



ORIGINAL

Fiabilidad absoluta de los índices convencional y funcional y momento máximo de fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla

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

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

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

^c Faculty of Sports, Health and Social Care, University of Gloucestershire, Gloucester, Reino Unido

Recibido el 24 de junio de 2011; aceptado el 28 de julio de 2011

Disponible en Internet el 22 de septiembre de 2011

PALABRAS CLAVE

Torque;
Variabilidad
intersesión;
Reproducibilidad;
Error de la medida;
Coeficiente
de variación

Resumen

Introducción: Las pruebas de valoración de fuerza isocinética son probablemente las herramientas de estimación de la función muscular más utilizadas en el ámbito físico-deportivo. Sin embargo, existe una limitada evidencia científica que justifique su uso como herramientas de precisión. Por ello, el objetivo principal de este estudio fue examinar la fiabilidad absoluta de los índices de fuerza convencional y funcional, así como de los picos o momentos máximos de fuerza (PFM) concéntricos y excéntricos de la flexión y extensión de rodilla en adultos jóvenes físicamente activos.

Material y métodos: Cincuenta y dos participantes completaron 3 sesiones de evaluación de los índices de fuerza convencional y funcional y PFM concéntricos y excéntricos de la flexión y extensión de rodilla, con un intervalo de 72-96 h entre sesiones consecutivas. La fiabilidad absoluta intersesión fue examinada mediante el cálculo de los estadísticos cambio en la media entre sesiones de valoración expresado en términos porcentuales (CM), porcentaje del error típico (expresado como coeficiente de variación [CV_{ET}]) e índice de correlación intraclase (ICC).

Resultado: Pobres valores de fiabilidad absoluta se encontraron para los índices convencional (CM=0,2-0,4%; CV_{TE}=16-18%; ICC=0,6-0,7) y funcional (CM=-2,1-0,2%; CV_{TE}=18-20%; ICC=0,3-0,7) de la rodilla. Igualmente, moderados valores de fiabilidad absoluta (CM=-3,0-1,5%; CV_{TE}=9-16%; ICC=0,7-0,9) fueron observados para la variable PFM independientemente del movimiento articular de la rodilla (flexión y extensión), tipo de activación muscular (concéntrica y excéntrica) y velocidad angular (60°/s y 180°/s) empleada.

Conclusiones: Una modificación mayor de ≈ 12 y de ≈ 17% en los valores iniciales de la variable PFM (independientemente del tipo de contracción y movimiento articular) e índices isocinéticos (convencional y funcional), respectivamente, podrían ser considerados como reales y no simplemente debidos al error de la medida. Estos valores de fiabilidad absoluta podrían ser lo

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: Fayala@pdi.ucam.edu (F. Ayala).

KEYWORDS

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

suficientemente sensibles como para detectar cambios de gran magnitud, como los acontecidos tras la aplicación de programas de rehabilitación en personas lesionadas.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

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 [CV_{TE}]), and intraclass correlations (ICC).

Results: Poor absolute reliability scores were found for conventional (CM=0.2%-0.4%; CV_{TE} = 16%-18%; ICC = 0.6-0.7) and functional (CM = -2.1%-0.2%; CV_{TE} = 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.

Introducción

En el ámbito de la medicina del deporte, y más concretamente en el área de la rehabilitación físico-deportiva, varios índices de fuerza de la articulación de la rodilla han sido extensivamente empleados para: a) identificar posterior de la rodilla (LCA) y/o desgarrar de la musculatura isquiosural; b) monitorizar la eficacia de programas de rehabilitación, y c) determinar si un deportista puede regresar al entrenamiento y/o competición de forma segura tras haber superado un proceso rehabilitador¹⁻⁶.

La evaluación unilateral de la relación existente entre la máxima fuerza de la musculatura extensora y flexora de la articulación de la rodilla ha sido tradicionalmente determinada a través del empleo de dispositivos isocinéticos y expresada cuantitativamente por medio del llamado «índice de fuerza convencional». Este índice isocinético es calculado como el cociente entre el momento o pico de fuerza máxima (PFM) o *peak torque* isocinético de musculatura flexora y la musculatura extensora de rodilla medido durante contracciones concéntricas (FR/ER_{CON}). Un índice convencional de fuerza unilateral FR/ER_{CON} menor de 0,50-0,60 ha sido asociado con un incremento significativo (de hasta 17 veces)

de la probabilidad de sufrir lesiones del LCA y desgarrar de la musculatura isquiosural^{5,7-10}. Sin embargo, ciertos autores han cuestionado la importancia del empleo de este índice de fuerza convencional en el ámbito físico-deportivo, argumentando que grupos musculares que realizan acciones opuestas (flexión vs. extensión) no actúan simultáneamente de forma concéntrica^{1,11,12}. Por lo tanto, podría ser más funcional considerar el índice entre el PFM excéntrico de la flexión de rodilla y el PFM concéntrico de la extensión de rodilla (FR_{EXC}/ER_{CON})¹². Este índice de fuerza isocinética, inicialmente descrito por Aagaard et al.¹¹, recibe el nombre de «índice funcional o dinámico». El índice de fuerza funcional podría reflejar con mayor precisión los patrones de movimiento presentes durante la mayoría de las acciones físico-deportivas, donde la musculatura flexora de rodilla actúa como sinérgica y elemento protector del LCA mediante su contracción excéntrica para contrarrestar las fuerzas de traslación anterior y de la tibia producidas como consecuencia de la rápida y potente contracción concéntrica de la musculatura extensora de rodilla durante, por ejemplo, los movimientos de carrera y salto y las acciones de golpeo de balón¹². Esta acción de co-contracción de la musculatura flexora y extensora de rodilla es crucial para su estabilización dinámica, minimizando la magnitud

de los movimientos (varo y valgo de rodilla, hiperextensión de rodilla) que podrían incrementar las tensiones de cizalla y tracción a soportar por el LCA y la musculatura isquiosural¹³. Un índice funcional inferior a 0,80-1,00 ha sido propuesto como un indicador de desequilibrio de fuerzas en la articulación de la rodilla^{11,12,14}. Así, la exploración de ambos índices de fuerza isocinética (convencional y dinámico), unido al estudio del PFM concéntrico y excéntrico de la musculatura flexora y extensora de rodilla, podría proporcionar información útil a clínicos y demás profesionales del ámbito físico-deportivo sobre la función articular de la rodilla, el riesgo de lesión (LCA y musculatura isquiosural) y la estabilidad dinámica de la rodilla^{12,15}.

Por otro lado, en la actualidad parece existir una ligera evidencia científica primaria que pone al descubierto el notable rol de la fuerza de la musculatura flexora de rodilla como factor de riesgo de lesión, tanto de la musculatura isquiosural como del LCA. Esta afirmación anterior se descubre especialmente relevante bajo contracciones excéntricas y velocidades angulares bajas^{1,8,9}. Precisamente, Croisier et al.¹ encontraron que los deportistas con lesiones de la musculatura isquiosural presentaban un déficit de fuerza isocinética de la musculatura flexora de rodilla, tanto bajo contracciones concéntricas como excéntricas. Sin embargo, estos autores concluyeron que la magnitud de la pérdida de fuerza de la musculatura flexora de rodilla era significativamente mayor durante la contracción excéntrica (22 y 24% para la velocidad 30 y 120°/s, respectivamente) en comparación con la contracción concéntrica (11 y 10% para la velocidad 60 y 240°/s, respectivamente).

La evaluación de la fiabilidad absoluta (definida como la estabilidad de la medida a lo largo del tiempo) de los índices isocinéticos convencional y funcional, así como de las variables PFM concéntrico y excéntrico, debe ser determinada antes de que puedan ser utilizados legítimamente en el ámbito científico y clínico. En este sentido, el conocimiento de la fiabilidad absoluta de las variables PFM e índices convencional y funcional es una información muy importante para clínicos y especialistas del ámbito físico-deportivo, ya que puede ser empleada para determinar su sensibilidad y estimar la magnitud necesaria en la variación de sus niveles iniciales, lo que podría ser considerada como un «cambio real» más allá del error de la medida (debido a variación técnica y biológica). A nivel práctico, el análisis de la fiabilidad absoluta permite valorar la «eficacia real» de programas de intervención sobre los parámetros momento de fuerza máxima e índices convencional y funcional de pacientes y deportistas, así como una mejor interpretación de los resultados obtenidos en estudios previos en los que se emplean dichos parámetros. Igualmente, otro uso importante de la fiabilidad absoluta es la posibilidad de comparación entre diferentes pruebas diagnósticas, e incluso clínicos e investigadores pueden emplear esta información para determinar el tamaño muestral de sus estudios¹⁶⁻¹⁸.

Sin embargo, a pesar del extensivo uso que en la actualidad se está haciendo de las variables PFM e índices de fuerza de los movimientos de flexión y extensión de la articulación de la rodilla como elementos de identificación y predicción de posibles lesiones del LCA y de la musculatura isquiosural^{1-3,8,10,14,19-21}, sorprendentemente pocos estudios han determinado la fiabilidad absoluta de la variable PFM en su modalidad excéntrica²²⁻²⁶ y únicamente 2 estudios

científicos han evaluado la fiabilidad absoluta de los índices convencional y funcional^{24,26} en deportistas adultos. Por ello, parece clara la necesidad de estudios científicos que aborden con urgencia el análisis de la fiabilidad absoluta de los índices de fuerza convencional y funcional.

Por tanto, el objetivo principal de este estudio fue examinar la fiabilidad absoluta de los índices de fuerza convencional y funcional, así como de los PFM concéntricos y excéntricos de la flexión y extensión de rodilla en adultos jóvenes físicamente activos. La hipótesis inicial fue que los índices de fuerza convencional y funcional y los momentos de fuerza máxima de la articulación de la rodilla presentan límites de reproducibilidad aceptables desde el punto de vista clínico.

Método

Participantes

Hopkins¹⁷ y posteriormente Atkinson y Nevill²⁷ han establecido que el tamaño muestral para estudios de reproducibilidad debería de ser de al menos 20 participantes, aunque aconsejan 50 participantes de la población objeto de estudio. Teniendo en consideración la información anterior, el presente estudio reclutó inicialmente un total de 70 voluntarios (35 hombres y 35 mujeres) adultos jóvenes físicamente activos (1-5 h de práctica de actividad físico-deportiva de intensidad moderada, un total de 3-5 días a la semana). Dicha cifra fue seleccionada para asegurar que un número lo suficientemente amplio de participantes ($n > 50$) completara con éxito toda la fase de recogida de datos. Todos los participantes fueron invitados a mantener sus niveles regulares de práctica de actividad físico-deportiva durante todo el proceso exploratorio, aunque se instó a evitar las prácticas vigorosas durante las 48 h previas a cada sesión de evaluación.

Como criterios de exclusión se establecieron: a) presentar alteraciones músculo-esqueléticas, tales como desgarros de la musculatura isquiosural y del cuádriceps, fracturas, cirugías y/o dolor en la columna vertebral en los últimos 6 meses previos al presente procedimiento exploratorio; b) tener experiencia previa en la aplicación de pruebas de valoración isocinética, y c) no asistir a una o más sesiones de valoración durante todo el proceso de recogida de datos. Asimismo, se estableció un criterio de exclusión adicional para las participantes mujeres, de tal forma que ninguna de ellas podía estar inmersa en la fase de ovulación de su proceso menstrual durante todo el proceso de recogida de datos, con el propósito de minimizar las fluctuaciones en la rigidez de la unidad músculo-tendón y la laxitud de la articulación de la rodilla^{28,29}. Todos los criterios de inclusión y exclusión fueron evaluados por dos investigadores con dilatada experiencia en el ámbito científico y clínico, empleando para este fin un cuestionario de evaluación médica y físico-deportiva.

Finalmente, un total de 27 hombres (edad = 21,4 ± 2,5 años; altura = 176,3 ± 8,3 cm; peso = 74,7 ± 10,5 kg) y 25 mujeres (edad = 20,4 ± 1,8 años; altura = 164,7 ± 7,6 cm; peso = 62,9 ± 8,6 kg) adultos jóvenes físicamente activos completaron el estudio, de tal forma que 18 participantes

(8 hombres y 10 mujeres) fueron eliminados debido a la estricta aplicación de los criterios de exclusión. Todos los participantes fueron verbalmente informados de la metodología a utilizar, así como de los propósitos y posibles riesgos del estudio, y un consentimiento informado fue firmado por cada uno de ellos. El presente estudio fue aprobado por el Comité Ético y Científico de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (España).

Instrumento de evaluación

Se empleó un dinamómetro isocinético Biodex System-3 (Biodex Corp., Shirley, NY, EE. UU.) y su correspondiente software informático para determinar los PFM concéntricos y excéntricos durante movimientos de máxima flexión y extensión de rodilla. Antes del comienzo de cada sesión de evaluación el sistema de registro de rigurosamente calibrado según las instrucciones de uso fijadas por la casa comercial. La reproducibilidad del sistema de registro de datos del dinamómetro isocinético ha sido evaluada por estudios previos independientes, informando de valores de 0,99 en el índice de correlación intraclase (ICC) para las funciones de posición, velocidad y medición de fuerza del brazo articular³⁰.

Procedimiento exploratorio

Una semana antes del comienzo de la fase experimental, todos los participantes fueron sometidos a una sesión de familiarización con el propósito de conocer la correcta ejecución técnica del procedimiento exploratorio a utilizar mediante la realización práctica de numerosos intentos máximos y submáximos de acciones de flexión y extensión de rodilla empleando diferentes velocidades y contracciones musculares (concéntrica y excéntrica). Igualante, otro propósito de esta sesión de familiarización fue la reducción del posible sesgo de aprendizaje sobre los resultados obtenidos a lo largo de todo el proceso de recogida de datos. Tras la sesión de familiarización, cada participante fue examinado un total de 3 sesiones, con un intervalo de tiempo de 72-96 h entre sesiones consecutivas²⁴. Cada una de las sesiones de valoración fue llevada a cabo por los mismos dos experimentados clínicos (uno controlaba la correcta posición del participante durante todo el proceso exploratorio y el otro conducía el test) bajo las mismas condiciones ambientales y franja horaria para tratar de minimizar la posible influencia de la variabilidad interexaminador y de los ritmos circadianos sobre los resultados¹⁶. Además, los participantes fueron instados a realizar cada una de las sesiones de valoración en los mismos días y franja horaria que normalmente realizaban sus sesiones de práctica físico-deportiva para minimizar la variabilidad intrasujeto²⁶.

En cada sesión de valoración, únicamente se evaluó la pierna dominante (determinada a través del cuestionario de evaluación médica y físico-deportiva y definida como la pierna preferida para golpear un balón)^{22,25,31}. Todos los participantes adoptaron una posición de valoración en la decúbito prono sobre la camilla del dinamómetro con cadera fijada a 0° de flexión y cabeza en posición neutra (fig. 1). El eje de rotación del brazo telescópico del dinamómetro fue estrictamente alineado con el epicóndilo lateral de la



Figura 1 Posición de valoración en decúbito prono.

rodilla evaluada. El implemento donde ejercer la fuerza fue colocado aproximadamente a 3 cm del borde superior del maleolo medial del tobillo en posición relajada. La pelvis, la parte posterior del muslo (próximo a la rodilla) y el pie fueron fuertemente y consistentemente cinchados para focalizar el movimiento únicamente en la flexión y la extensión de rodilla. El rango de movimiento del proceso de valoración fue individualmente establecido entre 0° (referencia anatómica 0) y 90° de flexión de rodilla activa. Toda la configuración del proceso de valoración —incluida la altura y la longitud de la camilla, la altura y la longitud del brazo telescópico del dinamómetro y la separación entre camilla y brazo telescópico— fue individualmente registrada para cada participante durante la sesión de familiarización con el propósito de mantener la misma disposición durante todas las sesiones de valoración³². Asimismo, la configuración del rango de movimiento fue prefijada en sus valores más bajos (categorizada como «dura») para reducir el efecto de la desaceleración de la pierna durante movimientos articulares opuestos³³.

Antes de cada sesión de valoración, todos los participantes realizaron una serie de ejercicios estandarizados de estiramientos activos (fig. 2) del miembro inferior (derecho e izquierdo) y dos contracciones submáximas concéntricas (60°/s) y excéntricas (-60°/s) de la flexión y extensión de rodilla. La secuencia estandarizada de estiramientos consistió en 5 ejercicios unilaterales diferentes destinados a estirar los grupos musculares más importantes del miembro inferior (glúteo, psoas, cuádriceps, isquiosurales y aductores). En cada ejercicio, la posición de estiramiento se consiguió gracias a la activación isométrica de la musculatura agonista al movimiento, lo cual permite una mejora en la coordinación muscular agonista-antagonista (técnica activa)^{34,35}. Cada ejercicio de estiramiento fue realizado 2 veces, manteniendo la posición de estiramiento durante 30 s (2 × 30 s), con un periodo de descanso entre serie, pierna contralateral y/o ejercicio de 20 s. El volumen de estiramiento activo 2 × 30 s fue realizado porque: a) probablemente es la duración del estiramiento más empleada por deportistas y personas físicamente activas durante sus procedimientos de calentamiento previo a una sesión de entrenamiento y/o competición³⁶, y b) produce un aumento temporal de la longitud del músculo como



Figura 2 Ejercicios de estiramientos estáticos activos (de izquierda a derecha: cuádriceps, psoas, aductores, isquiosurales y glúteo). La posición de estiramiento se mantiene gracias a la contracción isométrica de la musculatura agonista al movimiento.

consecuencia de un reflejo de inhibición recíproca^{35,37}, el cual ha demostrado no alterar el sistema de producción de fuerza y potencia muscular^{38,39}. El objetivo principal de este proceso de calentamiento fue minimizar la variabilidad y el error típico de la medida mediante la reducción del efecto que la diferente temperatura muscular posee sobre las propiedades viscoelásticas del tejido blando⁴⁰.

La evaluación de la máxima fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla fue dividida en dos partes. La primera parte del proceso exploratorio fue destinada a la evaluación simultánea y recíproca de la máxima fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla por medio de ciclos de movimiento concéntricos/concéntricos (CON/CON). La segunda parte de la exploración estuvo destinada a la evaluación simultánea y recíproca de la máxima fuerza de la flexión y extensión de rodilla por medio de ciclos excéntricos/excéntricos (EXC/EXC). En ambas partes del proceso exploratorio se realizó un ciclo de flexiones y extensiones de rodilla para cada una de las dos diferentes velocidades angulares, 60 y 180°/s, de tal forma que siempre se evaluó en primer lugar la velocidad más lenta (60°/s). Entre ciclos de movimientos consecutivos se permitió un descanso de 30s, mientras que se estableció un periodo de descanso de 5min entre ambas partes del proceso exploratorio. En el proceso exploratorio los participantes fueron verbalmente animados a empujar/resistir lo más fuerte y rápido posible el brazo telescópico a lo largo de todo el rango de movimiento mediante palabras clave estandarizadas, tales como «resiste», «empuja», «más rápido»...

Variables isocinéticas

En cada una de las partes del proceso exploratorio, para el análisis estadístico se seleccionó el ciclo de movimiento con la mayor magnitud en la variable PFM para cada una de las dos velocidades angulares (60 y 180°/s) durante la fase de velocidad constante (*load phase*) del movimiento⁴¹. Estos mismos valores de las variables PFM (concéntrico y excéntrico) fueron empleados para el cálculo de los índices isocinéticos convencional y funcional. Así, para cada una de las velocidades angulares seleccionadas, el índice de fuerza fue calculado entre el PFM concéntrico de la flexión de rodilla dividido entre el PFM concéntrico de la extensión de rodilla (FR/ER_{CON60} y FR/ER_{CON180}). Por su parte, el índice de fuerza funcional fue calculado como el PFM excéntrico de la flexión de rodilla dividido entre el PFM concéntrico de la extensión de rodilla (FR_{EXC60}/ER_{CON60} y FR_{EXC180}/ER_{CON180}).

Análisis estadístico

Previo a todo análisis estadístico, la distribución normal de los datos fue comprobada mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov. Se llevó a cabo una estadística descriptiva de todas las variables e índices isocinéticos mediante el cálculo de la media y su correspondiente desviación típica.

La reproducibilidad de cada una de las variables e índices isocinéticos se determinó mediante el cálculo de los estadísticos cambio en la media entre sesiones de valoración expresado en términos porcentuales (CM), porcentaje del error típico (expresado como coeficiente de variación [CV_{ET}]) y a través del ICC empleando el método previamente descrito por Hopkins¹⁷ y Hopkins et al.¹⁸. Así, la reproducibilidad para cada variable e índice fue calculada empleando el valor medio de los valores de reproducibilidad de cada una de las sesiones pareadas consecutivas (2-1, 3-2, 4-3) para cada una de las pruebas de valoración¹⁷.

Se empleó un modelo lineal de medidas repetidas para identificar cambios significativos (*systematic bias*) en los valores y la desviación típica de la diferencia entre las sesiones de valoración pareadas consecutivas para cada una de las variables e índices de fuerza isocinéticos evaluados (Bonferroni post hoc test).

El CM se calculó mediante el modelo lineal de medidas repetidas como diferencia de medias entre sesiones consecutivas, tomando el logaritmo de los valores conseguidos por los participantes.

El CV_{TE} se calculó mediante el uso de logaritmos empleando la siguiente ecuación:

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

En esta ecuación, s representa el error típico (desviación estándar de la diferencia entre sesiones de valoración consecutivas/ $\sqrt{2}$). La transformación de los datos en logaritmos se realizó como medio para minimizar de forma exitosa la posible presencia de heterocedasticidad en ellos^{16,17}. Para interpretar los resultados obtenidos mediante el cálculo del CV_{TE} se ha considerado la idea arbitraria de que una variación menor del 15% para una herramienta de medida ha sido considerada como «aceptable» por la literatura científica^{16,17,42,43}.

Por su parte, el ICC de la muestra fue calculado siguiendo la fórmula:

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

En esta fórmula, F es el F-ratio de los sujetos y k (3) es el número total de las sesiones de valoración^{18,44}. Hopkins et al.¹⁸ categorizan a través de una escala cualitativa la magnitud de los valores obtenidos en el estadístico ICC, de tal forma que valores próximos a 0,1 se consideran bajos, 0,3 moderados, 0,5 altos, 0,7 muy altos y los cercanos a 0,9 extremadamente altos.

El análisis estadístico fue realizado mediante el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences, v. 16.0 para Windows; SPSS Inc, Chicago) y el programa Microsoft Excel 2003.

Resultados

La tabla 1 presenta la estadística descriptiva (resultado medio de cada sesión de valoración [$k=3$] \pm desviación estándar) y los estadísticos para la fiabilidad de media e intervalo de confianza del 90%) de la muestra de estudio para las variables índice convencional y funcional. No se encontraron diferencias significativas entre los resultados obtenidos para las sesiones pareadas consecutivas ($p > 0,05$). Los índices convencional y funcional obtuvieron valores de CV_{TE} entre 16 y 20%, mientras que para el estadístico ICC se encontraron valores entre 0,3 y 0,7.

Por su parte, la tabla 2 muestra la estadística descriptiva y los estadísticos de la fiabilidad absoluta para las variables PFM. La prueba estadística Bonferroni post hoc no informó de *systematic bias* ($p > 0,05$) entre sesiones pareadas consecutivas para cada una de las variables PFM analizadas. De forma generalizada, las variables PFM valoradas de CV_{TE} inferiores al 15% (excepto para el PFM de la ER) así como valores de ICC superiores a 0,7. Los mejores valores de fiabilidad absoluta fueron encontrados durante el movimiento de flexión de rodilla excéntrico, medido tanto a velocidad lenta ($CV_{TE} = 8,9$; ICC = 0,9) como rápida ($CV_{TE} = 12,42$; ICC = 0,8).

Discusión

El objetivo principal de este estudio científico fue determinar la fiabilidad absoluta de los índices de fuerza convencional y funcional, así como de las variables PFM concéntrico y excéntrico de la flexión y extensión de rodilla en adultos jóvenes físicamente activos debido a que, en la actualidad, existe una incipiente evidencia científica que propone la evaluación y el posterior empleo de dichas variables como elementos para identificar a deportistas con elevado riesgo de padecer lesiones del miembro inferior^{1,8,9,45,46}.

Para determinar la fiabilidad absoluta de los índices de fuerza convencional y funcional y las variables PFM, el presente estudio utilizó los estadísticos CM, CV_{TE} e ICC, así como sus respectivos intervalos de confianza del 90%. Estos estadísticos fueron elegidos basándose en la propuesta de análisis para los estudios de reproducibilidad establecida recientemente por Hopkins et al.¹⁸.

En este sentido, el estadístico CM simplemente refleja el cambio en la media, el estadístico CV_{TE} simplemente refleja el cambio de cada variable entre sesiones de evaluación¹⁷. Este estadístico es especialmente importante cuando un grupo de voluntarios llevan a cabo una serie de sesiones de valoración como parte del proceso de control de la eficacia de un programa de intervención, ya que

Tabla 1 Estadísticos de la fiabilidad absoluta de los índices de fuerza convencional y funcional

	Media y desviación estándar			Media e IC 90%	
	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	CM	ICC
Índice 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)	0,68 (0,43-0,80)
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)	0,64 (0,45-0,77)
Índice 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)	0,34 (0,08-0,54)
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)	0,50 (0,26-0,67)

CM: cambio en la media; CV_{TE} : coeficiente de variación en función del error típico de la medida; ICC: índice de correlación intraclass; PFM: pico de fuerza máxima o peak torque; CON: concéntrico; EXC: excéntrico; °: grados; s: segundos, IC: intervalo de confianza.

Tabla 2 Estadísticos de la fiabilidad absoluta de la variable pico de fuerza máxima

	Media y desviación estándar				CM	Media e IC 90%			
	Sesión 1		Sesión 2			Sesión 3			
	Media	IC (s)	Media	IC (s)		Media	IC (s)		
Extensión de rodilla									
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)
Flexión de rodilla									
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: cambio en la media; CV_{TE}: coeficiente de variación en función del error típico de la medida; ICC: índice de correlación intraclass; PFM: pico de fuerza máxima o *peak torque*; CON: concéntrico; EXC: excéntrico; °: grados; s: segundos, IC: intervalo de confianza.

expresa la tendencia general de la medida a ser diferente en una dirección en particular (positiva o negativa) entre sesiones de valoración^{17,18}. Es importante utilizar sesiones de familiarización y procedimientos exploratorios sencillos que minimicen la posible influencia que el sesgo de aprendizaje podría tener sobre la magnitud de los resultados obtenidos en una prueba de valoración, lo cual podría influir en el estadístico CM⁴⁷.

Cuando se quiera realizar una interpretación de los cambios producidos en una variable después de un programa de intervención en un grupo de personas, clínicos y profesionales del campo de las ciencias del deporte deben decidir si dichos cambios son reales o si únicamente reflejan la magnitud del error de la medida utilizada. En este sentido, si un cambio en los valores iniciales de una variable para un grupo de personas presenta una magnitud inferior al CV_{TE} de la medida, es muy probable (68% de certeza) que dicho cambio refleje el error de la medida y con ello no sea clínicamente relevante¹⁷. Igualmente, Hopkins¹⁷ sugiere que un umbral en torno a 1,5-2 veces la magnitud del error típico podría también ser apropiado, en este caso para indicar si se ha producido un cambio real en los niveles previos individuales de una persona (80-90% probabilidad).

Finalmente, el estadístico ICC refleja el grado de proximidad o correlación existente entre los valores obtenidos en diferentes momentos tras la aplicación de la misma prueba de valoración. El estadístico ICC comparte con el estadístico CV_{TE} la ventaja de ser adimensional, y por lo tanto permiten la comparación con otros estudios de fiabilidad que empleen diferentes procedimientos exploratorios, herramientas de evaluación y poblaciones objeto de estudio¹⁷.

Los resultados de este estudio sobre la fiabilidad absoluta de los índices de fuerza convencional y funcional informan de elevados valores de variabilidad intersesión, con magnitudes del CV_{TE} en torno al 16-18% y al 18-20% para el índice convencional y funcional, respectivamente. Semejantes resultados para la fiabilidad absoluta de los índices convencional y funcional han sido encontrados en estudios previos empleando similares poblaciones objeto de estudio (adultos jóvenes físicamente activos), aunque durante el proceso de evaluación se han utilizado diferentes estadísticos de fiabilidad absoluta (estándar error de la medida y 95% *limits of agreement* [95% LoA]) y posición de los sujetos (sedestación)^{24,26}. Sole et al.²⁶ establecieron que una diferencia del 28 y del 30% en los índices convencional y funcional, respectivamente, debería ser necesaria para que con una probabilidad del 95% estar seguros de que dicho cambio es real en una persona adulta físicamente activa. Hopkins¹⁷ considera que cuando la población objeto de estudio es deportista, quizá sería más apropiado emplear el criterio de 1,5 veces el CV_{TE} para considerar si un cambio es real en un miembro aislado de la población, mientras que en deportistas de alto nivel el solo uso del CV_{TE} podría ser apropiado. Por ello, los altos valores de variabilidad propuestos por Sole et al.²⁶ para ambos índices de fuerza isocinéticos (empleando el estadístico 95% LoA) son muy próximos a los encontrados en nuestro estudio si empleamos el criterio de 1,5 veces el CV_{TE} (FR/ER_{CON} = 24% [60°/s] y 27% [180°/s]; FR_{EXC}/ER_{CON} = 27% [60°/s] y 30% [180°/s]), aunque el enfoque estadístico y la posición de evaluación sea diferente. Contrariamente, Impellizzeri et al.²⁴ encontraron valores de variabilidad intersesión mucho más bajos

para el ratio de fuerza convencional y funcional medido a una velocidad angular de $60^\circ/\text{s}$ y empleando como indicador de fiabilidad absoluta el 95% LoA, descrito por Atkinson y Nevill¹⁶ (≈ 2 veces CV_{TE}). Así, estos autores informan de un valor del estadístico 95% LoA del 15 y del 17% para el índice convencional y funcional, respectivamente. Sin embargo, este estudio informó de la presencia de un sesgo de aprendizaje importante, de tal forma que los valores de los índices isocinéticos de la primera sesión de evaluación eran significativamente menores que los obtenidos en la segunda y tercera sesión, lo cual podría poner bajo tela de juicio los resultados obtenidos.

Por otro lado, los resultados de este estudio informan que la variable PFM presentó una moderada fiabilidad absoluta ($CV_{TE} \leq 15\%$; $ICC > 0,7$) tras 3 sesiones de evaluación (con un intervalo de 72-96 h entre sesiones consecutivas), independientemente del movimiento articular de la rodilla (flexión y extensión), del tipo de activación muscular (concéntrica y excéntrica) y de la velocidad angular (60 y $180^\circ/\text{s}$) empleada. Estudios previos han informado de valores de fiabilidad absoluta para la variable PFM similares, aunque ligeramente superiores, empleando como muestra objeto de estudio a deportistas recreativos²³⁻²⁶ y de alto nivel²². Por ejemplo, Impellizzeri et al.²⁴ encontraron una variabilidad intersección de la medida (68% probabilidad) para la variable PFM concéntrica de la flexión de rodilla ($180^\circ/\text{s}$) del 5,2%, mientras que nuestro estudio obtuvo una variación del 12,3% para la misma variable. Sole et al.²⁶ informaron de una magnitud del estándar error de la medida del 8,2 y del 6,5% para el PFM excéntrico de la flexión y extensión de rodilla a una velocidad angular de $60^\circ/\text{s}$ respectivamente, en contraposición al 8,9 y al 16,1% de variabilidad encontrado en nuestro estudio para las mismas variables.

Una posibilidad que podría explicar los menores valores de variabilidad intersección encontrados en estudios previos para la variable PFM^{22-26,31,48} en comparación con los obtenidos en el presente estudio científico podría ser atribuida al distinto enfoque estadístico. Muchos de los estudios científicos que han examinado la variabilidad intersección de la variable isocinética PFM han empleado el estadístico estándar error de la medida expresado como porcentaje del valor medio de los datos «crudos» (*raw data*) (CV_{SEM}) como indicador de fiabilidad absoluta^{24-26,31}. Aunque tanto el CV_{TE} como el CV_{SEM} presentan un nivel de probabilidad del 68%^{16,17,27}, el presente estudio seleccionó el CV_{TE} (calculado a través del uso de los datos en forma de logaritmos) como indicador de la fiabilidad absoluta porque permite minimizar enormemente el posible sesgo que la presencia de heterocedasticidad de los datos podría tener sobre el grado de variabilidad intersección de la variable analizada, en contraposición con el estadístico CV_{SEM} calculado por medio del uso de los valores crudos de los datos^{17,18}. En muestras heterogéneas, como podría ser la empleada tanto en este estudio como en muchos de los estudios previos (adultos jóvenes físicamente activos), la transformación logarítmica de los datos podría ser muy importante debido a la alta probabilidad de que los datos crudos sean heterocedásticos¹⁷. En un estudio piloto realizado en nuestro laboratorio con 20 personas adultas jóvenes físicamente activas y tras realizar y comparar una simulación de análisis de la fiabilidad absoluta de la variable PFM empleando los datos crudos y el

estadístico CV_{SEM} con otra simulación empleando los datos en su forma logarítmica y el estadístico CV_{TE} , se encontró que los resultados obtenidos para el CV_{SEM} presentaban una menor magnitud en sus resultados de variabilidad intersección, entre el 2 y el 8%, en comparación con el estadístico CV_{TE} (datos no publicados). Otro importante aspecto a destacar y que igualmente podría explicar los peores valores de fiabilidad absoluta encontrados en nuestro estudio, a diferencia de los observados en estudios previos, podría radicar en el diferente tamaño muestral utilizado. Muchos de los estudios previos utilizan tamaños muestrales inferiores a los 30 participantes^{22-26,48}, muy alejados de los 50 que aconsejan Hopkins¹⁷ y Atkinson y Nevill²⁷ para los estudios de fiabilidad absoluta, lo cual podría sesgar los resultados.

Otra cuestión importante, que conviene resaltar de los resultados obtenidos en el presente estudio radica en la circunstancia de que no se encontraron diferencias clínicamente relevantes en los resultados de variabilidad intersección de la variable PFM entre los diferentes movimientos articulares (flexión y extensión) y modalidad de contracción muscular (concéntrica y excéntrica) en cualquiera de las dos velocidades angulares seleccionadas (60 y $180^\circ/\text{s}$). Estos resultados son parcialmente semejantes a los encontrados por numerosos estudios previos^{24-26,31}, aunque no todos²³, los cuales no observaron que la magnitud de la fiabilidad absoluta de la variable PFM fuese claramente superior en función de un determinado movimiento articular, contracción muscular o velocidad angular en adultos jóvenes físicamente activos. En este sentido, Maffiuletti et al.²⁵ informaron de una diferencia del 0,7% en los resultados de fiabilidad absoluta medida a través del CV_{SEM} entre los movimientos de flexión y extensión de rodilla, lo cual se aproxima a la diferencia del 2% encontrada en nuestro estudio.

Sin embargo, los resultados que manifiestan la ausencia de diferencias clínicamente relevantes en los resultados de fiabilidad absoluta entre ambas modalidades de contracción muscular, excéntrica y concéntrica, contradicen los resultados obtenidos por ciertos estudios previos²²⁻²⁶, que informan consistentemente de mejores valores de fiabilidad absoluta para la contracción concéntrica en comparación con su opuesta excéntrica. Así, Sole et al.²⁶ sugieren que la diferencia en la magnitud de variabilidad intersección entre modalidades de contracción muscular podría atribuirse al hecho de que la contracción excéntrica podría requerir de habilidades más precisas y de un mayor control motor. Posiblemente la ausencia de diferencias entre modalidades de contracción muscular encontrada en nuestro estudio podría ser teóricamente atribuida a la diferente posición corporal de los participantes durante el proceso exploratorio. La posición de tendido prono (0° de flexión de cadera) fue seleccionada en lugar de la extensivamente utilizada posición de sentado ($80-110^\circ$ de flexión de cadera) por dos razones principales: a) la colocación de los participantes en tendido prono refleja con mayor exactitud la posición corporal durante actividades funcionales como la carrera a diferencia de la posición de sentado, y b) la posición prono simula mejor la disposición de la curva fuerza-longitud de la musculatura flexora y extensora de rodilla de contacto de la última fase y el inicio de la fase de contacto de la habilidad de carrera a la máxima velocidad^{49,50}. Así, la posición de tendido prono podría dar una información más funcional del estado de la estabilidad dinámica de la rodilla empleando el movimiento

que refleja su principal mecanismo de lesión⁵⁰. Quizás el movimiento excéntrico de flexión y extensión de rodilla sea más fácil de realizar cuando el participante se dispone en posición de tendido prono a diferencia de la posición de sentado, porque teóricamente se simulan acciones motoras muy interiorizadas de la vida cotidiana como la carrera y el salto.

Una de las potenciales limitaciones de este estudio fue la población utilizada. Aunque el diseño contempló 52 participantes y 3 sesiones de evaluación, lo cual responde a las demandas mínimas establecidas por Hopkins¹⁷ (50 participantes y 3 sesiones de evaluación), sin embargo todos ellos fueron homogéneos en edad y en nivel de condición física, pudiendo con ello limitar levemente la validez externa de los resultados. Otra posible limitación del presente estudio podría ser la fijación de la pelvis durante el procedimiento exploratorio. En este sentido, Worrell et al.⁵⁰ informaron que la adopción de la posición de tendido prono durante la evaluación isocinética podría incrementar la flexión de cadera en tono a 10-20° cuando el participante realiza el movimiento de flexión de rodilla. Esta situación podría invertirse durante el movimiento de extensión de rodilla. Aunque el presente estudio colocó una cincha ajustable alrededor de la pelvis, el muslo y el tobillo para focalizar la acción en la musculatura deseada y eliminar movimientos perturbadores de fuerza, quizás esta acción no fue lo suficientemente fuerte como para eliminar la influencia negativa de la flexión-extensión de la pelvis durante los ciclos de movimiento de la rodilla sobre la estabilización de la pelvis. Por ello, son necesarios más estudios científicos que examinen la fiabilidad absoluta de las diferentes variables e índices isocinéticos empleando distintas poblaciones objeto de estudio (personas con alteraciones musculoesqueléticas específicas, deportistas de alto nivel)⁵¹, múltiples sesiones de valoración ($k > 3$), diferentes posiciones exploratorias (tendido supino, bipedestación) y herramientas de estabilización de los participantes evaluados⁵².

La interpretación práctica de la fiabilidad absoluta de una medida es un proceso muy complejo. El presente estudio decidió emplear como criterio de aceptable fiabilidad absoluta de las variables PFM e índices isocinéticos un valor de CV_{TE} inferior al 15%, el cual ha sido propuesto de forma arbitraria por ciertos estudios previos. Sin embargo, Atkinson y Nevill¹⁶ consideran que la aceptabilidad práctica de una medida debería ser dependiente del objetivo clínico que se desee abordar. Por ejemplo, los valores de CV_{TE} para las variables PFM (8-16%) e índice convencional (16-18%) y funcional (18-20%) obtenidos en este estudio podrían ser aceptables para detectar cambios en personas lesionadas tras la aplicación de un proceso rehabilitador, pero no podrían ser apropiados para detectar cambios reales tras la aplicación de programas de entrenamiento en personas sanas. Por lo tanto, la aceptabilidad práctica del error de una medida (ruido) debería ser siempre interpretada en función de la magnitud de la señal (cambios producidos como consecuencia de un programa de intervención), la cual puede ser modificada en función de la población objeto de estudio y de la eficacia específica de los tratamientos empleados.

Conclusiones

Los resultados del actual estudio informaron de que el índice de fuerza convencional y funcional, así como la variable PMF,

medidos bajo contracciones concéntricas y excéntricas de flexión y extensión de rodilla a 60 y 180°/s adoptando una posición de tendido prono, demostraron de forma generalizada una moderada fiabilidad absoluta ($PFM = CV_{TE} < 15\%$ e $ICC > 0,7$; índices isocinéticos = $CV_{TE} < 20\%$ e $ICC > 0,3$). Estos valores de fiabilidad absoluta podrían ser lo suficientemente sensibles como para detectar cambios de gran magnitud, como los acontecidos tras la aplicación de programas de rehabilitación en personas lesionadas. Así, cambios en tono al 12 y 17% en los valores iniciales de la variable PFM (independientemente del tipo de contracción y movimiento articular) e índices de fuerza isocinética de la articulación de la rodilla (convencional y funcional), respectivamente, podrían ser considerados como reales, y no simplemente debidos al error de la medida.

Financiación

Este trabajo es resultado de la ayuda concedida por la Fundación Séneca, en el marco del PCTRM 2007-2010, con financiación del INFO y del FEDER de hasta un 80%.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- 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;15:511-8.
- 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 Exerc.* 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 Exerc.* 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.* Nueva 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, Verkhoshansky 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, Buchhalter 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, Chillon P, Ortega FB, Montesinos JL, Sjöström M, Ruiz JR. Criterion-related validity of sit-and-reach and modified sit-and-reach test for estimating 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. Schabort 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 Exerc.* 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.