



**HAL**  
open science

## Les techniques instrumentales de mesure de la force musculaire et de la balance musculaire : le point sur la technologie isocinétique

Maryne Cozette, Pierre-Marie Leprêtre, Thierry Weissland

### ► To cite this version:

Maryne Cozette, Pierre-Marie Leprêtre, Thierry Weissland. Les techniques instrumentales de mesure de la force musculaire et de la balance musculaire : le point sur la technologie isocinétique. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, 2021, 113, pp.45-53. 10.1051/sm/2021016 . hal-04433232

**HAL Id: hal-04433232**

**<https://hal.science/hal-04433232v1>**

Submitted on 1 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## **Instrumental techniques to assess strength and muscle balance**

Abstract : The strength balance between the agonist and antagonist muscles is a key parameter for motor skills and joint stability during movement. The dynamic joint stabilization is a fundamental concept in the areas of performance, prevention, and rehabilitation. Several techniques make it possible to quantify muscle strength according to the modality of muscle contraction. We distinguish isometric, inertial, and isokinetic assessments. Among these techniques, isokinetic assessment seem to be the most relevant to quantify the agonist-antagonist muscle balance while considering the mechanical properties of the muscle. Nevertheless, the isokinetic technique has certain limits, particularly related to the exclusive use of the peak torque.

Key words : strength, assessment, isometric, inertial, isokinetic.

## 1     **I.     Introduction**

2           Le fonctionnement du système neuro-musculaire s'organise par une harmonieuse  
3     gestion des forces physiques à travers l'action des muscles intervenants dans le contrôle  
4     de la posture et la production du mouvement (Schlumberger et al., 2006). La  
5     mobilisation spécifique des segments du corps dépend de la force des groupes  
6     musculaires principalement impliqués dans la génération du mouvement, mais aussi  
7     dans la stabilisation dynamique articulaire (Schlumberger et al., 2006). En effet, les  
8     muscles remplissent une double tâche ; outre la production de mouvements, les muscles  
9     contribuent aussi de manière importante à la stabilisation sur toute l'amplitude du  
10    mouvement articulaire (Blackburn, Guskiewicz, Petschauer, & Prentice, 2000; Carpes,  
11    Reinehr, & Mota, 2008; Labriola, Jolly, McMahon, & Debski, 2004; Labriola, Lee,  
12    Debski, & McMahon, 2005). Par leur contraction volontaire, les muscles constituent les  
13    éléments de stabilisation actifs ou dynamiques d'une articulation (Lugo, Kung, & Ma,  
14    2008). La force développée par la musculature striée squelettique est alors un paramètre  
15    central de la fonction musculaire. Son évaluation permet d'apprécier le rapport de force  
16    entre les groupes musculaires agonistes et antagonistes, aussi appelé « balance  
17    musculaire ». La quantification de cette balance est d'autant plus étudiée qu'elle  
18    participe au maintien de la stabilité articulaire au cours du mouvement. Cette notion de  
19    stabilité articulaire est fondamentale dans le cadre de la performance sportive, de la  
20    prévention des blessures et de la rééducation fonctionnelle (Brown & Weir, 2001;  
21    Croisier & Crielaard, 1999a; Jaric, 2002). Plusieurs techniques permettent de quantifier  
22    la force musculaire en fonction de la modalité de contraction du muscle. On distingue  
23    les évaluations isométriques, inertielles, et isocinétiques (Brown & Weir, 2001;  
24    Jidovtseff, Croisier, Demoulin, & Crielaard, 2008). Ces trois techniques sont  
25    couramment utilisées par les professionnels car elles permettent des mesures objectives,

1 valides et fiables de la force musculaire (Jaric, 2002). Cependant, chacune de ces  
2 techniques d'exploration présente des avantages, mais aussi des limites. Dans cette  
3 revue, nous allons aborder successivement les différentes formes d'évaluation de la  
4 force musculaire, puis plus spécifiquement les méthodes de calcul utilisée avec la  
5 technique isocinétique pour explorer la balance musculaire agoniste/antagoniste.

## 7 **II. Méthodes d'exploration de la force musculaire**

### 9 1. Evaluation isométrique

10 La contraction isométrique est caractérisée par une longueur musculaire relativement  
11 constante, sans production de mouvement (Tableau 1) (Brown & Weir, 2001). Elle est  
12 aussi appelée évaluation musculaire statique. Cette méthode est particulièrement  
13 accessible, rapide et facile à mettre en place (Brown & Weir, 2001).

14 Pour évaluer la force isométrique maximale plusieurs dispositifs de mesure utilisant la  
15 dynamométrie sont utilisables. Nous distinguons les dynamomètres mécaniques (à  
16 ressort ou hydraulique), les dynamomètres électroniques ou numériques (capteur de  
17 force à jauge de contrainte), ou encore les dynamomètres isocinétiques (réglés en  
18 condition de vitesse angulaire nulle) (Brown & Weir, 2001; Bruyère et al., 2016;  
19 Mijnaerends et al., 2013). Tous ces dispositifs permettent une mesure objective de la  
20 force maximale isométrique, qui est un paramètre particulièrement intéressant à  
21 quantifier lorsque le travail dynamique est contre-indiqué (Escolar et al., 2001).  
22 Toutefois, les mesures réalisées à partir de ces dispositifs présentent certaines limites.  
23 Tout d'abord, il existe une réelle difficulté à maintenir le placement et le  
24 positionnement du dynamomètre durant la prise de mesure. Ensuite, les valeurs de force

1 isométrique sont spécifiques à une position angulaire précise et sont faiblement  
2 corrélées avec les valeurs enregistrées à d'autres positions angulaires (Brown & Weir,  
3 2001). Enfin, comme la majorité des activités physiques sont dynamiques, la question  
4 de la cohérence de mesure de la force en statique et de la transposition aux mouvements  
5 dynamiques reste posée (Brown & Weir, 2001).

6

## 7 2. Evaluation dynamique contre résistance externe ou inertielle

8 Les contractions musculaires nécessaires pour déplacer un objet externe d'une masse  
9 fixe contre la gravité terrestre sont classiquement dénommées « isotoniques » (Brown &  
10 Weir, 2001; Jidovtseff et al., 2008). Ce terme est inadéquat puisque la force nécessaire  
11 pour déplacer une charge extérieure de masse fixe est variable au cours du mouvement  
12 (Tableau 1). Le terme « iso-inertiel », très utilisé, est également inapproprié dans la  
13 mesure où l'inertie n'est pas maintenue constante au cours du mouvement (Jidovtseff et  
14 al., 2008). Pour éviter l'imprécision des termes usuels, certains auteurs ont défini cette  
15 modalité musculaire par l'évaluation dynamique contre résistance externe constante ou  
16 d'évaluation inertielle (Jidovtseff et al., 2008).

17 Les tests inertiels sont typiquement effectués sur des machines à charge fixe ajustable  
18 guidée ou lors de mouvements libres et codifiés. La charge maximale qui peut être  
19 soulevée sur une seule répétition est appelée la répétition maximale unique ou 1RM  
20 (Bruyère et al., 2016; Mijnders et al., 2013). Il s'agit de la mesure la plus commune  
21 dans le cadre des évaluations inertielles. La 1RM se mesure directement à partir d'un  
22 protocole progressif de montée de la charge jusqu'à la charge correspondant à la 1RM,  
23 ou indirectement à partir d'un protocole progressif à charge sous-maximale. Dans le  
24 cadre clinique, il s'agit le plus souvent d'une détermination par la méthode indirecte, la

1 1RM étant ensuite estimée à partir du nombre de répétitions effectuées à charge sous  
2 maximale à l'aide d'un tableau de correspondance ou d'une formule prédictive de la  
3 1RM. En clinique, la méthode indirecte est pratique puisqu'elle permet d'initier un  
4 travail rapidement en limitant les contraintes, par exemple pour une articulation en  
5 cours de cicatrisation. Les variations entre la 1RM mesurée et la 1RM estimée sont de  
6 l'ordre de 0 à 4% (McMaster, Gill, Cronin, & McGuigan, 2014). D'autres mesures telles  
7 que les 3RM, 5RM, 10RM, ou le nombre maximum de répétitions peuvent être réalisées  
8 en fonction des caractéristiques des populations testées (Brown & Weir, 2001).

9 L'évaluation inertielle possède l'avantage incontestable de respecter un modèle de  
10 contraction musculaire naturel, impliquant l'accélération positive et négative d'une  
11 masse constante sous l'influence de la gravité terrestre (Jidovtseff et al., 2008). De plus,  
12 la littérature s'accorde à dire que ce type d'évaluation est relativement fiable (Brown &  
13 Weir, 2001; Jidovtseff et al., 2008). La principale critique du test inertiel est que la  
14 valeur de la 1RM correspond à la capacité maximale d'une seule position angulaire : la  
15 plus faible sur toute l'amplitude du mouvement (Brown & Weir, 2001; Jidovtseff et al.,  
16 2008). Par conséquent, les muscles recrutés sont en contraction concentrique sous-  
17 maximale sur les autres positions angulaires du mouvement. La 1RM ne fournit donc  
18 pas d'information sur le taux de développement de la force sur toute l'amplitude de  
19 mouvement. De plus, les tests 1RM typiques fournissent une mesure de la force en  
20 régime de contraction concentrique mais aucune information sur la modalité  
21 excentrique. Les évaluations sont le plus souvent effectuées à partir de mouvements  
22 globaux en chaîne cinétique ouverte et fermée mais ne permettent pas une étude  
23 musculaire analytique agoniste-antagoniste.

### 3. Evaluation dynamique isocinétique

Le concept isocinétique a été proposé en 1967 (Hislop & Perrine, 1967). Il est né de la recherche d'un mode d'évaluation et de réentraînement musculaire adapté pour lutter contre les effets de l'apesanteur, notamment l'amyotrophie musculaire observée chez les astronautes. La contraction musculaire isocinétique est une contraction anisométrique pendant laquelle la vitesse est maintenue constante au cours du mouvement par un moteur auto-asservi (boucle rétrocontrôle) (Tableau 1) (Thistle, Hislop, Moffroid, & Lowman, 1967). Aujourd'hui, les dynamomètres isocinétiques permettent d'évaluer la force musculaire de manière fiable et précise en régime de contraction concentrique et excentrique. De plus, ces dispositifs peuvent également être utilisés pour l'évaluation musculaire inertielle ou isométrique. Le fonctionnement de ces appareils repose sur deux principes biomécaniques : l'imposition de la vitesse angulaire et l'auto-asservissement de la résistance mécanique (Hislop & Perrine, 1967; Thistle et al., 1967). La résistance est donc ajustée en tout point du mouvement pour maintenir constante la vitesse angulaire préalablement choisie. Cet auto-asservissement permet alors au sujet de développer une tension musculaire maximale sur toute l'amplitude du mouvement, contrairement aux évaluations inertielles (Cozette, Leprêtre, Doyle, & Weissland, 2019; Hislop & Perrine, 1967; Thistle et al., 1967).

L'évaluation isocinétique correspond à une évaluation articulaire isolée (mouvement mono-articulaire), le plus souvent à partir d'un mouvement en rotation autour d'un axe (Cozette et al., 2019; Croisier & Crielaard, 1999a). Dans le cadre de ce mouvement rotatoire, la force musculaire est approchée à partir de l'évaluation du moment de force (Cozette et al., 2019; Croisier & Crielaard, 1999a). Ce moment de force ( $\vec{M}_F$ ) correspond au produit entre la force développée et la longueur entre le point d'application de la force et l'axe de rotation, aussi appelé bras de levier. Les

1 mouvements articulaires et la stabilisation des articulations étant dues au travail de  
2 plusieurs groupes musculaires, c'est la résultante de plusieurs  $\vec{M}_F$  et non un seul  $\vec{M}_F$  qui  
3 est mesurée dans le cadre d'une évaluation isocinétique. De plus, lors de la contraction  
4 musculaire, des tissus conjonctifs vont être étirés, notamment les tendons qui vont  
5 produire des  $\vec{M}_F$  négatifs, sans oublier les  $\vec{M}_F$  provenant des ligaments et des pièces  
6 osseuses. D'un point de vue mécanique, l'évaluation isocinétique renseigne donc sur la  
7 valeur d'un couple de force. Résultante des  $\vec{M}_F$ , le couple de force est exprimé  
8 également en Newton-mètre (N.m). Les valeurs maximales du couple de force sont,  
9 dans la littérature, les indices les plus utilisés pour quantifier la fonction musculaire  
10 (Brown & Weir, 2001). Appelé « peak torque » (PT) dans la littérature anglo-saxonne,  
11 la notion de couple maximal de force est généralement traduit par moment de force  
12 maximal ( $\vec{M}_{FM}$ ) par les francophones (Croisier & Crielaard, 1999a). La valeur de  $\vec{M}_{FM}$   
13 correspond alors au couple maximal enregistré au cours du mouvement isocinétique. Il  
14 est établi que  $\vec{M}_{FM}$  est un paramètre très reproductible (Brown & Weir, 2001; Drouin,  
15 Valovich-McLeod, Shultz, Gansneder, & Perrin, 2004; Maffiuletti, Bizzini, Desbrosses,  
16 Babault, & Munzinger, 2007; Webber & Porter, 2010). Il est le plus souvent associé à  
17 l'angle auquel cette valeur maximale est atteinte ; angulation définie comme l'angle  
18 d'efficacité maximale (Bernard et al., 2012). A partir des  $\vec{M}_{FM}$  obtenus pour les muscles  
19 agonistes et antagonistes, il est possible de générer différents rapports (entre les muscles  
20 agonistes et antagonistes, en fonction des différents régimes de contraction musculaire).  
21 Appelés ratios, les rapports permettent d'étudier la balance musculaire de l'articulation  
22 testée (Brown & Weir, 2001; Croisier & Crielaard, 1999a; Jaric, 2002).

23

24

	Isométrie	Inertielle	Isocinétique
Vitesse de mouvement	Nulle	Variable	Constante
Charge appliquée	Constante	Constante	Variable
Tension musculaire	Constante	Variable	Maximale

**Tableau 1.** Comparaison des différentes modalités de contraction musculaire.

### III. Exploration de la balance musculaire par dynamométrie isocinétique

#### 1. Les ratios comme indicateurs de la balance musculaire

Deux ratios sont utilisés pour évaluer l'équilibre musculaire : le ratio conventionnel et le ratio fonctionnel.

Le ratio conventionnel encore appelé ratio physiologique sert à comparer le potentiel des muscles agonistes à celui des muscles antagonistes dans un même mode de contraction, le plus souvent en régime de contraction concentrique (CON). Il est calculé comme le rapport suivant :

$$\frac{\vec{M}_{FM} \text{ antagoniste CON}}{\vec{M}_{FM} \text{ agoniste CON}}$$

Il a été développé sur l'ensemble des articulations testées par dynamométrie isocinétique : le rachis cervical (Olivier & Du Toit, 2008, 2015), l'épaule (Dauty, Kitar, Dubois, & Potiron-Josse, 2005; Gozlan et al., 2006), le coude (Ellenbecker & Roetert, 2003; Song et al., 2016), le poignet (Ellenbecker, Roetert, & Riewald, 2006; Song et al., 2016), le rachis lombaire (Bernard et al., 2014; Song et al., 2016), la hanche (Diamond et al., 2016; Sugimoto, Mattacola, Mullineaux, Palmer, & Hewett, 2014), le genou (Andrade et al., 2012; Busnel, Rochcongar, Andre, Beillot, & Jan, 2006), et la cheville (Edouard, Chatard, et al., 2011; Gerodimos, Manou, Stavropoulos, Kellis, & Kellis, 2006).

1 Le ratio fonctionnel a été principalement développé pour étudier l'équilibre musculaire  
 2 des rotateurs de l'épaule (Noffal, 2003), des fléchisseurs/extenseurs du genou (De  
 3 Araujo Ribeiro Alvares et al., 2015) et des éverseurs/inverseurs de la cheville (Yildiz et  
 4 al., 2003). A la différence du ratio conventionnel, le ratio fonctionnel prend en compte  
 5 l'action réciproque des muscles agonistes-antagonistes. Il s'agit de comparer le potentiel  
 6 du groupe musculaire agoniste en concentrique (CON) par rapport au potentiel de son  
 7 antagoniste en excentrique (EXC) :

$$8 \quad \frac{\vec{M}_{FM} \text{ antagoniste EXC}}{\vec{M}_{FM} \text{ agoniste CON}}$$

9 Ce ratio est particulièrement intéressant à explorer chez le sujet sportif dans le cadre de  
 10 la recherche de performance et de la prévention des blessures (Dauty & Potiron Josse,  
 11 2004; Pascal Edouard, Gremeaux, Degache, Gasq, & Calmels, 2014). Par exemple, dans  
 12 les mouvements de type armer/lancer, les ratios fonctionnels permettent d'apprécier la  
 13 force des muscles rotateurs internes dans leur rôle freinateur (modalité excentrique)  
 14 pendant la phase d'armer, et celui des rotateurs externes dans leur rôle moteur (modalité  
 15 concentrique) pendant la phase de lancer (Andrade, Fleury, De Lira, Dubas, & Da Silva,  
 16 2010; Edouard, Degache, et al., 2013; Saccol et al., 2010). D'autres auteurs ont  
 17 développé des ratios fonctionnels mixtes, l'idée étant de comparer le potentiel des  
 18 agonistes en régime de contraction concentrique à vitesse rapide, par rapport aux  
 19 antagonistes en régime de contraction excentrique à vitesse lente (Croisier, Forthomme,  
 20 Namurois, Vanderthommen, & Crielaard, 2002; Edouard, Codine et al., 2013;  
 21 Forthomme, Wieczorek, Frisch, Crielaard, & Croisier, 2013). L'évaluation de ce ratio  
 22 est souvent utilisée dans la littérature comme un indicateur du risque de blessure  
 23 (Croisier et al., 2002). Par exemple pour l'articulation du genou, le ratio mixte  
 24 fléchisseurs EXC ( $30^{\circ} \cdot s^{-1}$ ) / extenseurs CON ( $240^{\circ} \cdot s^{-1}$ ) peut être un indicateur de

1 déséquilibre musculaire et une donnée prédictive du risque lésionnel de blessure (lésion  
2 des ischio-jambiers) (Croisier et al., 2002).

3

#### 4 2. Valeurs normatives des ratios et facteurs de variation

5 Pour chaque articulation, nous trouvons des valeurs de référence dans la littérature  
6 (Tableau 2). Ces valeurs dites « standards » ou « de référence » ou encore  
7 « normatives » sont très utilisées en clinique, notamment dans le champ de la  
8 rééducation fonctionnelle. Elles sont déterminées soit à partir d'une population saine  
9 (sans aucun antécédent lésionnel, et sans pratique physique intense régulière) (Edouard,  
10 Codine et al., 2013) ou soit à partir d'une population pratiquant un sport asymétrique  
11 (valeurs concernant le côté non-dominant) (Ellenbecker & Roetert, 2003; Ellenbecker et  
12 al., 2006) ; lorsque la population étudiée présente une pathologie unilatérale, les valeurs  
13 standards peuvent être enfin établies à partir des données concernant le côté  
14 controlatéral sain (Croisier et al., 2002).

Sites	Groupes musculaires	Ratios	Références
Rachis cervical	Fléchisseurs (F) et Extenseurs (E)	$F/E = 0.5-0.7$	(Olivier & Du Toit, 2015)
	Inclinateurs latéraux (IL) et contro-latéraux (CL)	$IL/IC = 1.0-1.1$	(Olivier & Du Toit, 2015)
Epaule	Rotateurs internes (RI) et rotateurs externes (RE)	$RE/RI = 0.5-0.8$ $RE_{exc}/RI_{con} = 0.7-0.9$ $RI_{exc}/RE_{con} = 1.3-1.4$ $RE_{exc30}/RI_{con60} = 1.1-1.2$ $RI_{exc30}/RE_{con60} = 1.7-1.8$	(Edouard, Codine et al., 2013; Edouard, Degache et al., 2013; Forthomme, Dvir, Crielaard, & Croisier, 2011)
	Abducteurs (AB) et adducteurs (AD)	$AB/AD = 1.0-1.2$	(Song et al., 2016)
	Fléchisseurs (F) et	$F/E = 0.7-0.9$	(Shklar &

	Extenseurs (E)		Dvir, 1995)
Coude	Fléchisseurs (F) et Extenseurs (E)	$F/E = 0.8-1.1$	(Ellenbecker & Roertert, 2003; Song et al., 2016)
Poignet	Pronateurs (P) et supinateurs (S)	$S/P = 0.9-1.0$	(Ellenbecker et al., 2006; Song et al., 2016)
	Fléchisseurs (F) et Extenseurs (E)	$F/E = 0.9-1.3$	(Ellenbecker et al., 2006; Song et al., 2016)
Rachis lombaire	Fléchisseurs (F) et Extenseurs (E)	$F/E = 0.5-0.9$	(Bernard et al., 2014; Müller et al., 2014; Song et al., 2016)
	Rotateurs latéraux (RL) et contro-latéraux (RC)	$RL/RC = 0.9-1.1$	(Müller et al., 2014; Smith, Mayer, Gatchel, & Becker, 1985)
Hanche	Rotateurs internes (RI) et externes (RE)	$RE/RI = 0.8-0.9$	(Diamond et al., 2016)
	Abducteurs (AB) et adducteurs (AD)	$AB/AD = 0.5-0.7$	(Sugimoto et al., 2014)
	Fléchisseurs (F) et Extenseurs (E)	$F/E = 0.6-0.8$	(Calmels, Nellen, Borne, Jourdin, & Minaire, 1997)
Genou	Fléchisseurs (F) et Extenseurs (E)	$F/E = 0.5-0.7$ $F_{exc}/E_{con} = 0.7-0.8$	(Calmels et al., 1997; De Araujo Ribeiro Alvares et al., 2015)
Cheville	Inverseurs (I) et éverseurs (E)	$E/I = 0.6-0.9$ $E_{exc}/I_{con} = 1.6-1.8$	(Lin, Liu, Hsieh, & Lee, 2009; Yildiz et al., 2003)
	Fléchisseurs dorsaux (FD) et plantaires (FP)	$FD/FP = 0.1-0.4$ $FD_{con}/FP_{exc} = 0.1-0.2$	(Calmels et al., 1997; Gerodimos et al., 2006)

**Tableau 2.** Tableau de synthèse avec l'étendue des valeurs moyennes pour les différents ratios isocinétiques agoniste-antagoniste. Données tirées d'études portant sur des sujets contrôles (non caractérisés par une activité sportive ou par une pathologie), à des vitesses angulaires isocinétiques lentes (20 à 90°.s<sup>-1</sup>).

1  
2  
3  
4  
5

1 En fonction des caractéristiques de la population, les valeurs des ratios peuvent varier.  
2 Tout d'abord, en fonction du sexe des individus. Par l'exploration des muscles  
3 fléchisseurs (F) et extenseurs (E) du rachis cervical, Olivier et Du Toit (2015) ont mis  
4 en avant des valeurs de ratios F/E plus faibles chez les femmes ( $0,56 \pm 0,16$ ) que chez  
5 les hommes ( $0,63 \pm 0,14$ ) [28]. Forthomme et al. (2013) ont également trouvé des  
6 différences significatives entre les joueurs et les joueuses de volleyball dans la balance  
7 musculaire entre les muscles rotateurs internes (RI) et externes (RE) de l'épaule  
8 dominante (Forthomme et al., 2013). Globalement, les ratios conventionnels (RE/RI) et  
9 fonctionnels mixtes (RE EXC 30/RI CON 240) étaient plus élevés pour les femmes que  
10 chez les hommes. Andrade et al. (2012) ont également trouvé des différences  
11 significatives entre les hommes et les femmes concernant le ratio conventionnel F/E du  
12 genou (Andrade et al., 2012). De la même façon, l'âge peut aussi avoir un impact sur les  
13 ratios, notamment sur les ratios associés aux groupes musculaires fléchisseurs et  
14 extenseurs du genou (Gür, Akova, Pündük, & Küçükoğlu, 1999). L'état de santé est  
15 également un paramètre important pouvant influencer la valeur des ratios. Bernard et al.  
16 (2014) ont mis en exergue des différences significatives pour le ratio conventionnel F/E  
17 du tronc entre des sujets lombalgiques ( $0,72 \pm 0,13$ ) et des sujets sains ( $0,88 \pm 0,26$ )  
18 (Bernard et al., 2014). Croisier et al. (2002) ont exploré les ratios fonctionnels mixtes du  
19 genou (F EXC 30/E CON 240) chez des sportifs avec antécédent lésionnel unilatéral des  
20 ischio-jambiers (Croisier et al., 2002). Le ratio était significativement plus faible côté  
21 lésé ( $0,73 \pm 0,24$ ) par rapport au côté sain ( $0,90 \pm 0,16$ ). Les travaux de Dauty et al.  
22 (2003) vont également dans ce sens pour les ratios fonctionnels à  $60^\circ \cdot s^{-1}$  (F EXC 60/E  
23 CON 60) (Dauty, Potiron-Josse, & Rochcongar, 2003). En effet, les footballeurs avec  
24 antécédent lésionnel des ischio-jambiers avaient un ratio significativement plus faible  
25 ( $0,65 \pm 0,21$ ) par rapport aux footballeurs sans antécédent ( $0,80 \pm 0,15$ ). Enfin, la nature

1 de la discipline sportive et les entraînements spécifiques de certaines chaînes  
2 musculaires peuvent contribuer à modifier la balance musculaire agoniste/antagoniste.  
3 Magalhaes et al. (2004) et Zouita et al. (2007) ont rapporté des différences significatives  
4 pour le ratio F/E du genou entre une population de volleyeurs et une population de  
5 footballeurs (Magalhães, Oliveira, Ascensão, & Soares, 2004; Zouita, Dziri, Ben Salah,  
6 & Layouni, 2007). Certains sports asymétriques ont également un impact sur la balance  
7 musculaire du côté dominant, c'est le cas du tennis (Saccol & Silva, 2007), du handball  
8 (Edouard, Degache et al., 2013), du basketball (Weissland, Cozette, Doyle, & Gabrion,  
9 2018), ou encore du volleyball (Forthomme et al., 2013) pour les différents ratios des  
10 muscles rotateurs de l'épaule.

11 D'autres facteurs liés plus particulièrement à l'évaluation isocinétique en elle-même  
12 peuvent également être responsables de la variation des données. En premier lieu, la  
13 position du sujet a une importance majeure. Les paramètres de force qui vont être  
14 développés sont directement dépendants de la position du sujet. Ceci s'explique en  
15 partie par la modification de la courbe tension-longueur (ou moment-angle) des chefs  
16 musculaires bi-articulaires. Par exemple, dans le cas de l'articulation de l'épaule, le  
17 sujet peut être placé en position assise, debout, en décubitus ventral ou dorsal ; l'épaule  
18 étant placée en abduction (jusqu'à 90°) et le coude en flexion (de 45° à 90°).  
19 Forthomme et al. (2011) ont montré des différences significatives pour les ratios  
20 conventionnels RE/RI de l'épaule entre la position assise l'épaule dans le plan  
21 scapulaire ( $0,52 \pm 0,12$ ), la position décubitus dorsal l'épaule à 90° d'abduction ( $0,72 \pm$   
22  $0,05$ ), et la position décubitus dorsal l'épaule à 45° d'abduction ( $0,68 \pm 0,04$ )  
23 (Forthomme et al., 2011). Le choix de la vitesse angulaire est également un paramètre  
24 important. Gerodimos et al. (2006) ont trouvé des différences significatives pour les  
25 ratios conventionnels et fonctionnels entre les fléchisseurs dorsaux et les fléchisseurs

1 plantaires de la cheville calculés à  $30^{\circ}.s^{-1}$  et à  $90^{\circ}.s^{-1}$  (Gerodimos et al., 2006). Enfin,  
2 d'autres paramètres peuvent aussi influencer la valeur des ratios, notamment la présence  
3 ou non d'une correction de gravité (Edouard, Calmels, & Degache, 2009; Vanhée,  
4 Voisin, Vezirian, & Vanvelcenaher, 1996), ou encore le modèle et la génération du  
5 dynamomètre utilisé (Voisin et al., 2017).

### 6 7 3. Limites actuelles de l'utilisation des ratios

8 L'utilisation des ratios isocinétiques à partir des  $\vec{M}_{FM}$  permet d'apprécier la balance  
9 musculaire entre les deux pics de force (muscles agonistes par rapport aux muscles  
10 antagonistes). Comme nous avons pu le voir, les ratios conventionnels et fonctionnels  
11 sont des paramètres discriminants et l'utilisation des valeurs de référence est très  
12 répandue, notamment dans le domaine clinique. Cependant, la méthode de calcul des  
13 ratios dite « au pic » présente quelques limites. En effet, l'ajustement automatique de la  
14 résistance permet de développer une force musculaire maximale sur toute l'amplitude  
15 du mouvement, cependant, les ratios ne prennent en compte que la plus haute valeur de  
16 couple mesurée pour chaque groupe musculaire ( $\vec{M}_{FM}$  des agonistes et  $\vec{M}_{FM}$  des  
17 antagonistes) sur toute l'amplitude de mouvement (Cozette et al., 2019). Il n'y a donc  
18 pas d'évaluation de la relation moment-angle qui est une des propriétés mécaniques du  
19 muscle *in situ* ; propriété qui induit une variation dans la production de force en  
20 fonction de l'angle articulaire (Stefanska M, 2006). De plus, les  $\vec{M}_{FM}$  des agonistes et  
21 des antagonistes ne sont pas produit à la même position angulaire (Croisier & Crielaard,  
22 1999b; Sonza & De Andrade, 2012). La balance musculaire est donc calculée à partir de  
23 deux positions angulaires différentes, générant ainsi une certaine distance par rapport à  
24 la réalité fonctionnelle. Enfin, ces ratios associés aux  $\vec{M}_{FM}$  sont des paramètres dont la  
25 fiabilité est encore discutée dans la littérature (Edouard, Samozino, et al., 2011).

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24

#### **IV. Directions futures**

La force musculaire est prépondérante dans la motricité et dans la stabilisation dynamique d'une articulation sur toute l'amplitude du mouvement (Blackburn et al., 2000; Carpes et al., 2008; Labriola et al., 2004, 2005). Pour étudier ces aspects, la technique isocinétique semble être une des plus pertinentes, notamment pour évaluer l'équilibre de force entre les muscles agonistes et antagonistes tout en considérant les propriétés mécaniques du muscle *in situ*. Malgré tout, elle présente certaines limites, notamment liées à l'utilisation exclusive du  $\vec{M}_{FM}$ . Il paraît alors nécessaire de développer une approche complémentaire basée sur un calcul de la balance musculaire par secteur angulaire. L'élaboration et le développement de ce type de méthode pourraient permettre de modéliser la balance musculaire sur toute l'amplitude du mouvement, afin de mieux appréhender les mécanismes impliqués dans la performance motrice et dans la stabilisation dynamique.

#### **V. Conclusion**

Dans l'exploration de la fonction musculaire, l'évaluation de la force tient une place fondamentale. Différentes techniques instrumentales sont utilisées pour mesurer la contraction musculaire isométrique, inertielle, et isocinétique. Cette dernière présente l'avantage incontestable de quantifier de manière fiable la force musculaire en régime de contraction concentrique et excentrique, et en adaptant automatiquement la résistance sur toute l'amplitude du mouvement. De plus, elle offre la possibilité de calculer les ratios conventionnels et fonctionnels pour apprécier la balance musculaire

1 agoniste/antagoniste à partir des  $\vec{M}_{FM}$ . Une attention particulière est pour autant à  
2 prendre concernant la mise en relation de deux pics de force ( $\vec{M}_{FM}$  agonistes et  
3  $\vec{M}_{FM}$  antagonistes) non forcément atteints sur la même plage angulaire.

4  
5 **Les auteurs déclarent l'absence de conflit d'intérêt.**

6  
7 **VI. Références**

- 8 Andrade, M. D. S., De Lira, C. A. B., De Carvalho Koffes, F., Mascarin, N. C., Benedito-  
9 Silva, A. A., & Da Silva, A. C. (2012). Isokinetic hamstrings-to-quadriceps peak torque  
10 ratio: The influence of sport modality, gender, and angular velocity. *Journal of Sports*  
11 *Sciences*, 30(6), 547–553. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.644249>
- 12 Andrade, M. D. S., Fleury, A. M., De Lira, C. A. B., Dubas, J. P., & Da Silva, A. C. (2010).  
13 Profile of isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of shoulder rotator muscles in  
14 elite female team handball players. *Journal of Sports Sciences*, 28(7), 743–749.  
15 <https://doi.org/10.1080/02640411003645687>
- 16 Bernard, J. C., Boudokhane, S., Pujol, A., Chaléat-Valayer, E., Le Blay, G., & Deceuninck, J.  
17 (2014). Isokinetic trunk muscle performance in pre-teens and teens with and without  
18 back pain. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 57(1), 38–54.  
19 <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.10.004>
- 20 Bernard, P. L., Amato, M., Degache, F., Edouard, P., Ramdani, S., Blain, H., ... Codine, P.  
21 (2012). Reproducibility of the time to peak torque and the joint angle at peak torque on  
22 knee of young sportsmen on the isokinetic dynamometer. *Annals of Physical and*  
23 *Rehabilitation Medicine*, 55(4), 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2012.01.005>

- 1 Blackburn, T., Guskiewicz, K. M., Petschauer, M. A., & Prentice, W. E. (2000). Balance and  
2 joint stability: The relative contributions of proprioception and muscular strength.  
3 *Journal of Sport Rehabilitation*, 9(4), 315–328. <https://doi.org/10.1123/jsr.9.4.315>
- 4 Brown, L. E., & Weir, J. P. (2001). ASEP procedures recommendation I: Accurate  
5 assessment of muscular strength and power. *Journal of Exercise Physiology Online*, 4(3),  
6 1–21.
- 7 Bruyère, O., Beudart, C., Reginster, J. Y., Buckinx, F., Schoene, D., Hirani, V., ...  
8 Freiburger, E. (2016). Assessment of muscle mass, muscle strength and physical  
9 performance in clinical practice: An international survey. *European Geriatric Medicine*,  
10 7(3), 243–246. <https://doi.org/10.1016/j.eurger.2015.12.009>
- 11 Busnel, F., Rochcongar, P., Andre, A. M., Beillot, J., & Jan, J. (2006). Exploration  
12 isocinétique du genou du judoka et risque de rupture du LCA. À propos d'une enquête  
13 prospective auprès des athlètes du pôle France de Rennes. *Science and Sports*, 21(3),  
14 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2006.05.003>
- 15 Calmels, P. M., Nellen, M., Borne, I. Van Der, Jourdin, P., & Minaire, P. (1997). Concentric  
16 and eccentric isokinetic assessment of flexor-extensor torque ratios at the hip, knee, and  
17 ankle in a sample population of healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil*, 78, 1224–  
18 1230.
- 19 Carpes, F. P., Reinehr, F. B., & Mota, C. B. (2008). Effects of a program for trunk strength  
20 and stability on pain, low back and pelvis kinematics, and body balance: A pilot study.  
21 *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 12(1), 22–30.  
22 <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2007.05.001>
- 23 Cozette, M., Leprêtre, P. M., Doyle, C., & Weissland, T. (2019). Isokinetic strength ratios:

- 1 Conventional methods, current limits and perspectives. *Frontiers in Physiology*, 10, 1–4.  
2 <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00567>
- 3 Croisier, J.L., & Crielaard, J. M. (1999a). Méthodes d’exploration de la force musculaire: Une  
4 analyse critique. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 42(6), 311–322.  
5 [https://doi.org/10.1016/s0168-6054\(99\)80069-5](https://doi.org/10.1016/s0168-6054(99)80069-5)
- 6 Croisier, J. L., & Crielaard, J. M. (1999b). Exploration isocinétique: Analyse des courbes.  
7 *Annales de Readaptation et de Medecine Physique*, 42(8), 497–502.  
8 [https://doi.org/10.1016/S0168-6054\(00\)87704-1](https://doi.org/10.1016/S0168-6054(00)87704-1)
- 9 Croisier, J. L., Forthomme, B., Namurois, M. H., Vanderthommen, M., & Crielaard, J. M.  
10 (2002). Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders.  
11 *American Journal of Sports Medicine*, 30(2), 199–203.  
12 <https://doi.org/10.1177/03635465020300020901>
- 13 Dauty, M., Kitar, E., Dubois, C., & Potiron-Josse, M. (2005). Relation entre le lancer de balle  
14 et la force isocinétique des rotateurs d’épaule chez le handballeur de haut niveau. *Science*  
15 *and Sports*, 20(5–6), 300–303. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2005.06.001>
- 16 Dauty, M., Potiron-Josse, M., & Rochcongar, P. (2003). Conséquences et prédiction des  
17 lésions musculaires des ischiojambiers à partir des paramètres isocinétiques  
18 concentriques et excentriques du joueur de football professionnel. *Annales de*  
19 *Readaptation et de Medecine Physique*, 46(9), 601–606.  
20 <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2003.04.001>
- 21 Dauty, M., & Potiron Josse, M. (2004). Corrélations et différences de performance entre des  
22 footballeurs, professionnels, en formation et amateurs à partir du test de sprint (10 mètres  
23 départ arrêté) et de tests isocinétiques du genou. *Science and Sports*, 19(2), 75–79.

- 1        <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2003.09.014>
- 2    De Araujo Ribeiro Alvares, J. B., Rodrigues, R., de Azevedo Franke, R., da Silva, B. G. C.,  
3        Pinto, R. S., Vaz, M. A., & Baroni, B. M. (2015). Inter-machine reliability of the Biodex  
4        and Cybex isokinetic dynamometers for knee flexor/extensor isometric, concentric and  
5        eccentric tests. *Physical Therapy in Sport*, 16(1), 59–65.  
6        <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2014.04.004>
- 7    Diamond, L. E., Wrigley, T. V., Hinman, R. S., Hodges, P. W., O'Donnell, J., Takla, A., &  
8        Bennell, K. L. (2016). Isometric and isokinetic hip strength and agonist/antagonist ratios  
9        in symptomatic femoroacetabular impingement. *Journal of Science and Medicine in*  
10       *Sport*, 19(9), 696–701. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.10.002>
- 11   Drouin, J. M., Valovich-McLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H.  
12        (2004). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer  
13        velocity, torque and position measurements. *European Journal of Applied Physiology*,  
14        91(1), 22–29. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0933-0>
- 15   Edouard, P., Degache, F., Oullion, R., Plessis, J. Y., Gleizes-Cervera, S., & Calmels, P.  
16        (2013). Shoulder strength imbalances as injury risk in handball. *International Journal of*  
17        *Sports Medicine*, 34(7), 654–660. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1312587>
- 18   Edouard, P., Calmels, P., & Degache, F. (2009). The effect of gravitational correction on  
19        shoulder internal and external rotation strength. *Isokinetics and Exercise Science*, 17(1),  
20        35–39. <https://doi.org/10.3233/IES-2009-0329>
- 21   Edouard, P., Chatard, J. C., Fourchet, F., Collado, H., Degache, F., Leclair, A., ... Calmels, P.  
22        (2011). Invertor and evertor strength in track and field athletes with functional ankle  
23        instability. *Isokinetics and Exercise Science*, 19(2), 91–96. <https://doi.org/10.3233/IES->

- 1           2011-0402
- 2   Edouard, P., Codine, P., Samozino, P., Bernard, P. L., Hérisson, C., & Gremeaux, V. (2013).  
3           Reliability of shoulder rotators isokinetic strength imbalance measured using the Biodex  
4           dynamometer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *16*(2), 162–165.  
5           <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.01.007>
- 6   Edouard, P., Gremeaux, V., Degache, F., Gasq, D., & Calmels, P. (2014). L'épaule du  
7           lanceur: quel équilibre musculaire pour une meilleure performance et la prévention des  
8           blessures ? *Movement and Sports Sciences - Science et Motricite*, *85*, 45–52.  
9           <https://doi.org/10.1051/sm/2013089>
- 10   Edouard, P., Samozino, P., Julia, M., Cervera, S. G., Vanbiervliet, W., Calmels, P., &  
11           Gremeaux, V. (2011). Reliability of isokinetic assessment of shoulder-rotator strength: A  
12           systematic review of the effect of position. *Journal of Sport Rehabilitation*, *20*(3), 367–  
13           383. <https://doi.org/10.1123/jsr.20.3.367>
- 14   Ellenbecker, T. S., & Roetert, E. P. (2003). Isokinetic profile of elbow flexion and extension  
15           strength in elite junior tennis players. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical*  
16           *Therapy*, *33*(2), 79–84. <https://doi.org/10.2519/jospt.2003.33.2.79>
- 17   Ellenbecker, T. S., Roetert, E. P., & Riewald, S. (2006). Isokinetic profile of wrist and  
18           forearm strength in elite female junior tennis players. *British Journal of Sports Medicine*,  
19           *40*(5), 411–414. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.023358>
- 20   Escolar, D. M., Henricson, E. K., Mayhew, J., Florence, J., Leshner, R., Patel, K. M., &  
21           Clemens, P. R. (2001). Clinical evaluator reliability for quantitative and manual muscle  
22           testing measures of strength in children. *Muscle and Nerve*, *24*(6), 787–793.  
23           <https://doi.org/10.1002/mus.1070>

- 1 Forthomme, B., Dvir, Z., Crielaard, J. M., & Croisier, J. L. (2011). Isokinetic assessment of  
2 the shoulder rotators: A study of optimal test position. *Clinical Physiology and*  
3 *Functional Imaging*, 31(3), 227–232. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2010.01005.x>
- 4 Forthomme, B., Wiczorek, V., Frisch, A., Crielaard, J. M., & Croisier, J. L. (2013). Shoulder  
5 pain among high-level volleyball players and preseason features. *Medicine and Science*  
6 *in Sports and Exercise*, 45(10), 1852–1860.  
7 <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318296128d>
- 8 Gerodimos, V., Manou, V., Stavropoulos, N., Kellis, E., & Kellis, S. (2006). Agonist and  
9 antagonist strength of ankle musculature in basketball players aged 12 to 17 years.  
10 *Isokinetics and Exercise Science*, 14(1), 81–89. <https://doi.org/10.3233/ies-2006-0224>
- 11 Gozlan, G., Bensoussan, L., Coudreuse, J. M., Fondarai, J., Gremeaux, V., Viton, J. M., &  
12 Delarque, A. (2006). Mesure de la force des muscles rotateurs de l'épaule chez des  
13 sportifs sains de haut niveau (natation, volley-ball, tennis) par dynamomètre  
14 isocinétique: Comparaison entre épaule dominante et non dominante. *Annales de*  
15 *Readaptation et de Medecine Physique*, 49(1), 8–15.  
16 <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2005.07.001>
- 17 Gür, H., Akova, B., Pündük, Z., & Küçükoğlu, S. (1999). Effects of age on the reciprocal  
18 peak torque ratios during knee muscle contractions in elite soccer players. *Scandinavian*  
19 *Journal of Medicine and Science in Sports*, 9(2), 81–87. [https://doi.org/10.1111/j.1600-](https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1999.tb00213.x)  
20 [0838.1999.tb00213.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1999.tb00213.x)
- 21 Hislop, H. J., & Perrine, J. (1967). The Isokinetic Concept of Exercise. *Physical Therapy*,  
22 47(2), 114–117. <https://doi.org/10.1093/ptj/47.2.114>
- 23 Jaric, S. (2002). Muscle strength testing: Use of normalisation for body size. *Sports Medicine*,

- 1 32(10), 615–631. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232100-00002>
- 2 Jidovtseff, B., Croisier, J. L., Demoulin, C., & Crielaard, J. M. (2008). Évaluation Inertielle :  
3 État De La Question Et Perspectives. *Science and Sports*, 23(3–4), 107–117.  
4 <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2007.12.011>
- 5 Labriola, J. E., Jolly, J. T., McMahon, P. J., & Debski, R. E. (2004). Active stability of the  
6 glenohumeral joint decreases in the apprehension position. *Clinical Biomechanics*, 19(8),  
7 801–809. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2004.05.008>
- 8 Labriola, J. E., Lee, T. Q., Debski, R. E., & McMahon, P. J. (2005). Stability and instability  
9 of the glenohumeral joint: The role of shoulder muscles. *Journal of Shoulder and Elbow*  
10 *Surgery*, 14, S32–S38. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2004.09.014>
- 11 Lin, W. H., Liu, Y. F., Hsieh, C. C. C., & Lee, A. J. Y. (2009). Ankle eversion to inversion  
12 strength ratio and static balance control in the dominant and non-dominant limbs of  
13 young adults. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 42–49.  
14 <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.10.001>
- 15 Lugo, R., Kung, P., & Ma, C. B. (2008). Shoulder biomechanics. *European Journal of*  
16 *Radiology*, 68(1), 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.02.051>
- 17 Maffiuletti, N. A., Bizzini, M., Desbrosses, K., Babault, N., & Munzinger, U. (2007).  
18 Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic  
19 dynamometer. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 27(6), 346–353.  
20 <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2007.00758.x>
- 21 Magalhães, J., Oliveira, J., Ascensão, A., & Soares, J. (2004). Concentric quadriceps and  
22 hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *Journal of Sports*  
23 *Medicine and Physical Fitness*, 44(2), 119–125.

- 1 McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., & McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and  
2 ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Medicine*, *44*(5), 603–623.  
3 <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0145-2>
- 4 Mijnders, D. M., Meijers, J. M. M., Halfens, R. J. G., Ter Borg, S., Luiking, Y. C., Verlaan,  
5 S., ... Schols, J. M. G. A. (2013). Validity and Reliability of Tools to Measure Muscle  
6 Mass, Strength, and Physical Performance in Community-Dwelling Older People: A  
7 Systematic Review. *Journal of the American Medical Directors Association*, *14*(3), 170–  
8 178. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2012.10.009>
- 9 Müller, J., Müller, S., Stoll, J., Fröhlich, K., Baur, H., & Mayer, F. (2014). Reproducibility of  
10 maximum isokinetic trunk strength testing in healthy adolescent athletes. *Sports*  
11 *Orthopaedics and Traumatology*, *30*(3), 229–237.  
12 <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2014.02.007>
- 13 Noffal, G. J. (2003). Isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of the shoulder rotator  
14 muscles in throwers and nonthrowers. *American Journal of Sports Medicine*, *31*(4), 537–  
15 541. <https://doi.org/10.1177/03635465030310041001>
- 16 Olivier, P. E., & Du Toit, D. E. (2008). Isokinetic neck strength profile of senior elite rugby  
17 union players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *11*(2), 96–105.  
18 <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.01.009>
- 19 Olivier, P. E., & Du Toit, D. E. (2015). Isokinetic neck muscle strength-ratios in sagittal and  
20 frontal planes: Men and women are different, but age differences are a myth. *South*  
21 *African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, *37*(3), 143–  
22 152. Retrieved from <https://journals.co.za/doi/abs/10.10520/EJC181042>
- 23 Saccol, M. F., Gracitelli, G. C., da Silva, R. T., Laurino, C. F. de S., Fleury, A. M., Andrade,

- 1 M. dos S., & da Silva, A. C. (2010). Shoulder functional ratio in elite junior tennis  
2 players. *Physical Therapy in Sport, 11*(1), 8–11.  
3 <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2009.11.002>
- 4 Saccol, M.F., & Silva, R. (2007). Concentric and eccentric isokinetic strength profile of  
5 shoulder rotators in elite junior tennis players. *Symposium , Ouro Preto–Brazil, 9*(15),  
6 608–611.
- 7 Schlumberger, A., Laube, W., Bruhn, S., Herbeck, B., Dahlinger, M., Fenkart, G., ... Mayer,  
8 F. (2006). Muscle imbalances - Fact or fiction? *Isokinetics and Exercise Science, 14*(1),  
9 3–11. <https://doi.org/10.3233/ies-2006-0229>
- 10 Shklar, A., & Dvir, Z. (1995). Isokinetic strength relationships in shoulder muscles. *Clinical*  
11 *Biomechanics, 10*(7), 369–373. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(95\)00007-8](https://doi.org/10.1016/0268-0033(95)00007-8)
- 12 Smith, S. S., Mayer, T. G., Gatchel, R. J., & Becker, T. J. (1985). Quantification of lumbar  
13 function: Part 1: Isometric and multispeed isokinetic trunk strength measures in sagittal  
14 and axial planes in normal subjects. *Spine, 10*(8), 757–764.  
15 <https://doi.org/10.1097/00007632-198510000-00011>
- 16 Song, J.-Y., Park, J.-W., Lee, C.-B., Eun, D., Jang, J.-H., Lee, H.-J., ... Jee, Y.-S. (2016).  
17 Analysis of ipsilateral and bilateral ratios in male amateur golfers. *Journal of Exercise*  
18 *Rehabilitation, 12*(2), 99–108. <https://doi.org/10.12965/jer.1632544.272>
- 19 Sonza, A., & De Andrade, M. C. (2012). Analysis of the isokinetic torque curves in shoulder  
20 movements. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte, 18*(2), 91–94.  
21 <https://doi.org/10.1590/S1517-86922012000200005>
- 22 Stefanska M. (2006). Biology of Sport, Vol. 23 N. *Biology of Sport, 23*(4), 389–399.

- 1 Sugimoto, D., Mattacola, C. G., Mullineaux, D. R., Palmer, T. G., & Hewett, T. E. (2014).  
2 Comparison of isokinetic hip abduction and adduction peak torques and ratio between  
3 sexes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 24(5), 422–428.  
4 <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000059>
- 5 Thistle, H. G., Hislop, H. J., Moffroid, M., & Lowman, E. W. (1967). Isokinetic contraction: a  
6 new concept of resistive exercise. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*,  
7 48(6), 279–282. Retrieved from <https://europepmc.org/article/med/6026595>
- 8 Vanhée, J. L., Voisin, P., Vezirian, T., & Vanvelcenaher, J. (1996). Isokinetic trunk flexors  
9 and extensors performance with and without gravity correction. *Isokinetics and Exercise*  
10 *Science*, 6(2), 89–94. <https://doi.org/10.3233/ies-1996-6203>
- 11 Voisin, F., Guillemot, P., Jallageas, R., Bouzille, G., Jan, J., & Rochcongar, P. (2017).  
12 Comparaison des résultats d'évaluations isocinétiques d'épaules réalisées sur deux  
13 dynamomètres différents (Cybex® et Contrex®) chez l'adulte sain. *Science and Sports*,  
14 32(1), 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.10.005>
- 15 Webber, S. C., & Porter, M. M. (2010). Reliability of ankle isometric, isotonic, and isokinetic  
16 strength and power testing in older women. *Physical Therapy*, 90(8), 1165–1175.  
17 <https://doi.org/10.2522/ptj.20090394>
- 18 Weissland, T., Cozette, M., Doyle, C., & Gabrion, A. (2018). Are there bilateral isokinetic  
19 shoulder rotator differences in basketball male players? *Journal of Sports Medicine and*  
20 *Physical Fitness*, 58(12), 1768–1773. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.07973-2>
- 21 Yildiz, Y., Aydin, T., Sekir, U., Hazneci, B., Komurcu, M., & Kalyon, T. A. (2003). Peak and  
22 end range eccentric evertor/concentric invertor muscle strength ratios in chronically  
23 unstable ankles: Comparison with healthy individuals. *Journal of Sports Science and*

1        *Medicine*, 2(3), 70–76.

2        Zouita, A., Dziri, C., Ben Salah, F. Z., & Layouni, R. (2007). Comparaison de la force

3        musculaire isocinétique et du ratio ischiojambiers/quadriceps entre des sportifs tunisiens.

4        *Science and Sports*, 22(5), 196–200. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2007.08.001>

5