



## REVISIÓ

## Validesa i fiabilitat de les ràtios de força isocinètica per estimar els desequilibris musculars

Francisco Ayala<sup>a,\*</sup>, Pilar Sainz de Baranda<sup>b</sup>, Mark de Ste Croix<sup>c</sup> i Fernando Santoja<sup>d</sup>

<sup>a</sup> *Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Católica de San Antonio, Múrcia, Espanya*

<sup>b</sup> *Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, Espanya*

<sup>c</sup> *Faculty of Sports, Health and Social Care, University of Gloucestershire, Gloucester, Regne Unit*

<sup>d</sup> *Facultad de Medicina, Universidad de Murcia, Múrcia, Espanya*

Rebut el 27 de setembre de 2011; acceptat el 22 de novembre de 2011

### PARAULES CLAU

Reproductibilitat;  
Ràtios de força;  
Lesions;  
Rehabilitació;  
Isquiosurals;  
Quàdriceps

**Resum** Han estat a bastament emprats diversos índexs de força isocinètica (bilateral i unilateral) del genoll per *a*) identificar possibles factors de risc de lesió del lligament encreuat anterior (LEA) del genoll i/o esquinços de la musculatura isquiosural; *b*) monitorar l'eficàcia de programes de rehabilitació, i *c*) determinar si un esportista pot tornar a l'entrenament i/o competició de forma segura després d'haver superat un procés de rehabilitació. Tanmateix, la precisió d'aquests índexs isocinètics per avaluar desequilibris musculars ha estat acceptada en base a coneixements teòrics i empírics i, en menor mesura, a l'evidència científica respecte al grau de validesa i fiabilitat. Per això, els objectius d'aquesta revisió bibliogràfica foren: 1) analitzar i comparar la validesa i la fiabilitat dels índexs de força bilateral i unilateral del genoll per estimar i monitorar possibles desequilibris musculars, i 2) aportar valors de referència per categoritzar la funció muscular com a normal o amb risc significatiu de lesió. Un total de 13 articles científics compliren els criteris d'inclusió i exclusió establerts inicialment. Després d'haver analitzat els estudis es pot concloure que: *a*) són molt escassos els treballs científics que analitzen la validesa i la fiabilitat dels índexs de força bilateral i unilateral (convencional i funcional) per identificar desequilibris musculars; *b*) un desequilibri bilateral menor del 10-15% i un desequilibri unilateral menor del 45-60% podrien ser un bon llinar de seguretat per reduir la probabilitat de sofrir una lesió de la musculatura isquiosural i del LEA; *c*) sembla que els índexs de força del genoll presenten valors moderats de fiabilitat absoluta (error estàndard de la mesura < 15%), i *d*) calen més estudis que abordin la determinació de la fiabilitat i la validesa dels índexs de força en diferents modalitats esportives.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

\*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: [fayala@pdi.ucam.edu](mailto:fayala@pdi.ucam.edu) (F. Ayala).

**KEYWORDS**

Reproducibility;  
Strength ratios;  
Injury;  
Rehabilitation;  
Hamstring;  
Quadriceps

**Validity and reliability of isokinetic strength ratios for estimating muscle imbalances**

**Abstract** Several isokinetic strength ratios (bilateral and unilateral) of the knee have been extensively used: (i) to identify possible anterior cruciate ligament (ACL) and hamstring strain injury risk factors; (ii) to monitor the effectiveness of rehabilitation programs; and (iii) to determine if an athlete is able to return safely to training and competition sessions after finishing a specific rehabilitation program. However, the precision of these isokinetic strength ratios to evaluate muscle imbalances has been accepted based on theoretical and empirical knowledge, and less based on the scientific evidence regarding their validity and reliability. The purposes of this literature review were: (1) to analyse and compare the validity and reliability of unilateral and bilateral isokinetic strength ratios of the knee for estimating and monitoring possible muscle imbalances; as well as (2) to report cut-off values to categorize the muscle function as normal or with significantly high injury risk. A total of 13 scientific studies fulfilled all the previously established inclusion and exclusion criteria. After analysing all the studies, it was possible to conclude that: (i) very few studies have analysed the validity and reliability of bilateral and unilateral (conventional and functional) isokinetic strength ratios of the knee to identify muscle imbalances; (ii) a bilateral imbalance lower than 10-15% and unilateral imbalances lower than 20-40% could be an appropriate cut-off score to reduce the likelihood of developing hamstring strains and ACL injuries; (iii) the isokinetic strength ratios of the knee appear to present moderate absolute reliability scores (standard error of the measurement < 15%); and (iv) more studies are needed to determine the validity and reliability of the isokinetic strength ratios of the knee in different sport modalities.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

**Introducció**

En l'àmbit de la medicina de l'esport i, més concretament, en l'àrea de la rehabilitació fisicoesportiva, han estat a bastament emprats diversos índexs o proporcions de força isocinètica de l'articulació del genoll per: *a*) identificar possibles factors de risc de lesió del lligament encreuat anterior (LEA) del genoll i/o esquinços de la musculatura isquiosural; *b*) monitorar l'eficàcia de programes de rehabilitació, i *c*) determinar si un esportista pot tornar a l'entrenament i/o a la competició de forma segura, després d'haver superat un procés rehabilitador<sup>1-6</sup>.

Els índexs de força de l'articulació del genoll descrits en la literatura científica poden agrupar-se en dues tendències: *a*) índexs de força bilateral, i *b*) índexs de força unilateral. Els índexs de força bilateral estudien el possible desequilibri muscular que pot existir entre la força d'un segment corporal en comparació al seu homònim oposat (desequilibri bilateral)<sup>7</sup>. D'altra banda, els índexs de força unilateral fan referència a la possible modificació-alteració que pot existir entre la força de la musculatura agonista i antagonista al moviment articular<sup>1</sup> (desequilibri unilateral).

Així, alguns autors recomanen l'exploració d'ambdós índexs de força isocinètica (bilateral i unilateral) perquè poden proporcionar informació molt útil a clínics i altres professionals de l'àmbit fisicoesportiu sobre: *a*) la funció

articular del genoll; *b*) el risc de lesió (LEA i musculatura isquiosural), i *c*) l'estabilitat dinàmica del genoll<sup>8-10</sup>.

L'avaluació de la fiabilitat i de la validesa dels índexs de força isocinètica bilateral i unilateral ha de ser determinada abans que aquests paràmetres puguin ser utilitzats legítimament en l'àmbit clínic i de la rehabilitació fisicoesportiva<sup>11</sup>. Tanmateix, malgrat que actualment es fa un ús extensiu dels índexs de força bilateral i unilateral de l'articulació del genoll com a elements d'identificació i predicció de possibles lesions del LEA i de la musculatura isquiosural, i que s'usen com a valors de referència per al retorn segur de l'esportista a l'entrenament i/o competició, sorprenentment existeixen pocs estudis que hagin tractat de verificar de forma científica la utilització esmentada.

És important una anàlisi crítica i exhaustiva de la literatura científica que permeti identificar el grau de validesa i de fiabilitat dels índexs de força bilateral i unilateral de l'articulació del genoll. Aquest coneixement permetrà disposar d'informació suficient per adoptar un judici de valor científicament justificat sobre quin índex de força cal utilitzar per categoritzar els pacients i/o esportistes (estudi de la validesa) i/o monitorar l'eficàcia dels tractaments aplicats (estudi de la fiabilitat absoluta) per al manteniment o millora de l'estabilitat dinàmica del genoll.

Per tant, els objectius principals d'aquesta revisió bibliogràfica foren: 1) analitzar i comparar la validesa i la fiabi-

litat dels índexs de força bilateral i unilateral de l'articulació del genoll per a l'estimació i el monitoratge de possibles desequilibris musculars, així com 2) aportar valors de referència que puguin ser utilitzats pels professionals per categoritzar la funció muscular com a normal o amb risc significatiu de lesió.

### Analisi de la validesa i de la fiabilitat dels índexs de força de l'articulació del genoll

Per fer aquesta revisió bibliogràfica es van seleccionar assaigs científics amb dissenys pretest i posttest, així com assaigs amb dissenys correlacionals, els objectius dels quals van ser analitzar i/o comparar la validesa i/o la fiabilitat dels índexs de força bilateral i unilateral de l'articulació del genoll per a la detecció i el monitoratge de desequilibris musculars.

La localització d'articles es féu a les bases de dades informatitzades en línia més importants en l'àmbit de les àrees de la salut i de l'educació física, que incloïen: Medline, Cochrane Library, ENFISPO, SportDiscus, Lilacs Teseo, OVID, així com el metacercador Google. Com a paraules clau s'empraren: «absolute reliability», «anterior cruciate ligament», «conventional ratio», «functional ratio», «hamstring», «injury prevention», «isokinetics test», «quadriceps», «knee contraction», «knee extension», «knee flexion», «measurement error», «pre-test and post-test», «reproducibility», «strength imbalance», «validity», «variability» (taula 1).

L'expressió «isokinetic test» va ser utilitzada sempre com a criteri de recerca, de manera que en les diverses cerques bibliogràfiques efectuades «isokinetic test» sempre estigué present en un dels camps de cerca, i la resta de camps coordinats amb l'operador booleà «and» i complets per una de les paraules clau anteriorment exposades. No es va establir limitació per any de publicació. La recerca finalitzà el març de 2011.

Com a criteris d'inclusió de compliment obligat es van establir: a) articles amb enllaç a text complet (gratuit i per subscripció); b) articles que incloguessin en el títol els mots «isokinetic», «knee», «strength imbalance ratios», «reliability» i/o «validity»; c) articles originals, tesis doctorals, comunicacions breus i resums; d) estudis amb homes i dones de qualsevol rang d'edat i condició física (sedentaris, físicament actius, esportistes d'alt nivell); e) assaigs clínics controlats, i f) estudis en idioma anglès, portuguès o espanyol.

D'altra banda, com a criteris d'exclusió es van establir: a) estudis no controlats; b) redactats en idioma diferent a l'anglès, portuguès o espanyol; c) els procediments exploratoris dels quals no estiguessin descrits perfectament, i d) que exploressin moviments diferents de la flexió i l'extensió activa del genoll.

### Validesa dels índexs de força de l'articulació del genoll per estimar desequilibris musculars

La validesa d'un instrument de mesura podria ser definida com el grau d'exactitud amb què un dispositiu mesura exactament allò que s'ha proposat de mesurar, és a dir, el grau de compliment del seu objectiu<sup>12</sup>.

En aquest sentit, donada la funció d'estabilitzador dinàmic de la musculatura flexora del genoll durant les accions d'esprint, canvis de direcció i xuts, podria ser raonable considerar que, des d'un punt de vista teòric, una força reduïda de la musculatura esmentada, una variació dels valors de força entre el costat dominant i el no dominant, o un desequilibri de forces entre la musculatura flexora i la musculatura extensora del genoll, pot predisposar teòricament un pacient o esportista a sofrir lesions per esquinç dels músculs isquiosurals i del LEA<sup>13</sup>.

Tanmateix, moltes de les recomanacions que es troben en la literatura científica en relació amb la importància dels índexs de força isocinètics com a factors de risc de lesió de la musculatura isquiosural<sup>1</sup> i del LEA<sup>14-15</sup> es basen en raonaments teòrics i empírics, i cal una anàlisi més profunda i crítica sobre aquesta qüestió.

A continuació s'exposa una anàlisi detallada de l'evidència científica existent pel que fa a la validesa dels índexs de força bilateral i unilateral del genoll per identificar i predir lesions de la musculatura isquiosural i del LEA.

L'índex de força bilateral ha estat descrit en la literatura científica de tres formes diferents, en funció de la relació entre la màxima força de: a) cama lesionada/cama no lesionada; b) cama dreta/cama esquerra, o c) cama dominant (forta)/cama no dominant (feble)<sup>7,16-17</sup>. Actualment sembla que no existeix un consens internacional sobre la forma més apropiada de descriure aquest índex, i l'elecció és a parer del clínic i del professional de la rehabilitació físicoesportiva.

Malgrat que els desequilibris de forces bilaterals han estat teòricament proposats com a factors de risc de lesió de la musculatura isquiosural i del LEA, els estudis científics que han tractat de determinar la validesa dels esmen-

Taula 1 Bases de dades i estratègies de recerca utilitzades

Base de dades	Estratègies de recerca	
PubMed	• Absolute reliability	• Quadriceps
SportDiscus	• Anterior cruciate ligament	• Measurement error
OVID	• Conventional ratio	• Reproducibility
Cochrane Library	• Functional ratio	• Strength imbalance
Lilacs Teseo	• Hamstring	• Validity
Google	• Isokinetics test	• Variability

**Taula 2** Estudis científics que analitzen la validesa dels índexs de força isocinètics per identificar alteracions de la funció muscular

Referència Mostra	Índexs isocinètics	Conclusions
Knapik et al. (1991) F (n = 138) Militars físicament actius	Índex convencional $FG_{CON}/EG_{CON}$ Índex bilateral ( $FG_{Dta}/FG_{Esq-CON}$ )	Els participants amb un índex bilateral $FG_{Dta}/FG_{Esq-CON180}$ menor del 15% tenien 2,6 vegades major risc de lesió de l'extremitat inferior en comparació amb els que no presentaven aquest desequilibri. Un índex convencional $FG_{CON}/EG_{CON180}$ menor de 0,75 suposà 1,6 vegades més risc de lesió.
Yamamoto (1991) H (n = 64) Esprintadors (n = 23) Saltadors de llargada o triple salt (n = 23) Corredors de fons (n = 12) Practicants de decatlló (n = 6)	$PFM_{ISOM}$ Índex convencional ( $FG_{ISOM}/EG_{ISOM}$ ) Índex bilateral ( $FG/FG_{ISOM}$ ) Índex bilateral ( $EG/EG_{ISOM}$ )	Els esportistes lesionats presentaven valors significativament menors $PFM_{ISOM}$ , índex convencional $FG_{ISOM}/EG_{ISOM}$ i índex bilateral $EG/EG_{ISOM}$ en comparació amb els que no van sofrir cap lesió de la musculatura isquiosural.
Orchard et al. (1997) H (n = 37) Jugadors professionals de futbol australians	$PFM_{CON}$ Índex convencional ( $FG_{CON}/EG_{CON}$ ) Índex bilateral ( $FG/FG_{CON}$ )	Els millors predictors de lesió de la musculatura isquiosural foren l'índex convencional $FG_{CON}/EG_{CON60}$ , l'índex bilateral $FG/FG_{CON60}$ i $PFM_{CON}$ . Establiren una funció canònica discriminativa amb coeficients de 0,73 en l'índex de força $FG/EG_{CON60}$ i de 0,47 en l'índex $FG/FG_{CON60}$ per tal de classificar els membres amb risc de lesió. Aquesta anàlisi va revelar una sensibilitat del 83,3%, una especificitat del 76,8% i un valor positiu predictiu del 27,8% amb 48 cames agrupades correctament.

tats factors com a elements de predicció i detecció de lesions de la musculatura isquiosural i del LEA presenten resultats sovint contradictoris (taula 2).

En aquest sentit, molts estudis<sup>4,7,17-20</sup>, tot i que no tots<sup>13,21-22</sup>, informen que l'índex de força bilateral de la flexió concèntrica del genoll ( $FG/FG_{CON}$ ) és capaç de discriminar entre persones amb patologia de la musculatura isquiosural i/o del LEA i persones sanes. Així, Dauty et al.<sup>4</sup> i Orchard et al.<sup>20</sup> observaren diferències significatives entre l'índex de força bilateral concèntric mesurat a  $60^\circ/s$  ( $FG/FG_{CON60}$ ) de jugadors professionals de futbol lesionats i no lesionats. A més, Dauty et al.<sup>4</sup> informaren que una asimetria menor del 10% a l'índex bilateral  $FG/FG_{CON60}$  era capaç d'identificar jugadors no lesionats amb una probabilitat del 90,1%.

Recentment, Houweling et al.<sup>18</sup> han tractat de determinar quin procediment d'avaluació isocinètica, concèntric/concèntric o concèntric/excèntric, és el més precís per detectar lesions prèvies de la musculatura isquiosural mitjançant l'índex de força bilateral  $FG/FG_{CON60}$  de jugadors semiprofessionals de futbol (n = 21). Aquests autors trobaren que únicament l'índex bilateral mesurat mitjançant el mètode concèntric/concèntric era capaç de discriminar entre persones amb lesions d'isquiosurals i persones sanes.

Pel que fa a la validesa de l'índex de força bilateral mesurat a través d'una contracció excèntrica, emprant tant els músculs flexors del genoll ( $FG/FG_{EXC}$ ) com els extensors de genoll ( $EG/EG_{EXC}$ ), la reduïda literatura científica existent sobre aquesta qüestió sembla indicar que els índexs referits no són capaços de detectar i/o predir lesions de la musculatura isquiosural i/o del LEA<sup>4,18</sup>.

Tot acceptant que, malgrat l'escassa, i en alguns casos imprecisa, literatura científica existent, l'índex bilateral de la flexió de genoll mesurat de forma concèntrica ( $FG/FG_{CON}$ ) a velocitats angulars baixes ( $60^\circ/s$  principalment) podria ser prou sensible com per detectar desequilibris musculars. Un següent pas podria ser establir punts de referència de l'estat de normalitat o de seguretat.

En aquest sentit, nombrosos autors consideren que una diferència de força contralateral menor del 10% podria ser considerada com a normal<sup>4,6,20,23</sup>. Per mirar d'enfrontar aquesta qüestió, Houweling et al.<sup>18</sup> van realitzar una anàlisi de la sensibilitat i de l'especificitat de diferents punts de normalitat referent al percentatge de desequilibri necessari per detectar lesions prèvies de la musculatura isquiosural. Els resultats mostraren que el punt de normalitat o valor de referència del 12,5% de desequilibri bilateral expressat mitjançant l'índex  $FG/FG_{CON60}$  era el que presen-

tava major sensibilitat i especificitat, amb valors de 0,73 i 0,80, respectivament, i podia, per tant, ser considerat com a llindar de normalitat.

Anteriorment, Orchard et al.<sup>20</sup> havien establert una funció canònica discriminativa amb coeficient de 0,47 per a l'índex bilateral  $FG/FG_{CON60}$  per tal de classificar els membres amb risc de lesió. Aquesta anàlisi va revelar una sensibilitat del 83,3%, una especificitat del 76,8% i un valor positiu predictiu del 27,8% amb 48 cames correctament agrupades. El valor del quartil més baix de l'índex bilateral  $FG/FG_{CON60}$  fou de 0,92.

L'avaluació unilateral de la relació existent entre la força màxima de la musculatura extensora i flexora de l'articulació del genoll ha estat determinada tradicionalment mitjançant l'ús de dispositius isocinètics i expressada quantitativament per mitjà de l'anomenat «índex de força convencional». Aquest índex isocinètic és calculat com el quocient entre el moment o pic de força màxima (PFM o *peak torque*) isocinètic de la musculatura flexora i la musculatura extensora del genoll mesurat durant contraccions concèntriques ( $FG/EG_{CON}$ )<sup>24-25</sup>. En termes conceptuals, l'índex de força convencional  $FG/EG$  considera que la contracció concèntrica té lloc simultàniament en la flexió i en l'extensió del genoll. No obstant això, el veritable moviment articular únicament permet que la flexió excèntrica del genoll es combini amb l'extensió concèntrica del genoll (durant l'extensió), o viceversa (durant la flexió)<sup>8</sup>.

En aquest sentit, l'índex de força unilateral  $FG/EG$  únicament podrà indicar si existeix una similitud qualitativa entre els patrons posició-velocitat de la musculatura flexora i extensora del genoll, o si es manté una constància en la proporció convencional  $FG/EG$  a través dels diferents modes de contracció i velocitats angulars<sup>26</sup>.

Per això, alguns autors han qüestionat la importància de l'ús d'aquest índex de força unilateral en l'àmbit de la rehabilitació físicoesportiva, tot argumentant que els grups musculars que realitzen accions oposades (flexió vs. extensió) no actuen simultàniament de forma concèntrica<sup>2,8,26</sup>. Per tant, potser fóra més funcional considerar l'índex entre el PFM excèntric de la flexió de genoll i el PFM concèntric de l'extensió del genoll ( $FG_{EXC}/EG_{CON}$ )<sup>8</sup>. Aquest índex de força unilateral, inicialment descrit per Aagaard et al.<sup>26</sup>, rep el nom d'«índex funcional o dinàmic». L'índex de força unilateral funcional pot mostrar amb més precisió els patrons de moviment presents durant la majoria d'accions físicoesportives, en què la musculatura flexora del genoll actua com a sinergista i element protector del LEA, mitjançant la contracció excèntrica per contrarestar les forces de translació anterior de la tibia produïdes com a conseqüència de la ràpida i potent contracció concèntrica de la musculatura extensora del genoll durant, per exemple, els moviments de carrera i salt, a més d'accions com xuts a la pilota<sup>8</sup>. Aquesta acció de co-contracció de la musculatura flexora i extensora del genoll és crucial per a l'estabilització dinàmica i minimitza la magnitud dels moviments (var i valg del genoll, hiperextensió de genoll) que poden incrementar les tensions de cisalla i tracció que ha de suportar el LEA i la musculatura isquiosural<sup>27</sup>.

Escassos estudis científics han tractat de determinar la validesa d'ambdós índexs de força unilateral (convencional i funcional) del genoll, com a eines d'estimació de desequi-

libris musculars i predicció del risc de patir lesions de la musculatura isquiosural i del LEA (taula 3), i els seus resultats són sovint controvertits.

En aquest sentit, Yeung et al.<sup>22</sup>, després d'explorar la possible funció de l'índex de força convencional  $FG/EG_{CON180}$  com a element de predicció de lesió de la musculatura isquiosural dels esprintadors d'alt nivell ( $n = 18$ ), observaren que valors inferiors a 0,60 incrementaven 17 vegades el risc de lesió. Aquests resultats també han estat ratificats per altres estudis que utilitzaren una mostra de jugadors professionals de futbol australians<sup>20,28</sup>.

Knapkin et al.<sup>7</sup> estudiaren la possible correlació entre la magnitud de força i el risc de lesió de l'extremitat inferior i trobaren que un índex de força convencional  $FG/EG_{CON180}$  menor de 0,75 incrementava 1,6 vegades el risc de patir lesions del membre inferior. Malgrat que Knapkin et al.<sup>7</sup> no van focalitzar l'estudi en la musculatura isquiosural o en el LEA, aquests autors consideren de forma teòrica que l'augment de la velocitat en les valoracions isocinètiques podria incrementar la compatibilitat amb les accions esportives.

A la literatura científica es troben diferents valors o llindars de normalitat de l'índex de força convencional en funció de la modalitat esportiva. En aquest sentit, un estudi retrospectiu (1973-1982) amb jugadors de futbol amateur suggerí que, després d'una lesió, un índex de força  $FG/EG_{CON60}$  major de 0,55 era un valor de normalitat apropiat per a la tornada segura a la pràctica esportiva<sup>29</sup>. En aquest mateix context, un altre estudi, amb jugadors professionals de futbol<sup>3</sup>, determinà el valor 0,47 com a punt de normalitat de l'índex de força  $FG/EG_{CON60}$ .

La gran variabilitat en la magnitud dels índexs de força convencional en funció de la modalitat esportiva<sup>30-31</sup> recolza la teoria que esports amb diferents demandes físiques potser no haurien d'emprar els mateixos valors de normalitat de l'índex convencional<sup>22</sup>. Per això, cal ser molt prudents amb els valors de normalitat establerts anteriorment, sobretot en esports amb demandes físiques diferents de les del futbol.

D'altra banda, pel que fa a la validesa de l'índex de força unilateral funcional, Sugiura et al.<sup>32</sup>, després de realitzar un estudi prospectiu sobre la possible relació causal existent entre les lesions de la musculatura isquiosural i la presència de desequilibris musculars previs en esprintadors d'alt nivell ( $n = 30$ ) van observar que l'índex de força funcional  $FG_{EXC}/EG_{CON}$  no era un indicador apropiat per predir i identificar possibles lesions de dita musculatura. Tanmateix, Dauty et al.<sup>4</sup> trobaren que una proporció funcional d' $FG_{EXC60}/EG_{CON60}$  menor de 0,60 podria ser un bon indicador de lesions prèvies de la musculatura isquiosural de jugadors professionals de futbol, amb un 77,5% de probabilitat.

D'altra banda, Croisier et al.<sup>9</sup> trobaren que els jugadors de futbol ( $n = 462$ ) amb un desequilibri muscular mesurat a través de l'índex funcional  $FG_{EXC}/EG_{CON}$  presentaven 4,7 vegades més risc de sofrir lesions de la musculatura isquiosural. Resulta interessant que aquest estudi informi que els jugadors de futbol amb un índex de força  $FG_{EXC}/EG_{CON}$  superior a 1,40 no van sofrir cap lesió del tren inferior durant l'any esportiu estudiat. És important destacar que Croisier et al.<sup>9</sup> van emprar valors molt estrictes de normalitat de l'índex de força funcional i consideraren que hi havia un dèficit muscular en valors inferiors a 0,98. Així mateix,

**Taula 3** Estudis que determinen la fiabilitat absoluta dels índexs de força unilateral per a la identificació d'alteracions de la funció muscular

Referència	Disseny	Procediment exploratori		Resultats
		Procés d'escalfament	Procés d'avaluació	
Kellis et al. (1999) H (n = 13) Futbolistes públics talentosos	1 sessió de familiarització 2 sessions d'avaluació 7 dies entre sessions consecutives Sedestació amb flexió de maluc de 110°	15 min cicloergòmetre 3 cicles submàxims con/con i exc/exc d'EG i FG a 60, 120 i 180° /s 1 cicle màxim con/con i exc/ exc d'EG i FG a 60, 120 i 180° /s	Ambdues cames avaluades 5 cicles màxims con/con i exc/exc d'EG i FG a 60, 120 i 180° /s (aleatori) per a ambdues cames (aleatori) ROM: 0-90° 5 min de descans entre velocitats 10 min de descans entre avaluació d'una cama i de l'altra	Índex convencional $FG_{CON}/EG_{CON}$ 60° /s: -0,08 +0,03 95% LoA; 0,76 ICC 120° /s: -0,11 +0,09 95% LoA; 0,56 ICC 180° /s: -0,09 +0,03 95% LoA; 0,64 ICC Índex convencional $FG_{EXC}/EG_{EXC}$ 60° /s: -0,01 +0,06 95% LoA; 0,87 ICC 120° /s: -0,06 +0,04 95% LoA; 0,43 ICC 180° /s: -0,03 +0,07 95% LoA; 0,42 ICC
Iga et al. (2006) H (n = 23) Futbolistes públics	1 sessió de familiarització 2 sessions d'avaluació 7 dies entre sessions consecutives Sedestació amb flexió de maluc de 90°	Cicloergòmetre (no indica temps) Estiraments 3 cicles submàxims con/ con i exc/exc d'EG i FG 3 cicles màxims con/con i exc/exc d'EG i FG	Ambdues cames avaluades 5 cicles màxims con/con d'EG i FG a 60, 120 i 240° /s 5 cicles màxims exc/exc d'EG i FG a 120° /s ROM: 10-90° 30 s de descans entre cicles 1 min descans entre velocitats	Índex convencional $FG_{CON}/EG_{CON}$ 60° /s: 1,01 x/± 1,08 RLoA <sup>2</sup> 120° /s: 1,01 x/± 1,08 RLoA <sup>2</sup> 240° /s: 0,99 x/± 1,13 RLoA <sup>2</sup> Índex convencional $FG_{EXC}/EG_{EXC}$ 120° /s: 1,00 x/± 1,37 RLoA <sup>2</sup> Índex funcional $FG_{CON}/EG_{CON}$ 60° /s: 1,01 x/± 1,07 RLoA <sup>2</sup> 120° /s: 1,00 x/± 1,06 RLoA <sup>2</sup> 240° /s: 1,00 x/± 1,08 RLoA <sup>2</sup>
Sole et al. (2007) H (n = 11) D (n = 7) Esportistes de diferents nivells de rendiment	No sessió de familiarització 2 sessions d'avaluació 7 dies entre sessions consecutives Sedestació amb flexió de maluc de 100°	10 contr. submàxims con i exc 2 contr. màxims con i exc	Cama dominant avaluada 3 cicles màxims con/exc d'EG a 60° /s 3 cicles màxims con/exc d'FG a 60° /s ROM: 0-85° 15 s de descans entre cicles	Índex convencional $FG_{CON}/EG_{CON}$ 60° /s: 11,0% SEM; 3,55 RLoA <sup>1</sup> ; 0,43 ICC Índex funcional $FG_{EXC}/EG_{CON}$ 60° /s: 1,2%SEM; 28,38%RLoA <sup>1</sup> ; 0,73 ICC

**Taula 3 (Continuació)**

Referència	Disseny	Procediment exploratori	Resultats
Població	Posició del subjecte avaluat	Procés d'escalfament	Procés d'avaluació
Impellizzeri et al. (2008) H i D (n = 18) Adults joves esportistes recreatius	No sessió de familiarització 3 sessions d'avaluació 96 h entre sessions d'avaluació Sedestació (no indica el grau de flexió de maluc)	5-6 contr submàximes con i exc d'EG i FG a 60° /s	Índex funcional cama dta. FG <sub>EXC</sub> /EG <sub>CON</sub> 60° /s: 6,3%SEM; 17,5 RLoA <sup>1</sup> ; 0,87 ICC Índex funcional cama esq FG <sub>EXC</sub> /EG <sub>CON</sub> 60° /s: 6,4% SEM; 17,6 RLoA <sup>1</sup> ; 0,80 ICC
Ayala et al. (2011) H (n = 27) D (n = 25) Esportistes de diferents nivells de rendiment	1 sessió de familiarització 3 sessions d'avaluació 96 h entre sessions d'avaluació Decúbit pron (0° de flexió de maluc)	Estiraments 2 cicles submàxims con/con i exc/exc d'EG i FG	Índex convencional FG <sub>CON</sub> /EG <sub>CON</sub> 60° /s: 18,5% CVTE; 0,68 ICC 180° /s: 16,3% CVTE; 0,64 ICC Índex funcional FG <sub>EXC</sub> /EG <sub>CON</sub> 60° /s: 20,2% CVTE; 0,34 ICC 180° /s: 18,8% CVTE; 0,50 ICC

Contr: contraccions; con: concèntrica; exc: excèntrica; FG: flexió/flexors de genoll (isquiosurals); EG: extensió/extensors de genoll (quàdriceps); °: graus; s: segons; %SEM: SEM expressat com a percentatge en funció de la mitjana del grup; 95% LoA: *limits of agreement* (1,96 x /2 x SEM); ROM: rang de moviment (0° = extensió completa); ICC: índex de correlació intraclass; RLoA<sup>1</sup>: 95% LoA expressat en funció del percentatge de la mitjana del grup; RLoA<sup>2</sup>: 95% LoA calculat a través de logaritmes; CV<sub>TE</sub>: coeficient de variació expressat a través de l'error típic de la mesura (100 [e<sup>s</sup>-1]).

aquests autors empraren un índex funcional que combinava diferents velocitats angulars, lenta per a la contracció excèntrica, i ràpida per a la contracció concèntrica ( $FG_{EXC30}/EG_{CON240}$ ). La principal justificació d'aquesta decisió fou tractar de minimitzar el biaix d'aprenentatge i l'alta variabilitat del procés d'avaluació de la màxima contracció excèntrica mesurada a alta velocitat.

La validesa de la proporció funcional  $FG_{EXC30}/EG_{CON240}$  per predir i identificar lesions de la musculatura isquiosural ha estat intensament estudiada en els últims anys per l'equip d'investigació de Croisier en jugadors de futbol, i en tots els seus estudis trobaren<sup>1-3,9,33-34</sup> que hi podria haver una relació causal entre la presència de desequilibris musculars i un augment del risc de patir lesions de la musculatura esmentada.

Una possible crítica a l'índex funcional exposat per l'equip de Croisier podria ser que no reflecteix amb prou precisió l'elevada i igual velocitat de la musculatura agonista-antagonista existent durant el mecanisme de lesió de la musculatura isquiosural i del LEA. Tanmateix, els escassos estudis que analitzen la validesa dels índexs de força funcionals com a indicadors de risc de lesió emprant velocitats angulars altes sembla que no han trobat valors significatius de correlació i predicció<sup>18,22,32</sup>. Per tant, si s'estableix com a base el fet que l'índex de força funcional és un índex isocinètic relativament nou i que els estudis científics que n'han analitzat la validesa com a factor de risc de lesió són molt limitats, el valor de referència de normalitat més acceptat en la literatura científica (0,6-0,8) caldria ser considerat amb extrema cautela.

També es suggereix als clínics i professionals de l'àrea de les ciències de l'esport, que utilitzin l'índex funcional proposat per Croisier et al.<sup>2</sup> fins que estudis nous dissenyin protocols d'avaluació que permetin obtenir un índex de força funcional més precís i pròxim a la realitat esportiva. En aquest sentit, com a valor de normalitat es podria establir el de 0,98, encara que potser el rang entre 0,9 i 1,0 seria, teòricament, més apropiat per tractar de minimitzar els possibles biaixos d'error de la mesura.

És important remarcar que tots els líndars de normalitat-seguretat exposats anteriorment són específics de la velocitat angular a què estan associats, ja que els índexs de força unilaterals experimenten modificacions en funció de la velocitat angular<sup>8,26,35-36</sup>.

### Fiabilitat dels índexs de força de l'articulació del genoll per estimar desequilibris musculars

El concepte de fiabilitat fa referència a la consistència o repetitivitat d'una mesura, és a dir, si l'aplicació de l'instrument d'avaluació reporta consistentment els mateixos resultats en les mateixes condicions. En aquest sentit, l'avaluació més precisa de la fiabilitat d'un instrument o procediment de valoració es determina quan es realitzen diferents tests en períodes de temps curts (consistència interna o fiabilitat relativa) i moderats (estabilitat o fiabilitat absoluta), emprant el disseny clàssic test-retest<sup>12</sup>.

A nivell pràctic, l'anàlisi de la fiabilitat absoluta (reproductibilitat de la mesura) presenta un interès major, perquè permet valorar l'«eficàcia real» de programes d'intervenció sobre el nivell d'equilibri muscular del genoll de

pacients i esportistes. Igualment, un altre ús important de la fiabilitat absoluta és la possibilitat de comparar entre diferents proves diagnòstiques, i fins i tot clínics i investigadors podrien emprar aquesta informació per determinar la grandària mostral dels seus estudis<sup>12</sup>.

La fiabilitat d'una mesura pot estar afectada per determinats factors, com: a) la complexitat del moviment avaluat (biaix d'aprenentatge); b) si la valoració és duta a terme pel mateix examinador (fiabilitat intraexaminador) o per diferents examinadors (fiabilitat interexaminadors); c) factors ambientals com la temperatura i el moment del dia; d) la realització o no d'un escalfament previ, i fins i tot, e) per les característiques pròpies de la població a la qual va dirigida (escolars, adults joves sans, persones amb patologies)<sup>12</sup>.

Sorprenentment, tot i la freqüència d'ús dels índexs de força isocinètics en l'àmbit clínic i de la rehabilitació fisioesportiva, són molt reduïts els estudis científics que n'han avaluat la fiabilitat absoluta (taules 3 i 4). L'escàs nombre d'estudis científics que s'han dedicat a determinar la fiabilitat absoluta dels índexs de força unilateral i bilateral fa inviable que es dugui a terme una anàlisi de l'efecte que variables com la velocitat angular i la població objecte d'estudi podrien presentar sobre el nivell de variabilitat intersessió.

Per tant, l'anàlisi del nivell de reproductibilitat intersessió dels índexs de força es focalitzarà exclusivament en: a) descriure els resultats obtinguts pels estudis dedicats a aquesta finalitat, i b) establir judicis teòrics i de caràcter general del possible nivell de variabilitat obtingut a través de la mitjana dels resultats individuals derivats dels diversos estudis científics.

En aquest sentit, els estudis que determinen la fiabilitat absoluta dels índexs de força bilateral del genoll informen de valors moderats de variabilitat intersessió<sup>11,37</sup>. Impellizzeri et al.<sup>11</sup>, després d'avaluar la fiabilitat absoluta de l'índex de força bilateral emprant diferents velocitats (60, 120 i 180°/s) en adults joves físicament actius, informaren de valors baixos de variabilitat en un rang de 3,2 a 7,3%, emprant l'estadístic error estàndard de la mesura (SEM).

D'altra banda, l'índex de força convencional sembla que presenta un nivell acceptable de variabilitat intersessió, amb un valor mitjà de l'estadístic SEM del 8,0%<sup>11,38</sup> i de l'estadístic ràtio del 95% *limits of agreement* del 17,36%<sup>11,37,38</sup>. Han estat establerts resultats similars de fiabilitat absoluta de l'índex de força funcional, amb un valor mitjà del SEM del 6,5%<sup>11,37</sup>.

### Limitacions de la literatura científica

Malgrat l'ús generalitzat dels índexs de força unilateral i bilateral del genoll com a elements que permeten identificar i predir lesions de l'extremitat inferior, així com l'ús com a valor de referència de la tornada segura de l'esportista a l'entrenament i/o a la competició, són molt pocs els estudis que han tractat de verificar-ne científicament l'ús.

En aquest sentit, els escassos estudis científics que tracten de determinar la validesa i la fiabilitat dels índexs de força com a eines que permetin identificar, predir i moni-



**Taula 4 Estudis que determinen la fiabilitat absoluta dels índexs de força bilateral per identificar alteracions de la funció muscular**

Referència	Disseny	Procediment exploratori		Resultats
		Procés d'escalafament	Procés d'avaluació	
<p>Kellis et al. (1999) H (n = 13) Futbolistes públics talentosos</p>	<p>1 sessió de familiarització 2 sessions d'avaluació 7 dies entre sessions consecutives Sedestació amb flexió de maluc de 110°</p>	<p>15 min cicloergòmetre 3 cicles submàxims con/con i exc/exc d'EG i FG a 60, 120 i 180° /s 1 cicle màxim con/con i exc/ exc d'EG i FG a 60, 120 i 180° /s</p>	<p>Ambdues cames avaluades 5 cicles màxims con/con i exc/exc d'EG i FG a 60, 120 i 180° /s (aleatori) per a ambdues cames (aleatori) ROM: 0-90° 5 min de descans entre velocitats 10 min de descans entre avaluació d'una cama i de l'altra</p>	<p>Índex bilateral EG<sub>no-dom</sub>/EG<sub>domCON</sub> 60° /s: -0,07 +0,03 95% LoA; 0,75 ICC 120° /s: -0,05 +0,02 95% LoA; 0,83 ICC 180° /s: -0,09 +0,04 95% LoA; 0,47 ICC Índex bilateral ER<sub>no-dom</sub>/ER<sub>domEXC</sub> 60° /s: -0,01 +0,02 95% LoA; 0,82 ICC 120° /s: -0,09 +0,04 95% LoA; 0,63 ICC 180° /s: -0,11 +0,06 95% LoA; 0,31 ICC Índex bilateral FG<sub>no-dom</sub>/FG<sub>domCON</sub> 60° /s: -0,05 +0,06 95% LoA; 0,68 ICC 120° /s: -0,11 +0,03 95% LoA; 0,53 ICC 180° /s: -0,15 +0,09 95% LoA; 0,47 ICC Índex bilateral FG<sub>no-dom</sub>/FG<sub>domEXC</sub> 60° /s: -0,17 +0,01 95% LoA; 0,72 ICC 120° /s: -0,09 +0,12 95% LoA; 0,42 ICC 180° /s: -0,07 +0,07 95% LoA; 0,43 ICC</p>
<p>Iga et al. (2006) H (n = 23) Futbolistes públics</p>	<p>1 sessió de familiarització 2 sessions d'avaluació 7 dies entre sessions consecutives Sedestació amb flexió de maluc de 90°</p>	<p>Cicloergòmetre (no indica temps) Estiraments 3 cicles submàxims con/con i exc/exc d'EG i FG 3 cicles màxims con/con i exc/exc d'EG i FG</p>	<p>Ambdues cames avaluades 5 cicles màxims con/con d'EG i FG a 60, 120 i 240° /s 5 cicles màxims exc/exc d'EG i FG a 120° /s ROM: 10-90° 30 s de descans entre cicles 1 min de descans entre velocitats</p>	<p>Índex bilateral EG<sub>no-dom</sub>/EG<sub>no-domCON</sub> 60° /s: 1,00 x/± 1,17 RLoA<sup>1</sup> 120° /s: 1,04 x/± 1,23 RLoA<sup>1</sup> 240° /s: 1,05 x/± 1,24 RLoA<sup>1</sup> Índex bilateral EG<sub>no-dom</sub>/EG<sub>no-domEXC</sub> 120° /s: 1,03 x/± 1,21 RLoA<sup>1</sup> Índex bilateral FG<sub>no-dom</sub>/FG<sub>no-domCON</sub> 60° /s: 0,98 x/± 1,15 RLoA<sup>1</sup> 120° /s: 0,99 x/± 1,22 RLoA<sup>1</sup> 240° /s: 1,00 x/± 1,23 RLoA<sup>1</sup> Índex bilateral FG<sub>no-dom</sub>/FG<sub>no-domEXC</sub> 120° /s: 1,02 x/± 1,18 RLoA<sup>1</sup></p>

Taula 4 (Continuació)

Referència	Disseny	Procediment exploratori		Resultats
		Procés d'escalfament	Procés d'avaluació	
Impellizzeri et al. (2008) H i D (n = 18) Joves esportistes recreatius adults	No sessió de familiarització 3 sessions d'avaluació 96 h entre sessions d'avaluació Sedestació (no indica el grau de flexió de maluc)	5-6 contr submàximas con i exc d'EG i FG a 60° /s	Ambdues cames avaluades 3 contr màximas con d'EG i FG a 60, 120 i 180° /s 3 contr màximas exc a 60° /s d'FG ROM: 10-90° 1 min de descans entre contr	Índex bilateral EG <sub>60</sub> /EG <sub>120</sub> <sup>eq,CON</sup> 60° /s: 3,2% SEM; 8,9 RLoA <sup>2</sup> ; 0,78 ICC 120° /s: 5,6% SEM; 15,6 RLoA <sup>2</sup> ; 0,63 ICC 180° /s: 6,5% SEM; 18,1 RLoA <sup>2</sup> ; 0,43 ICC Índex bilateral EG <sub>60</sub> /EG <sub>120</sub> <sup>eq,EXC</sup> 60° /s: 7,3% SEM; 20,3 RLoA <sup>2</sup> ; 0,65 ICC Índex bilateral FG <sub>60</sub> /FG <sub>120</sub> <sup>eq,CON</sup> 60° /s: 8,7% SEM; 24,2 RLoA <sup>2</sup> ; 0,59 ICC 120° /s: 7,3% SEM; 20,3 RLoA <sup>2</sup> ; 0,29 ICC 180° /s: 5,6% SEM; 15,6 RLoA <sup>2</sup> ; 0,54 ICC Índex bilateral FG <sub>60</sub> /FG <sub>120</sub> <sup>eq,EXC</sup> 120° /s: 7,3% SEM; 20,3 RLoA <sup>2</sup> ; 0,69 ICC

Contr: contraccions; con: concèntrica; exc: excèntrica; FG: flexió de genoll (isquiosurals); EG: extensió/extensors de genoll (quàdriceps); °: graus; s: segons; dom: dominant; no-dom: no dominant; eq: esquerra; dta: dreta.; %SEM: SEM expressat com a percentatge en funció de la mitjana del grup; 95% LoA; limits of agreement (1,96 x /2 x SEM); ROM: rang de moviment (0° = extensió completa); ICC: índex de correlació intraclass; RLoA<sup>1</sup>: 95% LoA expressat en funció del percentatge de la mitjana del grup; RLoA<sup>2</sup>: 95% LoA calculat a través de logaritmes.

torar lesions de l'extremitat inferior, en molts casos, presenten resultats contradictoris.

Potser la gran diversitat de resultats obtinguts en els diversos estudis pugui ser deguda als diferents procediments d'avaluació emprats, a l'escassa i diversa població objecte d'estudi, als diferents valors de normalitat utilitzats per categoritzar els participants, així com a les diferents definicions que s'empren del concepte lesió, per considerar els esportistes com a lesionats o no lesionats.

Calen estudis científics que desenvolupin procediments d'exploració de la força isocinètica prou precisos per permetre dotar els índexs de força isocinètics de la precisió necessària per identificar i predir lesions de la musculatura isquiosural i del LEA, així com per monitorar l'eficàcia dels tractaments aplicats al manteniment o millora de l'estabilitat dinàmica del genoll.

De la mateixa manera, si considerem que cada modalitat esportiva produeix adaptacions musculoesquelètiques específiques en els practicants, calen estudis científics que estableixin valors de seguretat dels índexs de força isocinètica adaptats a cada modalitat esportiva, tot i que en un primer moment potser seria interessant establir valors de seguretat específics d'esports amb una alta demanda del cicle estirament-escurçament i altres valors diferents en els esports amb baixa demanda del cicle estirament-escurçament.

## Conclusions

Sobre la validesa dels índexs de força del genoll es pot concloure que:

- Un desequilibri bilateral de força major del 10-15%, expressat mitjançant l'índex FG/FG<sub>CON60</sub>, podria indicar que la persona presenta un alt risc de sofrir una lesió de la musculatura isquiosural i del LEA, o que, al contrari, el programa de rehabilitació no s'ha completat amb èxit, i per això no ha permès la incorporació segura de l'esportista a l'entrenament i/o a la competició.
- Un índex unilateral de força major del 0,45-0,6, calculat a través de la modalitat FG/EG<sub>CON180</sub>, podria ser establert com a llindar de seguretat de les lesions de la musculatura isquiosural de l'LEA.
- Un índex funcional FG<sub>EXC60</sub>/EG<sub>CON60</sub> menor de 0,60 podria ser un bon indicador de lesions prèvies de la musculatura isquiosural en jugadors professionals de futbol, amb un 77,5% de probabilitat. Tanmateix, donat l'escàs nombre d'estudis científics que aborden l'estudi de la validesa de l'índex esmentat, el llindar de normalitat anteriorment exposat s'ha de considerar amb extrema cautela.
- Sembla que hi ha una major evidència científica que suggereix que un índex funcional mixt, FG<sub>EXC30</sub>/EG<sub>CON240</sub> menor de 0,8-1,0 podria indicar un alt risc (4 vegades més) de lesió del membre inferior.

Sobre la fiabilitat absoluta dels índexs de força del genoll es pot concloure que:

- Són molt escassos els estudis que determinen la fiabilitat absoluta dels índexs de força unilateral i bilateral. Per

tant, l'ús com a element de predicció del risc de lesió ha de ser considerat amb extrema cautela.

- Sembla que els índexs unilaterals de forces isocinètiques presenten un nivell acceptable de variabilitat intersessió, amb un valor mitjà de l'estadístic SEM < 10,0%.
- Els índexs bilaterals de forces isocinètiques informen de valors moderats de variabilitat intersessió, amb un valor mitjà de l'estadístic SEM ≈ 10-15%.

## Finançament

Aquest treball és resultat del projecte (06862/FPI/07) finançat amb càrrec al Programa de Formació de Recursos Humanos para la Ciencia y la Tecnología de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia. També, aquest treball és resultat de l'ajuda concedida per la Fundación Séneca en el marc del PCTRM 2007-2010, amb finançament de l'INFO i FEDER fins a un 80%.

## Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

## Bibliografia

- Croisier JL. Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med.* 2004;34:681-95.
- Croisier JL, Forthomme B, Namurois MH, Vanderthommen M, Crielaard JM. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med.* 2002;30:199-203.
- Croisier JL, Reveillon V, Ferret JM, Cotte T, Genty M, Popovich N, et al. Isokinetic assessment of knee flexors and extensors in professional soccer players. *Isokinet Exer Sci.* 2003;11:61-2.
- Dauty M, Potiron-Josse M, Rochcongar P. Identification of previous hamstring muscle injury by isokinetic concentric and eccentric torque measurement in elite soccer player. *Isokinet Exer Sci.* 2003;11:139-44.
- Devan MR, Pescatello S, Faghri P, Anderson J. A prospective study of overuse knee injuries among female athletes with muscle imbalances and structural abnormalities. *J Athle Train.* 2004;39:263-7.
- Kannus P. Isokinetic evaluation of muscular performance: Implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med.* 1994;15:S11-8.
- Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH, Harris JM, Vaughan L. Pre-season strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med.* 1991;19:76-81.
- Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstring: Quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med.* 1998;26:231-7.
- Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study. *Am J Sports Med.* 2008;36:1469-75.
- Gerodimos V, Mandou V, Zafeiridis A, Ioakinidis P, Stavropoulos N, Kellis S. Isokinetic peak torque and hamstring/quadriceps ratio in young basketball players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2003;43:444-52.
- Impellizzeri FM, Bizzini M, Rampinini E, Cereda F, Maffiulett NA. Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2008;28:113-9.
- Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000;30:1-15.
- Bennell K, Wajswelner H, Lew P, Schall-Riauour A, Leslie S, Plant D, et al. Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *Br J Sports Med.* 1998;32:309-14.
- Hughes G, Watkins J. A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sport Med.* 2006;36:411-28.
- Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynon B, Fukubayashi T, Garrett W. Non-contact ACL injuries in female athletes: An International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med.* 2008;42:394-412.
- Keays SL, Bullock-Saxton JE, Newcombe P, Keays AC. The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Res.* 2003;21:231-7.
- Yamamoto T. Relationship between hamstring strains and leg muscle strength. A follow-up study of collegiate track and field athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 1993;33:194-9.
- Houweling TAW, Head A, Hamzeh MA. Validity of isokinetic testing for previous hamstring injury detection in soccer players. *Isokinet Exer Sci.* 2009;17:213-20.
- Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes. *J Athle Train.* 2004;39:352-64.
- Orchard J, Marsden J, Lord S, Garlick D. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian Footballers. *Am J Sports Med.* 1997;25:81-5.
- Kannus P. Ratio of hamstring to quadriceps femoris muscles' strength in anterior cruciate ligament insufficiency knee. Relationship to long term recovery. *Phys Ther.* 1988;68:961-5.
- Yeung SS, Suen AM, Yeung EW. A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: Preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *Br Sports Med.* 2009;43:589-94.
- Sapega AA. Muscle performance evaluation in orthopaedic practice. *J Bone Joint Surg.* 1990;72-A:1562-74.
- Kannus P, Jarvinnen M. Knee flexor and extensor strength ratios in follow up of acute knee distortion injuries. *Arch Phys Med Rehabil.* 1990;71:38-41.
- Nosse L. Assessment of selected reports on the strength relationship of the knee musculature. *J Orthop Sport Phys Ther.* 1982;4:78-85.
- Aagaard P, Simonsen EB, Trolle M, Bangsbo J, Klausen K. Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode. *Acta Physiol Scand.* 1995;154:421-7.
- Lloyd D, Buchanan T, Besier T. Neuromuscular biomechanical modelling to understand knee ligament loading. *Med Sci Sports Exer.* 2005;37:1939-47.
- Cameron M, Adams R, Maher C. Motor control and strength as predictors of hamstring injury in elite players of Australian football. *Phys Ther Sport.* 2003;4:159-66.
- Heiser TM, Weber J, Sullivan G, Clare P, Jacobs RR. Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players. *Am J Sports Med.* 1984;12:368-70.
- Magalhaes J, Oliveira J, Ascensao A, Soares J. Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2004;44:119-25.
- Olmo J, Lopez-Illescas A, Martin I, Jato S, Rodríguez LP. Knee flexion and extension strength and H/Q/ratio in high level track and field athletes. *Isokinet Exer Sci.* 2006;14:279-89.
- Sugiura Y, Saito T, Sakuraba K, Sakuma K, Suzuki E. Strength deficits identified with concentric action of the hip extensors

- and eccentric action of the hamstrings predispose to hamstring injury in elite sprinters. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2008;38:457-64.
33. Croisier JL, Ganteaume S, Genty M, Binet J, Ferret JM. Incomplete muscle strength recovery in injured professional football players. 11th annual Congress of the European College of Sports Science. Sportverlag Strauss. Cologne. Book of Abstract 361. 2006.
  34. Croisier JL, Roisier JL, Ganteaume S, Ferret JM. Pre-season isokinetic intervention as a preventive strategy for hamstring injury in professional soccer players [abstract]. *Br J Sports Med.* 2005;39:379.
  35. Coombs R, Garbutt G. Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *J Sports Sci Med.* 2002;1:56-62.
  36. Kellis E, Katis A. Quantification of functional knee flexor to extensor moment ratio using isokinetic and electromyography. *J Athle Train.* 2007;42:477-85.
  37. Iga J, George K, Lees A, Reilly T. Reliability of assessing indices of isokinetic leg strength in pubertal soccer players. *Pediatr Exer Sci.* 2006;18:436-45.
  38. Sole G, Hamrén J, Milosavljevic S, Nicholson H, Sullivan J. Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88:626-31.