique, la reproductibilité était excellente avec de très hautes valeurs de l'ICC. En effet, l'ICC des fléchisseurs était maximal à 30°/sec (ICC = 0,93 pour 0,91 à 60°/sec) et celui des extenseurs à 60°/sec (ICC = 0,91 pour 0,67 à 60°/sec).

### Valeurs observées en abduction-adduction en position couchée

A partir des valeurs observées lors du premier test, en concentrique le moment maximal des abducteurs et adducteurs diminuait avec l'augmentation de la vitesse de test (sauf entre 90 et 120°/s pour les adducteurs). Quelle que soit la vitesse, le moment maximal des adducteurs était supérieur à celui abducteurs.

**Tableau VII : moment maximal des abducteurs et adducteurs (n=20) lors des tests 1 et 2 avec calcul de l'ICC en position couchée**

		M MAX							
		CONCENTRIQUE				EXCENTRIQUE			
		30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s	30°/s	60°/s
		M +/- ET	M +/- ET	M +/- ET	M +/- ET				
<b>Abducteurs couchée</b>	Test 1	<b>121.89</b> 46.88	<b>115.74</b> 43.89	<b>101.99</b> 35.87	<b>97.56</b> 35.61	<b>88.92</b> 32.44	<b>77.4</b> 34.2	<b>99.77</b> 39.2	<b>107.85</b> 38.85
	Test 2	<b>121.65</b> 44.05	<b>119.37</b> 43.42	<b>105.63</b> 41.18	<b>99.74</b> 37.9	<b>88.73</b> 33.26	<b>76.17</b> 28.11	<b>111.71</b> 45.89	<b>114.61</b> 46.34
	ICC	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	<b>0,94</b>	<b>0,91</b>	<b>0,87</b>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>
<b>Adducteurs couchée</b>	Test 1	<b>129.56</b> 54.79	<b>126.19</b> 50.79	<b>121.65</b> 53.55	<b>125.84</b> 54.52	<b>111.76</b> 52.84	<b>95.99</b> 52	<b>182.72</b> 65.27	<b>192.43</b> 68.2
	Test 2	<b>124.3</b> 48.71	<b>122.32</b> 54.75	<b>117.93</b> 50.91	<b>121.9</b> 51.36	<b>112.83</b> 48.13	<b>91.3</b> 46.2	<b>179.79</b> 68.33	<b>191.37</b> 60.73
	ICC	<b>0,83</b>	<b>0,86</b>	<b>0,91</b>	<b>0,80</b>	<b>0,84</b>	<b>0,86</b>	<b>0,92</b>	<b>0,87</b>

M MAX = moment maximal

M ± ET = moyenne ± écart-type

ICC = Intraclass Correlation Coefficient

Il a été retrouvé des différences significatives (Friedman :  $p < 0.0001$ ) entre les différentes vitesses en concentrique pour les abducteurs (tableau VIII) et les adducteurs (tableau IX) :

**Tableau VIII : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les abducteurs en position couchée**

<b>Abducteurs</b>	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	< 0,0001	< 0,0001	NS	< 0,0001
60°/s	NS	X	NS	< 0,0001	NS	< 0,0001
90°/s	< 0,0001	NS	X	NS	< 0,0001	NS
120°/s	< 0,0001	< 0,0001	NS	X	< 0,0001	NS
180°/s	NS	NS	< 0,0001	< 0,0001	X	< 0,0001
240°/s	< 0,0001	< 0,0001	NS	NS	< 0,0001	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

Pour le mode excentrique, les valeurs ont augmenté significativement entre 30 et 60°/sec pour les abducteurs mais il n'y avait pas de différence significative entre les deux vitesses pour les adducteurs. Quelle que soit la vitesse, comme pour le mode concentrique, le moment maximal en excentrique des adducteurs était supérieur à celui des abducteurs.

**Tableau IX : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les adducteurs en position couchée**

<b>Adducteurs</b>	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	< 0,0001	< 0,0001	NS	NS	NS
60°/s	< 0,0001	X	NS	NS	NS	< 0,0001
90°/s	< 0,0001	NS	X	NS	NS	< 0,0001
120°/s	NS	NS	NS	X	NS	NS
180°/s	NS	NS	NS	NS	X	NS
240°/s	NS	< 0,0001	< 0,0001	NS	NS	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

***Etude de la reproductibilité pour l'abduction-adduction en position couchée***

En mode concentrique, pour les abducteurs, les valeurs d'ICC étaient comprises entre 0,87 (à 240°/sec) et 0,95 (à 90°/sec), ce qui correspond à une excellente reproductibilité. Pour les adducteurs, les valeurs d'ICC de 0,83 (à 30°/sec) à 0,91 (à 90°/sec) représentaient également une excellente reproductibilité.

En mode excentrique, l'ICC des abducteurs était maximal à 60°/sec (ICC = 0,93 pour 0,92 à 30°/sec) et celui des adducteurs à 30°/sec (ICC = 0,92 pour 0,87 à 60°/sec). La reproductibilité était donc excellente en mode excentrique.

***Valeurs observées en flexion-extension en position debout***

Le tableau X récapitule les valeurs observées du moment maximal pour les mouvements de flexion-extension en position debout, pour les différentes vitesses en concentrique et en excentrique, lors des deux tests avec le calcul de l'ICC.

**Tableau X : moment maximal des fléchisseurs et extenseurs (n=20) lors des tests 1 et 2 avec calcul de l'ICC en position debout**

		<b>M MAX</b>							
		<b>CONCENTRIQUE</b>						<b>EXCENTRIQUE</b>	
		30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s	30°/s	60°/s
		M +/- ET							
<b>Fléchisseurs debout</b>	Test 1	<b>135.95</b> 37.45	<b>141.17</b> 42.72	<b>134.95</b> 39.62	<b>153.5</b> 52.96	<b>145.93</b> 46.56	<b>138.78</b> 43.78	<b>115.56</b> 55.41	<b>131.43</b> 48.86
	Test 2	<b>141.49</b> 48.11	<b>145.62</b> 50.3	<b>152.51</b> 59.76	<b>155.85</b> 44.86	<b>150.28</b> 45.12	<b>139.12</b> 43.29	<b>119.06</b> 33.12	<b>131.56</b> 35.3
		<b>0,84</b>	<b>0,79</b>	<b>0,70</b>	<b>0,91</b>	<b>0,95</b>	<b>0,94</b>	<b>0,70</b>	<b>0,78</b>
<b>Extenseurs debout</b>	Test 1	<b>136.05</b> 39.79	<b>128.13</b> 50.81	<b>127.65</b> 46.74	<b>138.37</b> 49.49	<b>134.72</b> 45.9	<b>119.33</b> 41.53	<b>151.83</b> 51.97	<b>157.83</b> 44.26
	Test 2	<b>150.86</b> 56.36	<b>145.6</b> 54.84	<b>143.44</b> 56.91	<b>144.78</b> 53.75	<b>132.71</b> 51.88	<b>118.82</b> 46.82	<b>156.97</b> 33.13	<b>162.52</b> 39.14
		<b>0,82</b>	<b>0,87</b>	<b>0,90</b>	<b>0,89</b>	<b>0,77</b>	<b>0,92</b>	<b>0,73</b>	<b>0,86</b>

M MAX = moment maximal

M ± ET = moyenne ± écart-type

ICC = Intraclass Correlation Coefficient

En concentrique, à partir des valeurs observées lors du premier test, le moment maximal n'a pas diminué avec l'augmentation de la vitesse. Toutefois, il existait des différences significatives entre les différentes vitesses en concentrique pour les fléchisseurs (Friedman,  $p=0,031$ ) et extenseurs (Friedman,  $p = 0,004$ ), mais pour les fléchisseurs cette différence n'a été retrouvée qu'entre 90 et 120 °/sec (tableau XI).

**Tableau XI : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les fléchisseurs en position debout**

<b>Fléchisseurs</b>	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	NS	NS	NS	NS
60°/s	NS	X	NS	NS	NS	NS
90°/s	NS	NS	X	<b>&lt; 0,0001</b>	NS	NS
120°/s	NS	NS	<b>&lt; 0,0001</b>	X	NS	NS
180°/s	NS	NS	NS	NS	X	NS
240°/s	NS	NS	NS	NS	NS	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

**Tableau XII : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les extenseurs en position debout**

<b>Extenseurs</b>	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	NS	NS	NS	<b>&lt; 0,0001</b>
60°/s	NS	X	NS	NS	NS	NS
90°/s	NS	NS	X	NS	NS	NS
120°/s	NS	NS	NS	X	NS	<b>&lt; 0,0001</b>
180°/s	NS	NS	NS	NS	X	NS
240°/s	<b>&lt; 0,0001</b>	NS	NS	<b>&lt; 0,0001</b>	NS	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

Quelle que soit la vitesse, le moment maximal des fléchisseurs était supérieur à celui des extenseurs sauf à 30°/sec où les valeurs étaient similaires. Pour le mode excentrique, les valeurs ont augmenté significativement entre 30 et 60°/sec pour les fléchisseurs seulement (Wilcoxon signé,  $p < 0.0001$ ). Quelle que soit la vitesse, en mode excentrique, le moment maximal des extenseurs était supérieur à celui des fléchisseurs.

#### **Etude de la reproductibilité pour la flexion-extension en position debout**

Pour les fléchisseurs, les valeurs de l'ICC de 0,70 (à 90°/sec) à 0,95 (à 180°/sec) représentait une reproductibilité bonne à excellente. Pour les extenseurs, la reproductibilité était excellente avec un ICC allant de 0,77 (à 180°/sec) à 0,92 (à 240°/sec). En excentrique, l'ICC des fléchisseurs était maximal à 30°/sec (ICC = 0,67 pour 0,78 à 60°/sec) et celui des extenseurs à 60°/sec (ICC = 0,73 pour 0,67 à 60°/sec).

### Valeurs observées en abduction-adduction en position debout

Le tableau XIII récapitule les valeurs observées du moment maximal pour les mouvements d'abduction-adduction en position debout, pour les différentes vitesses en concentrique et en excentrique lors des deux tests avec le calcul de l'ICC.

**Tableau XIII : moment maximal des abducteurs et adducteurs (n=20) lors des tests 1 et 2 avec calcul de l'ICC en position debout**

		M MAX							
		CONCENTRIQUE						EXCENTRIQUE	
		30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s	30°/s	60°/s
		M +/-							
		ET							
<b>Abducteurs debout</b>	Test 1	<b>103.37</b>	<b>97.05</b>	<b>92</b>	<b>90.88</b>	<b>76.07</b>	<b>57.82</b>	<b>75.54</b>	<b>80.58</b>
		31.46	23.66	18.8	23.66	23.15	23.69	19.92	22.93
	Test 2	<b>102.28</b>	<b>100.12</b>	<b>93.44</b>	<b>93.55</b>	<b>80.24</b>	<b>56.22</b>	<b>82.82</b>	<b>92.41</b>
		30.36	28.67	28.59	21.78	21.47	20.29	18.79	22.77
		<b>0,80</b>	<b>0,85</b>	<b>0,78</b>	<b>0,80</b>	<b>0,73</b>	<b>0,78</b>	<b>0,83</b>	<b>0,87</b>
<b>Adducteurs debout</b>	Test 1	<b>131.4</b>	<b>132.77</b>	<b>130.98</b>	<b>136.37</b>	<b>127.17</b>	<b>115.13</b>	<b>139.7</b>	<b>149.85</b>
		41.84	48.61	46.66	49.27	51.74	51.9	39.92	39.56
	Test 2	<b>137.69</b>	<b>128.68</b>	<b>122.59</b>	<b>132.75</b>	<b>126.01</b>	<b>111.53</b>	<b>145.48</b>	<b>152.6</b>
		46.83	45.65	43.98	46.77	50.43	50.24	39.17	42.25
	ICC	<b>0,93</b>	<b>0,96</b>	<b>0,91</b>	<b>0,88</b>	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>	<b>0,86</b>	<b>0,97</b>

M MAX = moment maximal

M ± ET = moyenne ± écart-type

ICC = Intraclass Correlation Coefficient

En concentrique, à partir des valeurs du premier test, seul le moment maximal des abducteurs a significativement diminué avec l'augmentation de la vitesse de test alors que pour les adducteurs, les valeurs ont fluctué selon la vitesse. Il existait des différences significatives entre les différentes vitesses en concentrique pour les abducteurs (Friedman,  $p < 0,0001$ ) (tableau XIV) et les adducteurs (Friedman,  $p=0,005$ )(tableau XV)

**Tableau XIV : comparaison (test de Friedman) des valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les abducteurs en position debout**

<b>Abducteurs</b>	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	NS	NS	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
60°/s	NS	X	NS	NS	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
90°/s	NS	NS	X	NS	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
120°/s	NS	NS	NS	X	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
180°/s	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	X	NS
240°/s	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	NS	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

Quelle que soit la vitesse, en concentrique et excentrique, le moment maximal des adducteurs était supérieur à celui des abducteurs. Pour le mode excentrique, le moment maximal des adducteurs a augmenté significativement entre 30 et 60°/sec (Wilcoxon signé,  $p = 0.005$ ) mais pas pour les abducteurs (Wilcoxon signé, NS).

**Tableau XIV : étude des corrélations (Friedman) entre les valeurs du moment maximal aux différentes vitesses en mode concentrique pour les adducteurs en position debout**

<b>Adducteurs</b>	30°/s	60°/s	90°/s	120°/s	180°/s	240°/s
30°/s	X	NS	NS	NS	NS	<b>&lt; 0,0001</b>
60°/s	NS	X	NS	NS	NS	NS
90°/s	NS	NS	X	NS	NS	NS
120°/s	NS	NS	NS	X	NS	<b>&lt; 0,0001</b>
180°/s	NS	NS	NS	NS	X	NS
240°/s	<b>&lt; 0,0001</b>	NS	NS	<b>&lt; 0,0001</b>	NS	X

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

NS = Non Significatif

### ***Etude de la reproductibilité pour l'abduction-adduction en position debout***

Pour les abducteurs, la valeur de l'ICC a varié de 0,73 (à 180°/sec) à 0,85 (à 60°/sec) soit une reproductibilité bonne à excellente. Pour les adducteurs, les valeurs très hautes de l'ICC de 0,88 (120°/sec) à 0,96 (60°/sec) indiquaient une excellente reproductibilité. En mode excentrique, l'ICC des abducteurs était maximal à 60°/sec (ICC = 0,87 pour 0,97 à 30°/sec) et celui des adducteurs à 60°/sec (ICC = 0,97 pour 0,86 à 30°/sec) ce qui correspond à une excellente reproductibilité.

## **DISCUSSION**

Nous avons évalué dans 3 groupes de 20 personnes la reproductibilité des mouvements de flexion-extension, abduction-adduction et rotations de la hanche. Pour les mouvements de flexion-extension et abduction-adduction, l'évaluation a été faite à partir des deux positions utilisables avec le dispositif Biodex, en position couchée et debout. Globalement, quel que soit le mouvement, la vitesse ou la position testée, nous avons pu constater que dans le cadre d'un protocole rigoureux nous avons obtenu des ICC considérés comme bons à excellents.

Par ailleurs, les tests ont été bien tolérés avec de simples courbatures entre les deux jours de test.

Les conditions de reproductibilité maximale dans l'évaluation isocinétique de la force des muscles de la hanche peuvent être discutées en fonction de nombreux paramètres dont les valeurs d'ICC décrites ici.

### **Valeurs du moment maximal**

Conformément à Cahalan et al (1989), le moment maximal des extenseurs était supérieur à celui des fléchisseurs quel que soit la position et la vitesse, en concentrique et en excentrique. Celui des adducteurs était supérieur à celui des abducteurs et le moment maximal des rotateurs médiaux supérieur à celui des rotateurs latéraux quel que soit la position et la vitesse, en concentrique et en excentrique.

Comme pour d'autres articulations, selon la loi de Hill (Monod et al, 2007), la valeur du moment maximal a diminué avec la vitesse du test lorsque l'on a testé la FE couchée, l'ABAD couchée et les rotations. Nous n'avons pas retrouvé cette linéarité avec les tests en position debout contrairement à Cahalan et al (1989). Toutefois cet auteur a utilisé un système de stabilisation surajouté au système Cybex. Nous avons constaté lors des tests en position debout des difficultés de certains sujets à maintenir un niveau maximal de contraction sur certains secteurs angulaires avec une gêne pour maintenir leur équilibre, ce qui explique peut-être ce

phénomène. Malgré cela, on peut noter que la reproductibilité est restée bonne à excellente en position debout. Les mouvements associés du tronc pendant le test en position debout mettent en jeu des groupes musculaires plus diffus que ceux de la hanche, ce qui doit être gardé à l'esprit lors de l'interprétation des valeurs. Le membre controlatéral est également mis en jeu pour la stabilisation du sujet. Malgré ces réserves, certains préféreront utiliser cette position debout en considérant que les conditions sont plus proches des conditions physiologiques.

### **Reproductibilité**

Quel que soit le test, la position et la vitesse il a été constaté des ICC de 0,61 (rotateurs médiaux à 60°/sec en excentrique) à 0,97 (adducteurs debout à 60°/sec en excentrique). Il s'agit donc d'une reproductibilité bonne à excellente. Globalement, les ICC les plus bas ont été observés pour les rotateurs, en particulier les rotateurs médiaux dont l'ICC maximal est de 0,78 à 30°/sec. Pour les rotateurs latéraux, l'ICC maximal de 0,86 a été observé à 60°/sec, se rapprochant ainsi des valeurs d'ICC observées pour les autres mouvements de la hanche.

Si l'ICC est considéré comme excellent au-delà de 0,75, il est souhaitable d'avoir une valeur la plus haute, proche de 0,9 ou supérieure à 0,9 comme pour les autres articulations. Cela a été le cas en position couchée, pour les fléchisseurs à 30°/sec (ICC = 0,88), 120°/sec (ICC = 0,89), 240°/sec (ICC = 0,91) et en excentrique à 30°/sec (ICC = 0,92) et 60°/sec (ICC = 0,9). Pour les extenseurs, l'ICC était de 0,92 à 30°/sec, 0,88 à 60°/sec et 0,91 en excentrique à 30°/sec.

Les valeurs observées dans le même groupe au niveau des abducteurs étaient presque toutes supérieures à 0,9 en concentrique et excentrique sauf à 240°/sec où l'ICC était de 0,87. Pour les adducteurs en position couchée, l'ICC était supérieur à 0,9 à 90°/sec (0,91) et à 30°/sec en excentrique à 30°/sec (0,92).

En position debout, malgré les réserves qui peuvent être faites sur l'absence de stabilisation des sujets et la mise œuvre de groupes musculaires plus diffus, l'ICC des fléchisseurs en concentrique était supérieur à 0,9 à 120°/sec, 180°/sec et 240°/sec (respectivement 0,91 ; 0,95 et 0,94). Pour les extenseurs, l'ICC était de 0,9 à 90°/sec et 0,89 à 120°/sec et 0,92 à 30°/sec en excentrique. Toujours en position debout, les valeurs d'ICC pour les abducteurs ne dépassaient pas 0,87 alors que les valeurs étaient supérieures à 0,9 pour les adducteurs en concentrique à 30°/s, 60°/s, 90°/s, 180°/s et 240°/s et 60°/s en excentrique (respectivement 0,93 ; 0,96 ; 0,91 ; 0,95 ; 0,95 et 0,97).

Nos ICC paraissent également supérieurs aux valeurs observées dans d'autres études. Il est difficile de comparer la reproductibilité de notre étude à celle de Cahalan et al (1989) qui ont mesuré la force isométrique et isocinétique des muscles de la hanche chez 72 sujets sains, de 20 à 81 ans (37 femmes, 35 hommes). Mais concernant la reproductibilité, seulement 13 sujets ont été testés à deux reprises. Ces auteurs notaient une différence moyenne de moins de 4% et un coefficient de corrélation entre les scores de 0,96 mais sans plus de précision dans le texte. Pour cela, un dispositif supplémentaire de stabilisation a été ajouté au système.

Par rapport à Burnett (1990), pour les mêmes vitesses testées (30 et 90°/sec) et les mêmes mouvements (FE et ABAD en position couchée), nous avons retrouvé des ICC plus élevés. En effet le meilleur ICC observé par Burnett est de 0,84 à 90°/sec pour les extenseurs alors que nous avons obtenu un ICC de 0,92 à 30°/sec et 0,86 à 90°/sec. Pour l'ABAD, ces auteurs retrouvent des ICC inférieurs à 0,6 alors que nos valeurs en ABAD couchée sont toutes supérieures à 0,83 (de 0,83 à 0,95). Toutefois l'étude de Burnett a été conduite chez de jeunes garçons de 6 à 10 ans chez qui il est probablement plus difficile d'obtenir un effort maximal.

Emery et al (1999) se sont intéressés à la reproductibilité des mouvements de flexion et d'adduction en concentrique et excentrique chez des sujets adultes sains en position couchée. 19 hommes ont été testés à 3 reprises à de 60°/sec sur un Cybex Norm. Leur protocole enchaînait un

cycle d'un mouvement excentrique puis concentrique avant de faire un test d'endurance sur 20 contractions excentriques puis concentriques à 150°/sec. La reproductibilité était excellente pour l'adduction en excentrique (ICC = 0,85 pour le côté dominant et 0,84 pour le côté non dominant) mais l'ICC était inférieur à 0,67 pour les autres mouvements testés. Nous avons retrouvé un ICC similaire pour les adducteurs en excentrique à 60°/sec (ICC = 0,87) mais nos valeurs étaient toutes supérieures à 0,67 pour les autres mouvements aux mêmes vitesses. Il faut noter que ces auteurs évaluaient la force en demandant un mouvement concentrique suivi immédiatement d'un excentrique. Nous séparons l'évaluation en excentrique du concentrique compte tenu de la spécificité de ce mouvement. Par ailleurs, dans cette étude mais également dans notre pratique clinique habituelle, nous séparons l'évaluation de l'agoniste et de l'antagoniste car il est difficile d'alterner deux mouvements opposés en excentrique. Nous évaluons l'agoniste sur une première série puis l'antagoniste lors d'une deuxième série. Dans notre expérience, le moment maximal est ainsi supérieur quel que soit l'articulation testée.

Nos valeurs concordent avec celles de Claiborne et al (2008) sur Biodex à 60°/sec en position couchée mais nos ICC étaient légèrement supérieurs. Les ICC les plus bas observés par Claiborne concernent les rotateurs mais là encore les ICC observés de notre étude étaient supérieurs.

Concernant les FE à 90°/sec (Julia et al, 2010) sur Contrex en position couchée, les ICC en mode concentrique sont du même ordre mais notre valeur d'ICC en excentrique à 30°/sec était supérieure. En effet, pour ces auteurs, l'ICC des extenseurs en excentrique à 30°/sec est de 0,68 à gauche et 0,78 à droite alors que nous avons retrouvé un ICC de 0,91 dans les mêmes conditions. Ces auteurs demandaient aux sujets de garder le genou tendu alors que nous avons laissé les sujets faire l'effort sans consigne concernant le genou. Par ailleurs, nous avons demandé aux sujets de pousser et non pas de retenir la machine car, dans notre pratique clinique, nous avons constaté que cela permettait d'augmenter les valeurs observées. La consigne donnée dans l'étude de Julia n'est pas précisée dans l'étude.

## **Perspectives**

Dans le cadre d'une évaluation clinique comparative, ou d'un protocole d'étude utilisant l'évaluation isocinétique de la hanche, les modalités du test doivent être définies sur plusieurs plans : choix du mouvement à tester, de la position, des vitesses, du nombre de répétitions, du mode de contraction. Il faut également préciser les conditions concernant l'encouragement verbal et les consignes données au sujet. Pour cela, l'expérimentateur va devoir faire des choix en fonction des renseignements qu'il souhaite obtenir et des qualités métrologiques de l'évaluation. Le choix d'évaluer la force à vitesse lente ou rapide dépend de la physiologie articulaire de la hanche et du type d'effort que le sujet est amené à faire dans la vie courante ou lors de pratiques physiques intenses professionnelles ou sportives. Les valeurs de vitesses proches ne seront pas utilisées en l'absence de différence significative entre elles dans notre étude. Il faut également tenir compte de la tolérance du test en vitesse lente concentrique qui peut être bien tolérée chez un sujet sain mais pas forcément dans le cadre d'une atteinte articulaire ou musculaire. Les valeurs observées de l'ICC dans notre étude permettent de connaître la reproductibilité de tel ou tel mouvement. L'examineur peut donc tenir compte de ces données en sachant également qu'une vitesse sera la plus reproductible pour l'agoniste et une autre pour l'antagoniste. Enfin, le choix de la position debout ou couchée tiendra compte du souhait d'isoler plus spécifiquement les muscles de la hanche en position couchée ou plutôt de se rapprocher de conditions plus physiologiques en position debout.

Malgré l'importance de la hanche dans la locomotion et la force de ses muscles activateurs, l'évaluation isocinétique n'a que peu été utilisée jusqu'à maintenant, ce qui peut paraître paradoxal compte tenu de la fréquence des atteintes rhumatologiques et traumatiques de celle-ci.

Par ailleurs, en l'absence même d'atteinte directe de la hanche, ces muscles peuvent être déficients dans la cadre d'une atteinte neurologique comme un AVC ou une pathologie musculaire. L'évaluation spécifique de ces muscles devrait alors aider à préciser les protocoles de rééducation. Dans un autre domaine, le lombalgique chronique présente un déficit musculaire des muscles du tronc bien documenté. Alors que les fessiers ont un rôle essentiel dans la cinématique lombo-pelvienne, le retentissement de la lombalgie sur leur force est peu documenté. Enfin, si les effets de l'entraînement intensif chez le lombalgique sont connus pour les muscles du tronc, ils ne le sont pas pour les muscles de la hanche. Une étude complémentaire utilisant les données expérimentales décrites ci-dessus permettrait de préciser les conséquences de la lombalgie chronique sur les capacités des muscles de la hanche et sur les effets de leur réentraînement physique.

## CONCLUSION

Nous avons pu préciser dans cette étude chez le sujet sain, les qualités métrologiques de reproductibilité de l'évaluation isocinétique des muscles de la hanche. Globalement, nous avons pu constater que dans le cadre d'un protocole de test rigoureux, les valeurs de l'ICC peuvent être considérées comme bonnes à excellentes. Toutefois, certaines positions et vitesses devront être préférées si l'on veut bénéficier de l'ICC le plus haut possible, c'est-à-dire de la meilleure reproductibilité. Par ailleurs, les valeurs d'ICC observées dans notre étude sont au moins égales, si ce n'est supérieures à celles des autres études avec notre procédure de test.

Des études complémentaires sur l'implication des muscles de la hanche dans certaines pathologies vont pouvoir être conduites, que ce soit chez des patients présentant une pathologie de la hanche, mais aussi dans le cadre de pathologies rachidiennes, du bassin, ou bien encore dans le cadre d'affections neurologiques.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la fondation Paul Bennetot pour le financement de cette étude mais également pour leur soutien tout au long de ce protocole.

Nous remercions également Mr Julien Bestion pour son aide technique rapide et efficace pendant toute l'étude.

## BIBLIOGRAPHIE

**Arokoshi** MH, Arokoshi JP, Haara M, Kankaanpaa M, Vesterinen M, Niemitukia LH, et al. Hip muscle strength and muscle cross sectional area in men with and without osteoarthritis. *Journal of Rheumatology* 2002; 29(10): 2185–95.

**Bonett** Douglas G. Sample size requirements for estimating intraclass correlations with desired precision. *Statistics in Medicine* 2002; 21: 1331-35.

**Burnett** CN, Betts EF, King WM. Reliability of isokinetic measurements of hip muscle torque in young boys. *Phys Ther.* 1990 Apr; 70(4): 244-9.

**Byl** NN, Sadowsky HS. Intersite reliability of repeated isokinetic measurements : Cybex back systems, including trunk rotation, trunk extension flexion and lifttask. *Isokinet Exerc Sci* 1993; 3: 139-146.

**Cahalan TD**, Johnson ME, Liu S, Chao EY. Quantitative measurements of hip strength in different age groups. *Clin Orthop Relat Res* 1989 Sep; 246: 136-45.

**Calmels P**, Abeillon G, Domenach M, Minaire P. Fiabilité et reproductibilité des mesures de la force isocinétique. In: *Isocinétisme et médecine de rééducation*. Masson, Paris. 1991: 26-33.

**Claiborne TL**, Timmons MK, Pincivero DM. Test-retest reliability of cardinal plane isokinetic hip torque and EMG. *J Electromyogr Kinesiol* 2008 Oct; 19(5): 345-52.

**Croisier JL**, Camus G, Forthomme B, Maquet D, Vanderthomme M, Crielaard JM. Delayed onset muscle soreness induced by eccentric isokinetic exercise. *Isokinet Exerc Sci* 2003; 11: 21-29.

**Davies G**. A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation technique. S & S Publishers - Onalaska. 1992; 4th Edition.

**Dvir Z**. Isokinetics. Isokinetics of the hip muscles. In : *Muscle testing, interpretation and clinical applications*; 2nd edition. Churchill Livingstone, 2004: 125-135.

**Emery CA**, Maitland ME, Meeuwisse WH. Test-retest reliability of isokinetic hip adductor and flexor muscle strength. *Clin Journal Sports Medicine* 1999; 9(2): 79-85.

**Eng JJ**, Kim CM, Macintyre DL. Reliability of lower extremity strength measures in persons with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2002 Mar; 83(3): 322-8.

**Fleiss JL**. The design and analysis of clinical experiments. New York: J. Wiley and Sons, 1986.

**Hislop JH**, Perrine JJ. The isokinetic concept of exercise. *Phys Ther* 1967 Feb; 47(2): 114-7.

**Hsu AL**, Tang PF, Jan MH. Test-retest reliability of isokinetic muscle strength of the lower extremities in patients with stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 1130-7.

**Hutchinson B**, Linney M, McFarland CJ, McCloy C. Reliability and predictability of traditional single plane shoulder movements strength values to more functional diagonal pattern strength values when measured on the Cybex II isokinetic dynamometer. *Physiother Canada* 1996; 48: 41-46.

**Julia M**, Dupeyron A, Laffont I, Parisaux JM, Lemoine F, Bousquet PJ, Hérisson C. Reproducibility of isokinetic peak torque assessments of the hip flexor and extensor muscles. *Ann Phys Rehabil Med* 2010 Jun; 53(5): 293-305.

**Kramer JF**. Reliability of knee extensor and flexor torques during continuous concentric-eccentric cycles. *Arch Phys Med Rehabil*. 1990 Jun; 71(7): 460-4.

**Kramer JF** and coll. Reliability of absolute and ratio in assessment of knee extensor and flexor strength. *Isokinet Exerc Sci* 1994; 4: 51-57.

**Madsen OR**. Trunk extensor and flexor strength measured by the Cybex 6000 dynamometer. *Spine* 1996; 21: 2770-2776.

**Monod H**, Flandrois R, Vandewalle H. *Physiologie du sport. Bases physiologiques des activités physiques et sportives*. 6<sup>e</sup> édition. Masson, Paris, 2007.

**Palmer McLean K**, Conner S. Reliability and typical isokinetic values as measured by the Biodex. *Isokinet Exerc Sci* 1994; 4: 20-29.

**Pocholle M**, Codine P. Isocinétisme. In : *Isocinétisme et médecine sportive*, 1998, Masson, Paris, 1-63.

**Rosner B**. *Fundamentals of biostatistics*. Belmont, CA. Duxbury Press, 2005.

**Shrout PE**, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull*. 1979 Mar; 86(2): 420-8.

**Thomson CR**, Paulus LM, Timm K. Concentric isokinetic test-retest reliability and testing interval. *Isokinet Exerc Sci* 1993; 3: 44-49.

**Timm KE**. Comparison of test data from the Cybex TEF and 6000-TMC isokinetic spinal dynamometers. *Isokinet Exerc Sci* 1994; 4: 112-115.

**Walter SD**, Eliasziw M, Donner, A. Sample size and optimal designs for reliability studies. *Statistics in Medicine* 1998; 17: 101-110.

# ANNEXES

## Dispositif Biodes S4 PRO



### Test des rotations en position assise

Rotation latérale



Rotation médiale



**Test de la flexion-extension en position couchée**

Flexion



Extension



**Test de l'abduction-adduction en position couchée**

Abduction



Adduction



**Test de la flexion-extension en position debout**

Flexion



Extension



**Test de l'abduction-adduction en position debout**

Abduction



Adduction

