



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Fiabilitat absoluta dels índexs convencional i funcional i moment màxim de força isocinètica de la flexió i extensió del genoll

Francisco Ayala^{a,*}, Pilar Sainz de Baranda^b, Mark de Ste Croix^c i Lorea Sarobe^c

^a *Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Católica San Antonio de Murcia, Múrcia, Espanya*

^b *Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo, Espanya*

^c *Faculty of Sports, Health and Social Care, University of Gloucestershire, Gloucester, Regne Unit*

Rebut el 24 de juny de 2011, acceptat el 28 de juliol de 2011

PARAULES CLAU

Torque;
Variabilitat intersessió;
Reproductibilitat;
Error de la mesura;
Coeficient de variació

Resum

Introducció: Les proves de valoració de la força isocinètica probablement són les eines d'estimació de la funció muscular més utilitzades en l'àmbit fisicoesportiu. Tanmateix, hi ha una evidència científica limitada que en justifica l'ús com a eines de precisió. Per això, l'objectiu principal d'aquest estudi fou examinar la fiabilitat absoluta dels índexs de força convencional i funcional, així com dels pics o moments de força màxims (PFM), concèntrics i excèntrics, de la flexió i extensió del genoll en adults joves físicament actius.

Material i mètodes: Cinquanta-dos participants completaren 3 sessions d'avaluació dels índexs de força convencional i funcional i PFM concèntrics i excèntrics de la flexió i extensió del genoll, amb un interval de 72-96 h entre sessions consecutives. La fiabilitat absoluta intersessió fou examinada mitjançant el càlcul dels estadístics, canvi en la mitjana entre sessions de valoració expressat en termes percentuals (CM), percentatge de l'error típic (expressat com a coeficient de variació [CV_{ET}] i índex de correlació intra-classe (ICC).

Resultat: Es van trobar valors pobres de fiabilitat absoluta en els índexs convencionals (CM = 0,2-0,4%; CV_{TE} = 16-18%; ICC = 0,6-0,7) i funcional (CM = -2,1-0,2%; CV_{TE} = 18-20%; ICC = 0,3-0,7) del genoll. Igualment, valors moderats de fiabilitat absoluta (CM = -3,0-1,5%; CV_{TE} = 9-16; ICC = 0,7-0,9) foren observats en la variable PFM independentment del moviment articular del genoll (flexió i extensió), tipus d'activació muscular (concèntrica i excèntrica) i velocitat angular (60°/s i 180°/s) emprada.

Conclusions: Una modificació major de ≈12 i ≈17% en els valors inicials de la variable PFM (independentment del tipus de contracció i moviment articular) i índexs isocinètics (convencional i funcional), respectivament, podrien ser considerats com a reals i no

*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: Fayala@pdi.ucam.edu (F. Ayala).

simplement deguts a l'error de la mesura. Aquests valors de fiabilitat absoluta podrien ser el suficientment sensibles com per detectar canvis de gran magnitud, com els succeïts després d'aplicar programes de rehabilitació a persones lesionades.

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

KEYWORDS

Peak torque;
Inter-session
variability;
Reproducibility;
Measurement error;
Coefficient of variation

Absolute reliability of conventional and functional ratios and peak isokinetic torque of knee flexion and extension

Abstract

Introduction: Isokinetic strength tests are probably the most common measurement tools for estimating muscle function in sport setting. However, there is little scientific evidence justifying their use as accurate tools. For that reason, the main purpose of this study was to examine the absolute reliability of isokinetic functional and conventional strength ratios as well as concentric and eccentric isokinetic knee flexion and extension peak torque (PT) of the knee in recreational active young adults.

Material and methods: Fifty two participants performed 3 measurement sessions to record the functional and conventional strength ratios and concentric and eccentric knee flexion and extension PTs with a 72-96 hours rest interval between consecutive sessions. The inter-session absolute reliability was measured through change in the mean between measures (expressed as percentage value [CM]), typical percentage error (% within-subjects variation [CVTE]), and intraclass correlations (ICC).

Results: Poor absolute reliability scores were found for conventional (CM = 0.2%-0.4%; CVTE = 16%-18%; ICC = 0.6-0.7) and functional (CM = -2.1%-0.2%; CVTE = 18%-20%; ICC = 0.3-0.7) knee strength ratios. Likewise, moderate absolute reliability scores were observed for PT values independently of the knee movement (flexion and extension), type of muscle contraction (concentric and eccentric) and angular velocity (60°/s and 180°/s).

Conclusions: An observed change greater than $\approx 12\%$ and $\approx 17\%$ for PT scores (independently of knee movement and muscle contraction) and isokinetic ratios (conventional and functional), respectively, from baseline scores would suggest that a real change in strength balance was likely and not because a measurement error. These absolute reliability scores could be sensitive enough to detect large changes, as showed after completing rehabilitation programs for subjects injured.

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

Introducció

A l'àmbit de la medicina de l'esport, i més concretament, en l'àrea de la rehabilitació físico-esportiva, han estat emprats extensivament diversos índexs de força de l'articulació del genoll per tal de: a) identificar possibles factors de risc de lesió del lligament creuat anterior del genoll (LCA) i/o esquinços de la musculatura isquiosural; b) monitorar l'eficàcia de programes de rehabilitació, i c) determinar si un esportista pot retornar a l'entrenament i/o competició de forma segura després d'haver superat un procés rehabilitador¹⁻⁶.

L'avaluació unilateral de la relació existent entre la força màxima de la musculatura extensora i flexora de l'articulació del genoll ha estat tradicionalment determinada a través de 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 de la musculatura extensora del genoll mesurat durant contraccions concèntriques (FR/ER_{CON}). Un índex convencional de força unilateral FR/ER_{CON} menor de 0,50-0,60 ha estat associat amb un increment significatiu (de fins a 17 vegades) de la probabilitat de patir lesions de l'LCA i esquinços de la musculatura isquiosural^{5,7-10}. Tanmateix, determinats autors han qüestionat la importància de l'ús d'aquest índex de força convencional en l'àmbit físicoesportiu, tot argumentant que grups musculars que realitzen accions oposades (flexió vs. extensió) no actuen simultàniament de forma concèntrica^{1,11,12}. Per tant, podria ser més funcional considerar l'índex entre el PFM excèntric de la flexió de genoll i el PFM concèntric de l'extensió de genoll (FR_{EXC}/ER_{CON})¹². Aquest índex de força isocinètica, inicialment descrit per Aagaard et al.¹¹, rep el nom d'«índex funcional o dinàmic». L'índex de força funcional podria reflectir amb major precisió els patrons de moviment presents durant la majoria de les accions físicoesportives, en què la musculatura flexora

del genoll actua com a sinergista i element protector de l'LCA mitjançant una contracció excèntrica per contraestimar 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 cursa i salt i de les accions de colpejar la pilota¹². Aquesta acció de co-contracció de la musculatura flexora i extensora del genoll és cabdal per a l'estabilització dinàmica, i minimitza la magnitud dels moviments (var i valg de genoll, hiperextensió de genoll) que podrien incrementar les tensions de cisalla i tracció que ha de suportar l'LCA i la musculatura isquiosural¹³. Un índex funcional inferior a 0,80-1,00 ha estat proposat com un indicador de desequilibri de forces en l'articulació del genoll^{11,12,14}. Així, l'exploració d'ambdós índexs de força isocinètica (convencional i dinàmic), unida a l'estudi del PFM concèntric i excèntric de la musculatura flexora i extensora de genoll, podria proporcionar informació útil a clínics i altres professionals de l'àmbit fisioesportiu sobre la funció articular del genoll, el risc de lesió (LCA i musculatura isquiosural) i l'estabilitat dinàmica del genoll^{12,15}.

D'altra banda, actualment sembla que existeix una lleugera evidència científica primària que posa al descobert el notable rol de la força de la musculatura flexora del genoll com a factor de risc de lesió, tant de la musculatura isquiosural com de l'LCA. Aquesta afirmació anterior es manifesta especialment rellevant amb les contraccions excèntriques i velocitats angulars baixes^{1,8,9}. Precisament, Croisier et al.¹ van veure que els esportistes amb lesions de la musculatura isquiosural presentaven un dèficit de força isocinètica de la musculatura flexora del genoll, tant en contraccions concèntriques com excèntriques. Això no obstant, aquests autors informaren que la magnitud de la pèrdua de força de la musculatura flexora del genoll era significativament major durant la contracció excèntrica (22 i 24% en la velocitat 30 i 120°/s, respectivament) en comparació amb la contracció concèntrica (11 i 10% en la velocitat 60 i 240°/s, respectivament).

L'avaluació de la fiabilitat absoluta (definida com l'estabilitat de la mesura al llarg del temps) dels índexs isocinètics convencional i funcional, així com de les variables PFM concèntric i excèntric, ha de ser determinada abans de poder ser utilitzats legítimament en l'àmbit científic i clínic. En aquest sentit, el coneixement de la fiabilitat absoluta de les variables PFM i índexs convencional i funcional és una informació molt important per a clínics i especialistes de l'àmbit fisioesportiu, ja que pot ser emprada per determinar-ne la sensibilitat i estimar la magnitud necessària en la variació dels seus nivells inicials, cosa que podria ser considerada com un «canvi real» més enllà de l'error de la mesura (degut a la variació tècnica i biològica). A nivell pràctic, l'anàlisi de la fiabilitat absoluta permet valorar l'«eficàcia real» de programes d'intervenció sobre els paràmetres moment de força màxima i índexs convencional i funcional de pacients i esportistes, així com una millor interpretació dels resultats obtinguts en estudis previs en què s'empren els paràmetres esmentats. Igualment, un altre ús important de la fiabilitat absoluta és la possibilitat de comparació entre diferents proves diagnòstiques, i fins i tot que clínics i investigadors puguin emprar aquesta informació per determinar la grandària de la mostra dels seus estudis¹⁶⁻¹⁸.

Tanmateix, malgrat que l'ús extensiu que actualment es fa d'aquestes variables PFM i índexs de força dels moviments de flexió i extensió de l'articulació del genoll com a elements d'identificació i predicció de possibles lesions de l'LCA i de la musculatura isquiosural^{1-3,8,10,14,19-21}, sorprenentment pocs estudis han determinat la fiabilitat absoluta de la variable PFM en la modalitat excèntrica²²⁻²⁶ i únicament 2 estudis científics han avaluat la fiabilitat absoluta dels índexs convencional i funcional^{24,26} en esportistes adults. Per això, sembla clara la necessitat d'estudis científics que emprenguin amb urgència l'anàlisi de la fiabilitat absoluta dels índexs de força convencional i funcional.

Per tant, l'objectiu principal d'aquest estudi fou examinar la fiabilitat absoluta dels índexs de força convencional i funcional, així com dels PFM concèntrics i excèntrics de la flexió i extensió de genoll en adults joves actius físicament. La hipòtesi inicial fou que els índexs de força convencional i funcional i els moments de força màxima de l'articulació del genoll presenten límits de reproductibilitat acceptables des del punt de vista clínic.

Mètode

Participants

Hopkins¹⁷ i posteriorment Atkinson i Nevill²⁷ han establert que la grandària de la mostra en estudis de reproductibilitat hauria de ser al menys de 20 participants, tot i que aconsellen que la població objecte d'estudi sigui de 50 participants. Tenint en compte la informació anterior, el present estudi reclutà inicialment un total de 70 voluntaris (35 homes i 35 dones) adults joves físicament actius (1-5 h de pràctica d'activitat fisioesportiva d'intensitat moderada, un total de 3-5 dies a la setmana). Dita xifra fou seleccionada per assegurar que un nombre suficientment ampli de participants ($n > 50$) completés amb èxit tota la fase de recollida de dades. Tots els participants foren invitats a mantenir els seus nivells regulars de pràctica d'activitat fisioesportiva durant tot el procés exploratori, tot i que s'instà evitar les pràctiques vigoroses durant les 48 h prèvies a cada sessió d'avaluació.

Com a criteris d'exclusió s'establiren: a) presentar alteracions musculoesquelètiques, tals com esquinços de la musculatura isquiosural i del quàdriceps, fractures, cirurgies i/o dolor a la columna vertebral en els últims 6 mesos previs al present procediment exploratori; b) tenir experiència prèvia en l'aplicació de proves de valoració isocinètica, i c) no assistir a una o més sessions de valoració durant tot el procés de recollida de dades. Així mateix, s'establí un criteri d'exclusió addicional per les participants dones, de tal manera que cap d'elles no podia estar immersa en la fase d'ovulació del període menstrual durant tot el procés de recollida de dades, amb el propòsit de minimitzar les fluctuacions de la rigidesa de la unitat múscul-tendó i la laxitud de l'articulació del genoll^{28,29}. Tots els criteris d'inclusió i exclusió foren avaluats per 2 investigadors de dilatada experiència en l'àmbit científic i clínic, i empraren amb aquesta finalitat un qüestionari d'avaluació mèdica i fisioesportiva.

Finalment, un total de 27 homes (edat = $21,4 \pm 2,5$ anys; altura = $176,3 \pm 8,3$ cm; pes = $74,7 \pm 10,5$ kg) i 25 dones

(edat = $20,4 \pm 1,8$ anys; altura = $164,7 \pm 7,6$ cm; pes = $62,9 \pm 8,6$ kg) adults joves físicament actius completeran l'estudi, de tal manera que 18 participants (8 homes i 10 dones) foren eliminats degut a l'estricta aplicació dels criteris d'exclusió. Tots els participants foren verbalment informats de la metodologia a utilitzar, així com dels propòsits i possibles riscos de l'estudi, i tots firmaren el consentiment informat. L'estudi present fou aprovat pel Comitè Ètic i Científic de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (Espanya).

Instrument d'avaluació

S'emprà un dinamòmetre isocinètic Biodex System-3 (Biodex Corp., Shirley, NY, EUA) i el corresponent programari per determinar els PFM concèntrics i excèntrics durant els moviments de màxima flexió i extensió del genoll. Abans de començar cada sessió d'avaluació el dispositiu isocinètic fou calibrat rigorosament segons les instruccions d'ús establertes per la casa comercial. La reproductibilitat del sistema de registre de dades del dinamòmetre isocinètic ha estat avaluada per estudis previs independents, i han informat de valors de 0,99 de l'índex de correlació intraclassa (ICC) en les funcions de posició, velocitat i mesura de la força del braç articular³⁰.

Procediment exploratori

Una setmana abans de començar la fase experimental, tots els participants foren sotmesos a una sessió de familiarització amb el propòsit de conèixer correctament l'execució tècnica del procediment exploratori que s'havia d'utilitzar, mitjançant la realització pràctica de nombrosos intents màxims i submàxims d'accions de flexió i extensió de genoll emprant diferents velocitats i contraccions musculars (concèntrica i excèntrica). Igualment, un altre propòsit d'aquesta sessió de familiarització fou la reducció del possible biaix d'aprenentatge en els resultats obtinguts al llarg de tot el procés de recollida de dades. Després de la sessió de familiarització, cada participant fou examinat un total de 3 sessions, amb un interval de temps de 72-96 h entre sessions consecutives²⁴. Cadascuna de les sessions de valoració fou duta a terme pels mateixos 2 clínics experimentats (l'un controlava la posició correcta del participant durant tot el procés exploratori i l'altre conduïa el test) en les mateixes condicions ambientals i franja horària per tractar de minimitzar la possible influència de la variabilitat interexaminador i dels ritmes circadianis sobre els resultats¹⁶. A més, els participants van ser instats a realitzar cadascuna de les sessions de valoració durant els mateixos dies i franja horària que normalment realitzaven les sessions de pràctica fisicoesportiva per minimitzar la variabilitat intrasubjecte²⁶.

En cada sessió de valoració, únicament s'avaluà la cama dominant (determinada a través del qüestionari d'avaluació mèdica i fisicoesportiva i definida com la cama preferida per colpejar una pilota)^{22,25,31}. Tots els participants adoptaren com a posició de valoració la de decúbit pron sobre la llitera del dinamòmetre amb el maluc fixat a 0° de flexió i el cap en posició neutra (fig. 1). L'eix de rotació del braç telescòpic del dinamòmetre fou estrictament alineat



Figura 1 Posició de valoració en decúbit pron.

amb l'epicòndil lateral del genoll avaluat. L'implement on calia fer la força fou col·locat aproximadament a 3 cm del caire superior del mal·lèol medial del turmell en posició relaxada. La pelvis, la part posterior de la cuixa (pròxima al genoll) i el peu van ser encercolats fortament i consistentment per focalitzar el moviment únicament en la flexió i l'extensió del genoll. El rang de moviment del procés de valoració fou individualment establert entre 0° (referència anatòmica 0) i 90° de flexió de genoll actiu. Tota la configuració del procés de valoració —inclosa l'alçada i la longitud de la llitera, l'alçada i la longitud del braç telescòpic del dinamòmetre i la separació entre la llitera i el braç telescòpic— fou individualment registrada per cada participant durant la sessió de familiarització amb el propòsit de mantenir la mateixa disposició durant totes les sessions de valoració³². Així mateix, la configuració del fre del moviment del braç telescòpic al final del rang del moviment fou prefixada en els valors més baixos (categoritzada com a «dura») per reduir l'efecte de la desacceleració de la cama durant els moviments articulars oposats³³.

Abans de cada sessió de valoració, tots els participants realitzaren una sèrie d'exercicis estandarditzats d'estiraments actius (fig. 2) del membre inferior (dret i esquerre) i dues contraccions submàximes concèntriques ($60^\circ/s$) i excèntriques ($-60^\circ/s$) de la flexió i extensió del genoll. La seqüència estandarditzada d'estiraments consistí en 5 exercicis unilaterals diferents destinats a estirar els grups musculars més importants del membre inferior (gluti, psoes, quàdriceps, isquiosurals i adductors). En cada exercici, la posició d'estirament s'aconseguí gràcies a l'activació isomètrica de la musculatura agonista al moviment, cosa que permet una millora de la coordinació muscular agonista-antagonista (tècnica activa)^{34,35}. Cada exercici d'estirament fou realitzat 2 vegades, i es mantingué la posició d'estirament durant 30 s (2×30 s), amb un període de descans entre sèries, cama contralateral i/o exercici de 20 s. El volum d'estirament actiu 2×30 s fou realitzat perquè: a) probablement és la durada de l'estirament més emprada per esportistes i persones físicament actives durant l'escalfament previ a una sessió d'entrenament i/o competició³⁶, i b) produeix un augment temporal de la longitud del múscul com a conseqüència d'un reflex d'inhibició recíproca^{35,37}, i s'ha demostrat que no altera el sistema



Figura 1 Exercicis d'estiraments estàtics actius (d'esquerre a dreta: quàdriceps, psoes, adductors, isquiosurals i gluti). La posició d'estirament es manté gràcies a la contracció isomètrica de la musculatura agonista al moviment.

de producció de força i potència muscular^{38,39}. L'objectiu principal d'aquest procés d'escalfament fou minimitzar la variabilitat i l'error típic de la mesura mitjançant la reducció de l'efecte que la diferent temperatura muscular posseeix sobre les propietats viscoelàstiques del teixit tou⁴⁰.

L'avaluació de la màxima força isocinètica de la flexió i extensió del genoll fou dividida en 2 parts. La primera part del procés exploratori fou destinada a l'avaluació simultània i recíproca de la màxima força isocinètica de la flexió i extensió del genoll mitjançant els cicles de moviment concèntrics/concèntrics (CON/CON). La segona part de l'exploració estigué destinada a l'avaluació simultània i recíproca de la màxima força de la flexió i extensió del genoll mitjançant cicles excèntrics/excèntrics (EXC/EXC). En ambdues parts del procés exploratori es realitzaren 2 cicles de flexió i extensió del genoll en cadascuna de les 2 diferents velocitats angulars, 60 i 180°/s, de tal forma que sempre s'avaluà en primer lloc la velocitat més lenta (60°/s). Entre cicles de moviments consecutius es permeté un descans de 30 s, i s'establí, en canvi, un període de descans de 5 min entre ambdues parts del procés exploratori. En el procés exploratori els participants foren verbalment animats a empenyer/resistir el més fort i ràpid possible el braç telescòpic al llarg de tot el rang del moviment amb paraules clau estandarditzades, tals como «resisteix», «empeny», «més ràpid»...

Variabls isocinètiques

En cada una de les parts del procés exploratori, en l'anàlisi estadística se seleccionà el cicle de moviment amb la magnitud major de la variable PFM en cada una de les dues velocitats angulars (60 i 180°/s) durant la fase de velocitat constant (*load phase*) del moviment⁴¹. Aquests mateixos valors de les variables PFM (concèntric i excèntric) foren emprats per calcular els índexs isocinètics convencional i funcional. Per tant, en cada una de les velocitats angulars seleccionades, l'índex convencional fou calculat com a PFM concèntric de la flexió del genoll dividit entre el PFM concèntric de l'extensió del genoll (FR/ER_{CON60} i FR/ER_{CON180}). Per altra banda, l'índex de força funcional fou calculat com el PFM excèntric de la flexió del genoll dividit entre el PFM concèntric de l'extensió del genoll (FR_{EXC60}/ER_{CON60} i FR_{EXC180}/ER_{CON180}).

Anàlisi estadística

Abans de l'anàlisi estadística, la distribució normal de les dades fou comprovada mitjançant la prova Kolmogorov-

Smirnov. Es dugué a terme una estadística descriptiva de totes les variables i índexs isocinètics mitjançant el càlcul de la mitjana i la desviació típica corresponent.

La reproductibilitat de cada una de les variables i índexs isocinètics es determinà mitjançant el càlcul dels estadístics, canvi en la mitjana entre sessions de valoració expressat en termes percentuals (CM), percentatge de l'error típic (expressat com a coeficient de variació [CV_{ET}]) i a través de l'ICC i s'emprà el mètode prèviament descrit per Hopkins¹⁷ i Hopkins et al.¹⁸. Així, la reproductibilitat de cada variable i índex es calculà emprant el valor mitjà dels valors de reproductibilitat de cada una de les sessions aparellades consecutives (2-1, 3-2, 4-3) en cada una de les proves de valoració¹⁷.

S'utilitzà un model lineal de mesures repetides per identificar els canvis significatius (*systematic bias*) dels valors mitjans i la desviació típica de la diferència entre les sessions de valoració aparellades consecutives en cada una de les variables i índexs de força isocinètics avaluats (Bonferroni post hoc test).

El CM es calculà mitjançant el model lineal de mesures repetides com a diferència de mitjanes entre sessions consecutives, i es prengué el logaritme dels valors aconseguits pels participants.

El CV_{TE} es calculà mitjançant l'ús de logaritmes i s'emprà l'equació següent:

$$100(e^s - 1)$$

En aquesta equació, s representa l'error típic (desviació estàndard de la diferència entre sessions de valoració consecutives/ $\sqrt{2}$). La transformació de les dades en logaritmes es realitzà com a mitjà per minimitzar de manera reeixida la possible presència d'heterocedasticitat entre ells^{16,17}. S'ha considerat, arbitràriament, per interpretar els resultats obtinguts mitjançant el càlcul del CV_{TE} que una variabilitat menor del 15% en una eina de mesura es pot considerar com a «acceptable» per la literatura científica^{16,17,42,43}.

D'altra banda, l'ICC de la mostra fou calculat seguint la fórmula:

$$\frac{(F - 1)}{F + k - 1}$$

En aquesta fórmula, F és l' F -ràtio dels subjectes i k (3) és el nombre total de les sessions de valoració^{18,44}. Hopkins

et al.¹⁸ categoritzen a través d'una escala qualitativa la magnitud dels valors obtinguts en l'estadístic ICC, de manera que valors pròxims a 0,1 es consideren baixos, 0,3 moderats, 0,5 alts, 0,7 molt alts i els propers a 0,9 extremadament alts.

L'anàlisi estadística fou realitzada amb el paquet estadístic SPSS (Statistical Package for Social Sciences, v. 16.0 per a Windows; SPSS Inc., Chicago) i el programa Microsoft Excel 2003.

Resultats

La taula 1 presenta l'estadística descriptiva (resultat mitjà de cada sessió de valoració [$k = 3$] \pm desviació estàndard) i els estadístics de fiabilitat absoluta (mitjana i interval de confiança del 90%) de la mostra d'estudi de les variables índex convencional i funcional. No es van trobar diferències significatives en els resultats obtinguts de les sessions aparellades consecutives ($p > 0,05$). Els índexs convencional i funcional obtingueren valors de CV_{TE} entre 16 i 20%, mentre que en l'estadístic ICC es van trobar valors entre 0,3 i 0,7.

D'altra banda, la taula 2 mostra l'estadística descriptiva i els estadístics de la fiabilitat absoluta de les variables PFM. La prova estadística Bonferroni post hoc no informà de *systematic bias* ($p > 0,05$) entre sessions aparellades consecutives en cada una de les variables PFM analitzades. De forma generalitzada, les variables PFM presenten valors de CV_{TE} inferiors al 15% (excepte en la PFM de l'ER) així com valors d'ICC superiors a 0,7. Els millors valors de fiabilitat absoluta foren trobats durant el moviment de flexió de genoll excèntric, mesurat tant a velocitat lenta ($CV_{TE} = 8,9$; ICC = 0,9) com ràpida ($CV_{TE} = 12,42$; ICC = 0,8).

Discussió

L'objectiu principal d'aquest estudi científic fou determinar la fiabilitat absoluta dels índexs de força convencional i funcional, així com de les variables PFM concèntric i excèntric de la flexió i extensió del genoll en adults joves físicament actius degut a què, actualment, hi ha una evidència científica incipient que proposa l'avaluació i el posterior ús de dites variables com a elements per identificar esportistes amb risc elevat de patir lesions del membre inferior^{1,8,9,45,46}.

Per determinar la fiabilitat absoluta dels índexs de força convencional i funcional i les variables PFM, aquest estudi utilitzà els estadístics CM, CV_{TE} i ICC, i els seus respectius intervals de confiança del 90%. Aquests estadístics foren escollits en base a la proposta d'anàlisi dels estudis de reproductibilitat establerta recentment per Hopkins et al.¹⁸.

En aquest sentit, l'estadístic CM simplement reflecteix el canvi en el valor mitjà de cada variable entre sessions d'avaluació¹⁷. Aquest estadístic és especialment important quan un grup de voluntaris duen a terme una sèrie de sessions de valoració com a part del procés de control de l'eficàcia d'un programa d'intervenció, ja que expressa la tendència general de la mesura a ser diferent en una direc-

Taula 1 Estadístics de la fiabilitat absoluta dels índexs de força convencional i funcional

	Mitjana i desviació estàndard			Mitjana i IC 90%	
	Sessió 1	Sessió 2	Sessió 3	CM	CV_{TE} ICC
Índex convencional					
FR/ER _{CON-60°/s}	0,64 \pm 0,13	0,62 \pm 0,14	0,62 \pm 0,17	0,18 (-0,3-6,4)	18,5 (15,7-22,6)
FR/ER _{CON-180°/s}	0,77 \pm 0,23	0,73 \pm 0,18	0,76 \pm 0,22	0,44 (-5,8-6,7)	16,3 (13,8-20,2)
Índex funcional					
FR _{EXC} /ER _{CON-60°/s}	0,70 \pm 0,16	0,70 \pm 0,18	0,71 \pm 0,25	-0,5 (-0,8-6,9)	20,2 (17,1-24,8)
FR _{EXC} /ER _{CON-180°/s}	0,91 \pm 0,29	0,88 \pm 0,23	0,91 \pm 0,28	-0,2 (-7,6-7,2)	18,8 (15,8-23,5)

CM: canvi de la mitjana; CV_{TE} : coeficient de variació en funció de l'error típic de la mesura; ICC: índex de correlació intraclasse; CON: concèntric; EXC: excèntric; ° : graus; s: segons; IC: interval de confiança.

Taula 2 Estadístics de la fiabilitat absoluta de la variable pic de força màxima

	Mitjana i desviació estàndard			Mitjana i IC 90%		
	Sessió 1	Sessió 2	Sessió 3	CM	CV _{TE}	ICC
Extensió del genoll						
PFM _{CON} 60° s ⁻¹	70,36 ± 24,48	70,91 ± 23,81	71,03 ± 23,68	-0,33 (-5,-6,28)	13,33 (10,88-16,98)	0,78 (0,-0,86)
PFM _{CON} 180° s ⁻¹	65,56 ± 22,60	64,76 ± 21,97	65,61 ± 22,02	0,28 (-5,50-6,07)	12,31 (9,94-15,89)	0,81 (0,69-0,88)
PFM _{EXC} -60° s ⁻¹	160,09 ± 67,73	161,01 ± 88,62	155,62 ± 74,37	-2,99 (-12,93-6,95)	16,09 (13,22-20,32)	0,81 (0,69-0,88)
PFM _{EXC} -180° s ⁻¹	150,18 ± 46,85	149,94 ± 59,30	155,25 ± 55,71	1,11 (-6,01-8,32)	15,56 (12,59-19,99)	0,71 (0,55-0,81)
Flexió del genoll						
PFM _{CON} 60° s ⁻¹	70,36 ± 24,48	70,91 ± 23,81	71,03 ± 23,68	-0,33 (-5,-6,28)	13,33 (10,88-16,98)	0,78 (0,65-0,86)
PFM _{CON} 180° s ⁻¹	65,56 ± 22,60	64,76 ± 21,97	65,61 ± 22,02	0,28 (-5,50-6,07)	12,31 (9,94-15,89)	0,81 (0,69-0,88)
PFM _{EXC} -60° s ⁻¹	77,11 ± 28,77	80,86 ± 27,87	79,93 ± 29,62	1,50 (-2,80-5,81)	8,99 (7,-11,64)	0,90 (0,84-0,94)
PFM _{EXC} -180° s ⁻¹	77,94 ± 27,96	77,65 ± 23,95	76,56 ± 24,84	-0,70 (-6,-4,98)	12,42 (10,-15,91)	0,79 (0,68-0,87)

CM: canvi de la mitjana; CV_{TE}: coeficient de variació en funció de l'error típic de la mesura; ICC: índex de correlació intraclasse; PFM: pic de força màxima o peak torque; CON: concèntric; EXC: excèntric; °: graus; s: segons; IC: interval de confiança.

ció en particular (positiva o negativa) entre sessions de valoració^{17,18}. És important utilitzar sessions de familiarització i procediments exploratoris senzills que minimitzin la possible influència del biaix d'aprenentatge sobre la magnitud dels resultats obtinguts en una prova de valoració, cosa que pot influir en l'estadístic CM⁴⁷.

Quan es vulgui realitzar una interpretació dels canvis produïts en una variable després d'un programa d'intervenció en un grup de persones, clínics i professionals, del camp de les ciències de l'esport han de decidir si els canvis esmentats són reals o si únicament reflecteixen la magnitud de l'error de la mesura utilitzada. En aquest sentit, si un canvi dels valors inicials d'una variable d'un grup de persones presenta una magnitud inferior al CV_{TE} de la mesura, és molt probable (68% de certesa) que dit canvi reflecteixi l'error de la mesura i, per tant, no sigui clínicament rellevant¹⁷. Igualment, Hopkins¹⁷ suggereix que un lliandar entorn a 1,5-2 vegades la magnitud de l'error típic podria també ser apropiat, en aquest cas per indicar si s'ha produït un canvi real en els nivells previs individuals d'una persona (80-90% de probabilitat).

Finalment, l'estadístic ICC reflecteix el grau de proximitat o correlació existent entre els valors obtinguts en diferents moments després d'aplicar la mateixa prova de valoració. L'estadístic ICC comparteix amb l'estadístic CV_{TE} l'avantatge de ser adimensional, i per tant permet la comparació amb altres estudis de fiabilitat que usin diferents procediments exploratoris, eines d'avaluació i poblacions objecte d'estudi¹⁷.

Els resultats d'aquest estudi sobre la fiabilitat absoluta dels índexs de força convencional i funcional informen de valors elevats de variabilitat intersessió, amb magnituds del CV_{TE} al voltant del 16-18% i del 18-20% dels índexs convencional i funcional, respectivament. Resultats similars de fiabilitat absoluta dels índexs convencional i funcional han estat localitzats en estudis previs que empraven com a objecte d'estudi poblacions similars (adults joves físicament actius), tot i que durant el procés d'avaluació han estat utilitzats diferents estadístics de fiabilitat absoluta (estàndard error de la mesura i 95% *limits of agreement* [95% LoA]) i posició dels subjectes (sedestació)^{24,26}. Sole et al.²⁶ van establir que una diferència del 28 i del 30% dels índexs convencional i funcional, respectivament, hauria de ser necessària per tal que, amb una probabilitat del 95%, es pogués assegurar que dit canvi és real en una persona adulta activa físicament. Hopkins¹⁷ considera que quan la població objecte d'estudi és esportista, tal vegada fora més apropiat emprar el criteri d'1,5 vegades el CV_{TE} per considerar si un canvi és real en un membre aïllat de la població, mentre que en esportistes d'alt nivell el sol ús del CV_{TE} podria ser apropiat. Per això, els alts valors de variabilitat proposats per Sole et al.²⁶ per ambdós índexs de força isocinètics (emprant l'estadístic 95% LoA) són molt propers als trobats en el nostre estudi si empram el criteri d'1,5 vegades el CV_{TE} (FR/ER_{CON} = 24% [60°/s] i 27% [180°/s]; FR_{EXC}/ER_{CON} = 27% [60°/s] i 30% [180°/s]), tot i que l'enfocament estadístic i la posició d'avaluació sigui diferent. Contràriament, Impellizzeri et al.²⁴ van trobar valors de variabilitat intersessió molt més baixos en la ràtio de força convencional i funcional mesurats a una velocitat angular de 60°/s i emprant com a indicador de fiabilitat absoluta el 95% LoA,

descriu per Atkinson i Nevill¹⁶ (≈ 2 vegades CV_{TE}). Aquests autors informen d'un valor de l'estadístic 95% LoA del 15 i del 17% dels índexs convencional i funcional, respectivament. Això no obstant, aquest estudi informa de la presència d'un biaix d'aprenentatge important, de manera que els valors dels índexs isocinètics de la primera sessió d'avaluació foren significativament menors que els obtinguts en la segona i tercera sessió, la qual cosa podria qüestionar els resultats obtinguts.

D'altra banda, els resultats d'aquest estudi informen que la variable PFM presentà una moderada fiabilitat absoluta ($CV_{TE} \leq 15\%$; $ICC > 0,7$) després de 3 sessions d'avaluació (amb un interval de 72-96 h entre sessions consecutives), independentment del moviment articular del genoll (flexió i extensió), del tipus d'activació muscular (concèntrica i excèntrica) i de la velocitat angular (60 i 180°/s) emprada. Estudis previs han informat de valors de fiabilitat absoluta de la variable PFM similars, tot i que lleugerament superiors, emprant com a mostra objecte d'estudi esportistes de lleure²³⁻²⁶ i d'alt nivell²². Per exemple, Impellizzeri et al.²⁴ van trobar una variabilitat intersessió expressada mitjançant l'estadístic estàndard error de la mesura (68% probabilitat) en la variable PFM concèntric de la flexió del genoll (180°/s) del 5,2%, mentre que el nostre estudi obtingué una variació del 12,3% de la mateixa variable. Sole et al.²⁶ informaren d'una magnitud de l'estàndard error de la mesura del 8,2 i del 6,5% del PFM excèntric de la flexió i extensió del genoll a una velocitat angular de 60°/s respectivament, en contraposició al 8,9 i al 16,1% de variabilitat trobada en les mateixes variables del nostre estudi.

Una possible raó que podria explicar els valors menors de variabilitat intersessió localitzats en estudis previs de la variable PFM^{22-26,31,48} en comparació amb els obtinguts en el present estudi científic podria ser atribuïda a l'enfocament estadístic diferent. Molts dels estudis científics que han examinat la variabilitat intersessió de la variable isocinètica PFM han emprat l'estadístic estàndard error de la mesura expressat com a percentatge del valor mitjà de les dades «crues» (*raw data*) (CV_{SEM}) com a indicador de fiabilitat absoluta^{24-26,31}. Tot i que tant el CV_{TE} com el CV_{SEM} presenten un nivell de probabilitat del 68%^{16,17,27}, el present estudi seleccionà el CV_{TE} (calculat a través de l'ús de les dades en forma de logaritmes) com a indicador de la fiabilitat absoluta perquè permet minimitzar enormement el possible biaix que la presència d'heterocedasticitat de les dades podria tenir sobre el grau de variabilitat intersessió de la variable analitzada, en contraposició amb l'estadístic CV_{SEM} calculat amb l'ús dels valors crus de les dades^{17,18}. En mostres heterogènies, com podria ser l'emprada tant en aquest estudi com en molts de previs (adults joves actius físicament), la transformació logarítmica de les dades podria ser molt important degut a l'alta probabilitat que les dades crues siguin heterocedàstiques¹⁷. En un estudi pilot realitzat al nostre laboratori amb 20 persones adultes joves actives físicament i després de realitzar i comparar una simulació d'anàlisi de la fiabilitat absoluta de la variable PFM emprant les dades crues i l'estadístic CV_{SEM} amb una altra simulació emprant les dades en forma logarítmica i l'estadístic CV_{TE} , es detectà que els resultats obtinguts del CV_{SEM} presentaven una magnitud menor en els resultats de variabilitat intersessió, entre el 2 i el 8%, en comparació

amb l'estadístic CV_{TE} (dades no publicades). Un altre aspecte important que cal destacar i, que també podria explicar els pitjors valors de fiabilitat absoluta trobats al nostre estudi, a diferència dels observats en estudis previs, podria radicar en la diferent grandària mostral utilitzada. Molts dels estudis previs utilitzen grandàries mostrals inferiors als 30 participants^{22-26,48}, que dista molt dels 50 que aconsellen Hopkins¹⁷ i Atkinson i Nevill²⁷ per estudis de fiabilitat absoluta, la qual cosa podria esbiaixar-ne els resultats.

Una altra qüestió important que convé subratllar dels resultats obtinguts al present estudi radica en el fet que no es van trobar diferències clínicament rellevants en els resultats de variabilitat intersessió de la variable PFM entre els diferents moviments articulars (flexió i extensió) i modalitat de contracció muscular (concèntrica i excèntrica) en qualsevol de les dues velocitats angulars seleccionades (60 i 180°/s). Aquests resultats són parcialment semblants als trobats per nombrosos estudis previs^{24-26,31}, tot i que no tots²³ observaren que la magnitud de la fiabilitat absoluta de la variable PFM fos clarament superior en funció d'un determinat moviment articular, contracció muscular o velocitat angular en adults joves actius físicament. En aquest sentit, Maffiuletti et al.²⁵ informaren d'una diferència del 0,7% en els resultats de fiabilitat absoluta mesurada a través del CV_{SEM} entre els moviments de flexió i extensió del genoll, la qual cosa s'aproxima a la diferència del 2% trobada al nostre estudi.

Tanmateix, els resultats que manifesten l'absència de diferències clínicament rellevants en els resultats de fiabilitat absoluta entre ambdues modalitats de contracció muscular, excèntrica i concèntrica, contradueixen els resultats obtinguts per determinats estudis previs²²⁻²⁶, que informen consistentment de millors valors de fiabilitat absoluta per la contracció concèntrica en comparació amb la seva oposada excèntrica. Així, Sole et al.²⁶ suggereixen que la diferència de la magnitud de variabilitat intersessió entre modalitats de contracció muscular podria atribuir-se al fet que la contracció excèntrica podria requerir habilitats més precises i un control motor major. Possiblement l'absència de diferències entre modalitats de contracció muscular trobada al nostre estudi podria ser teòricament atribuïda a la posició corporal diferent dels participants durant el procés exploratori. La posició de decúbit pron (0° de flexió de maluc) fou seleccionada en lloc de l'extensivament utilitzada posició d'assegut (80-110° de flexió de maluc) per dues raons principals: a) la col·locació dels participants en decúbit pron reflecteix més exactament la posició corporal en activitats funcionals com la carrera a diferència de la posició d'assegut, i b) la posició pron simula millor la disposició de la corba força-longitud de la musculatura flexora i extensora de genoll present durant l'última fase i l'inici de la fase de contacte de l'habilitat de la carrera a la màxima velocitat^{49,50}. Així, la posició de decúbit pron podria donar una informació més funcional de l'estat de l'estabilitat dinàmica del genoll en utilitzar el moviment que reflecteix el seu principal mecanisme de lesió⁵⁰. Tal vegada el moviment excèntric de flexió i extensió de genoll sigui més fàcil de realitzar quan el participant es col·loca en posició de decúbit pron a diferència de la posició d'assegut, perquè teòricament se simulen accions motores molt interioritzades de la vida quotidiana com la carrera i el salt.

Una de les limitacions potencials d'aquest estudi fou la població utilitzada. Tot i que el disseny contemplava 52 participants i 3 sessions d'avaluació, cosa que respon als requeriments mínims establerts per Hopkins¹⁷ (50 participants i 3 sessions d'avaluació), no foren tots homogenis en edat i nivell de condició física, fet que podria haver limitat lleugerament la validesa externa dels resultats. Una altra possible limitació d'aquest estudi podria ser la fixació de la pelvis durant el procediment exploratori. En aquest sentit, Worrell et al.⁵⁰ informaren que l'adopció de la posició de decúbit pron durant l'avaluació isocinètica podria incrementar la flexió del to del maluc al voltant dels 10-20° quan el participant realitza el moviment de flexió del genoll. Aquesta situació podria invertir-se durant el moviment d'extensió del genoll. Tot i que en aquest estudi es col·locà un cinyell ajustable al voltant de la pelvis, la cuixa i el turmell per focalitzar l'acció en la musculatura desitjada i eliminar moviments pertorbadors de la pelvis, potser aquesta acció no fou el suficientment forta com per eliminar la influència negativa de la flexió-extensió de la pelvis durant els cicles de moviment del genoll sobre l'estabilització de la pelvis. Per això, són necessaris més estudis científics que examinin la fiabilitat absoluta de les diferents variables i índexs isocinètics que utilitzin diferents poblacions objecte d'estudi (persones amb alteracions musculoesquelètiques específiques, esportistes d'alt nivell)⁵¹, sessions múltiples de valoració ($k > 3$), diferents posicions exploratòries (decúbit supí, bipedestació) i eines d'estabilització dels participants avaluats⁵².

La interpretació pràctica de la fiabilitat absoluta d'una mesura és un procés molt complex. L'estudi present decidí com a criteri de fiabilitat absoluta de les variables PFM i índexs isocinètics un valor de CV_{TE} inferior al 15%, el qual ha estat proposat de forma arbitrària per determinats estudis previs. Tanmateix, Atkinson i Nevill¹⁶ consideren que l'acceptabilitat pràctica d'una mesura hauria de ser dependent de l'objectiu clínic que es vol abordar. Per exemple, els valors de CV_{TE} de les variables PFM (8-16%) i índex convencional (16-18%) i funcional (18-20%) obtinguts en aquest estudi podrien ser acceptables per detectar canvis en persones lesionades després de passar per un procés de rehabilitació, però no podrien ser apropiats per detectar canvis reals després d'aplicar programes d'entrenament a persones sanes. Per tant, l'acceptabilitat pràctica de l'error d'una mesura (soroll) hauria de ser sempre interpretada en funció de la magnitud del senyal (canvis produïts com a conseqüència d'un programa d'intervenció), que pot ser modificada en funció de la població objecte d'estudi i de l'eficàcia específica dels tractaments utilitzats.

Conclusions

Els resultats de l'estudi actual informaren que l'índex de força convencional i funcional, així com la variable PFM, mesurats sota contraccions concèntriques i excèntriques de flexió i extensió del genoll a 60 i 180°/s adoptant una posició de decúbit pron, demostraren de forma generalitzada una fiabilitat absoluta moderada ($PFM = CV_{TE} < 15\%$ i $ICC > 0,7$; índexs isocinètics = $CV_{TE} < 20\%$ i $ICC > 0,3$). Aquests valors de fiabilitat absoluta podrien ser el sufi-

cientment sensibles per detectar canvis de gran magnitud, com els que succeïren després d'aplicar programes de rehabilitació en persones lesionades. Així, canvis de to al 12 i 17% dels valors inicials de la variable PFM (independentment del tipus de contracció i moviment articular) i índexs de força isocinètica de l'articulació del genoll (convencional i funcional), respectivament, podrien ser considerats com a reals, i no simplement deguts a l'error de la mesura.

Finançament

Aquest treball és resultat de l'ajut concedit per la Fundación Séneca, en el marc del PCTRM 2007-2010, amb finançament de l'INFO i del FEDER de fins a un 80%.

Conflicte d'interessos

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

Bibliografia

- 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.
- Croisier JL. Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med.* 2004;34:681-95.
- 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.
- Holcomb WR, Rubley MD, Lee HJ, Guadagnoli MA. Effect of hamstring-emphasized resistance training on hamstring: quadriceps strength ratios. *J Strength Cond Res.* 2007;21:41-7.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

12. 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.
13. Lloyd D, Buchanan T, Besier T. Neuromuscular biomechanical modelling to understand knee ligament loading. *Med Sci Sports Exer.* 2005;37:1939-47.
14. 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.
15. Gerodimos V, Mandou V, Zafeiridis A, Ioakimidis 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.
16. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.* 1998;26:217-38.
17. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000;30:1-15.
18. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exer.* 2009;41:3-12.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Dauty M, Rochcongar P. Reproducibility of concentric and eccentric isokinetic strength of the knee flexors in elite volleyball players. *Isokinet Exer Sci.* 2001;9:129-32.
23. Dervisevic E, Hadzic V, Karpljuk D, Radjo I. The influence of different ranges of motion testing on the isokinetic strength of the quadriceps and hamstring. *Isokinet Exerc Sci.* 2006;14:269-78.
24. Impellizzeri FM, Bizzini M, Rampinini E, Cereda F, Maffiuletti NA. Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2008;28:113-9.
25. Maffiuletti NA, Bizzini M, Desbrosses K, Babault N, Munzinger U. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2007;27:346-53.
26. 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.
27. Atkinson G, Nevill AM. Selected issues in the design and analysis of sport performance research. *J Sports Sci.* 2001;19:811-27.
28. Bell DR, Myrick MP, Blackburn JT, Shultz SJ, Guskiewicz KM, Padua DA. The effect of menstrual-cycle phase on hamstring extensibility and muscle stiffness. *J Sport Rehabil.* 2009;18:553-63.
29. Eiling E, Bryant AL, Petersen W, Murphy A, Hohmann E. Effects of menstrual-cycle hormone fluctuations on musculotendinous stiffness and knee joint laxity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15:126-32.
30. Drouin JM, Valovich-mcLeon TC, Shultz SJ, Gansneder BM, Perrin DH. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91:22-9.
31. Lund H, Søndergaard K, Zachariassen T, Christensen R, Bülow P, Henriksen M, et al. Learning effect of isokinetic measurements in healthy subjects, and reliability and comparability of Biodex and Lido dynamometers. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2005;25:75-82.
32. Sauret J, De Ste Croix M, Deighan M, Iga J, James D. Reproducibility of an isokinetic eccentric muscle endurance task. *Eur J Sport Sci.* 2009;9:311-9.
33. Taylor N, Sanders R, Howick E, Stanley S. Static and dynamic assessment of the Biodex dynamometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;62:180-8.
34. White SG, Sahrman SA. A movement system balance approach to management of musculoskeletal pain. En: Grant R, editor. *Physical Therapy of the Cervical and Thoracic Spine.* New York, NY: Churchill Livingstone Inc.; 1994. p. 339-57.
35. Winters MV, Blake CG, Trost JS, Marcello-Binker TB, Lowe L, Garber MB, et al. Passive versus active stretching of hip flexor muscles in subjects with limited hip extension: A randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2004;84:800-7.
36. Young WB, Behm DG. Should static stretching be used during a warm-up for strength and power activities? *Strength Cond J.* 2002;24:33-7.
37. Stiff M, Verkoshansky Y. *Superentrenamiento.* Barcelona: Paidotribo; 2000.
38. Ayala F, Sainz de Baranda P. Efecto agudo del estiramiento sobre el sprint en jugadores de fútbol de división de honor juvenil. *Rev Int Cienc Deporte.* 2010;6:1-12.
39. Sainz de Baranda P, Ayala F. Efecto agudo del estiramiento sobre la agilidad y coordinación de movimientos rápidos en jugadores de fútbol de División de Honor. *Kronos.* 2010;17:20-7.
40. Dixon J, Keating JL. Variability in straight leg raise measurements. *Physiotherapy.* 2000;86:361-70.
41. Brown LE, Whitehurst M, Buchalter DN. Comparison of bilateral isokinetic knee extension/flexion and cycle ergometry tests of power. *J Strength Cond Res.* 1994;83:139-43.
42. Castro-Piñero J, Chillón P, Ortega FB, Montesinos JL, Sjöström M, Ruiz JR. Criterion-related validity of sit-and-reach and modified sit-and-reach test for estimating hamstring flexibility in children and adolescents aged 6-17 years. *Int J Sports Med.* 2009;30:658-62.
43. Stokes M. Reliability and repeatability of methods for measuring muscle in physiotherapy. *Physiother Pract.* 1985;1:71-6.
44. Schabert EJ, Hopkins WG, Hawley JA. Reproducibility of self-paced treadmill performance of trained endurance runners. *Int J Sports Med.* 1998;19:48-51.
45. Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Med Sci Sports Exer.* 2004;36:379-87.
46. Witvrouw E, Mahieu N, Danneels L, McNair P. Stretching and injury prevention, an obscure relationship. *Sports Med.* 2004;34:443-9.
47. 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.
48. McCleary RW, Andersen JC. Test-retest reliability of reciprocal isokinetic knee extension and flexion peak torque measurements. *J Athl Train.* 1992;27:362-5.
49. Worrell TW, Perrin DH, Denegar CR. The influence of hip position on quadriceps and hamstring peak torque and reciprocal muscle group ratio values. *J Orthop Sport Phys Ther.* 1989;11:104-7.
50. Worrell TW, Denegar CR, Armstrong SL, Perrin DH. Effect of body position on hamstring muscle group average torque. *J Orthop Sport Phys Ther.* 1990;11:449-52.
51. Steiner LA, Harris BA, Krebs DE. Reliability of eccentric isokinetic knee flexion and extension measurements. *Arch Phys Med Rehabil.* 1993;74:1327-35.
52. Gleeson NP, Mercer TH. Reproducibility and sensitivity of indices of isokinetic leg strength in male sprinters and distance runners. *J Sports Sci.* 1992;10:594-5.