

EFECTO AGUDO DEL ESTIRAMIENTO ACTIVO SOBRE LOS ÍNDICES DE FUERZA MÁXIMA ISOCINÉTICA UNILATERAL DE LA RODILLA

ACUTE EFFECT OF ACTIVE STRETCHING ON UNILATERAL ISOKINETIC STRENGTH INDEXES OF THE KNEE

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue investigar el efecto agudo de una rutina de estiramientos estáticos activos para la extremidad inferior sobre los índices de fuerza máxima isocinética convencional y funcional de la rodilla en deportistas recreativos. Un total de 49 participantes completaron tres sesiones de evaluación, una inicial de familiarización y dos experimentales (control y estiramientos en orden aleatorio), con un intervalo de 72-96 horas entre sesiones. El protocolo de estiramientos estático activos consistió en 5 ejercicios unilaterales diseñados para estirar los principales grupos musculares de la extremidad inferior. Cada ejercicio de estiramiento fue realizado 2 veces, manteniendo la posición de estiramiento durante 30s (2x30s), con un periodo de descanso entre serie, pierna contra-lateral y/o ejercicio de 20s. En la sesión de control no se realizó el programa de estiramientos. Inmediatamente después de ambos tratamientos (control y estiramientos), se valoraron los índices de fuerza convencional y funcional de la rodilla a 60 y 180°/s, empleando para ello una posición de evaluación de tendido prono. El análisis estadístico realizado a través de un modelo lineal general de medidas repetidas y una prueba de potencia estadística reveló la ausencia de interacción ($p > 0.05$) entre sesiones experimentales para cada uno de los índices de fuerza objeto de estudio. Por lo tanto, si los índices de fuerza unilateral de la articulación de la rodilla pueden ser utilizados como factores de riesgo primario de desgarros del LCA y distensiones de la musculatura isquiosural, los hallazgos de este estudio sugieren que una rutina de estiramientos estático activos de la extremidad inferior podría no alterar el riesgo relativo de lesión del LCA y la musculatura isquiosural.

Palabras clave: Lesiones deportivas. Ligamento cruzado anterior. Desgarros musculares. Isquiosurales. Calentamiento. Prevención de lesiones.

SUMMARY

The main purpose of this study was to investigate the acute effect of an active lower limb stretching routine on conventional and functional unilateral maximal isokinetic strength ratios of the knee in recreational athletes. A total of 49 participants completed three measurement sessions, an initial session of familiarization and two experimental sessions (control and static stretching in randomized order) with 72-96 hours interval among consecutive sessions. The stretching protocols consisted of 5 different unilateral exercises designed to stretch the major lower limb muscle groups (psoas, gluteus, adductors, quadriceps and hamstring muscles). Each stretching exercise was performed twice, holding the position for 30s (2x30s), with a rest-interval within series, contra-lateral leg and /or exercises of 20s. After the stretching or control intervention, conventional and functional unilateral strength ratios were measured in prone position at 60 and 180°/s. Statistic analysis (general lineal model with repeated measures) indicated no significant interaction ($p > 0.05$) among experimental sessions for any isokinetic ratios recorded. Therefore, if conventional and functional unilateral strength ratios can be used as indexes of the risk of ACL tears and hamstring muscle strains, the findings of the present study tentatively suggested that static active stretching may not alter the relative risk of ACL tears and hamstring strains.

Key words: Sport injuries. Anterior cruciate ligament. Muscle strains. Hamstrings. Warm-up. Prevention.

Francisco Ayala¹

Pilar Sainz de Baranda²

Mark De Ste Croix³

Lorea Sarobe⁴

¹Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Grupo de Investigación Aparato Locomotor, Fisioterapia y Deporte, Universidad de Murcia, España.
²Doctora en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Castilla La Mancha, España.
³Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Faculty of Sports, Health and Social Care. University of Gloucestershire, Gloucester (United Kingdom).
⁴Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Faculty of Sports, Health and Social Care. University of Gloucestershire, Gloucester (United Kingdom).

"Este trabajo es resultado del proyecto 06862/FPI/07 financiado con cargo al Programa de Formación de Recursos Humanos para la Ciencia y la Tecnología de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia, en el marco del PCTRM 2007-2010, con financiación del INFO y del FEDER de hasta un 80%".

CORRESPONDENCIA:

Francisco Ayala
Campus de los Jerónimos, s/n. 30107 Guadalupe (Murcia)
E-mail: franciscoayalarodriguez@gmail.com

Aceptado: 30.12.2011 / Original n° 598

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, entrenadores, deportistas y sujetos físicamente activos han realizado largas rutinas de estiramiento como parte de su preparación antes de afrontar el entrenamiento y la competición^{1,2}, con la creencia de que estas rutinas podían aumentar su rendimiento deportivo³ y reducir el riesgo o probabilidad de sufrir lesiones músculo-esqueléticas^{4,5}. Sin embargo, y a pesar de la práctica generalizada de ejercicios de estiramiento como parte importante del calentamiento, existe una limitada información científica que sustente los beneficios derivados de su realización.

En este sentido, recientes revisiones sistemáticas de la literatura científica han cuestionado la creencia fuertemente arraigada de que la realización de rutinas de estiramiento como parte del calentamiento previo a una actuación deportiva podría reducir el riesgo relativo de lesión músculo-esquelética⁵⁻⁷. En este sentido, determinados autores sugieren que la realización de ejercicios de estiramiento podría incluso incrementar el riesgo relativo de lesión^{8,9}.

Sin embargo, ninguna de las dos teorías anteriores en lo referente al rol de los estiramientos en la prevención de lesiones está correctamente verificada debido al inapropiado diseño metodológico, consideración inadecuada de la carga óptima de estiramiento (intensidad, duración y frecuencia) y definición del término lesión de los estudios científicos que abordan esta controvertida cuestión^{5,8}.

Para poder determinar el rol que los ejercicios de estiramiento poseen sobre la prevención de lesiones, McHugh y Cosgrade⁶, en una revisión bibliográfica reciente, establecen que el efecto de los ejercicios de estiramiento sobre la probabilidad de desarrollar una lesión debería ser valorado sobre un tipo específico de lesión (distensiones musculares, desgarros ligamentosos, tendinopatías,...) y focalizando la atención en un factor de riesgo primario en particular. Estos autores justifican su propuesta en base al hecho bien probado de que el riesgo de lesión en el

deporte es multifactorial y, en general, específico de las demandas físicas de modalidad deportiva practicada.

En este sentido, numerosos estudios epidemiológicos han informado de que las distensiones de la musculatura isquiosural junto con los desgarros (sin contacto) del ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla, son las lesiones más frecuentes en deportes que solicitan acciones motrices con una elevada intensidad y frecuencia del ciclo de estiramiento-acortamiento (e.j. fútbol, baloncesto, voleibol), como por ejemplo movimientos de aceleración y desaceleración máximas, rápidos cambios de dirección y sentido, así como acciones de caída o aterrizaje tras un salto¹⁰⁻¹³.

Determinados estudios han informado que la presencia de desequilibrios de fuerza unilateral entre la musculatura flexora y extensora de rodilla podría ser considerado como uno de los factores de riesgo intrínsecos y modificables más importantes, tanto para las distensiones de la musculatura isquiosural como para los desgarros del LCA¹⁴⁻¹⁷.

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 isocinético (peak torque [PFM]) de la musculatura flexora y la musculatura extensora de rodilla medido durante acciones concéntricas (FR-ERCONV). Un índice de fuerza unilateral FR-ERCONV 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 desgarros de la musculatura isquiosural^{14,17,18}.

Podría ser muy funcional considerar el índice entre el PFM excéntrico de la flexión de rodilla y el PFM concéntrico de la extensión de rodilla¹⁹. Este índice de fuerza isocinética, inicialmente descrito por Aagaard *et al.*²⁰, recibe el nombre de

“índice funcional o dinámico” (FR-ERFUNC). El índice de fuerza funcional podría reflejar con gran precisión los patrones de movimiento presentes durante la mayoría de las acciones físico-deportivas, donde la musculatura flexora de rodilla actúa como sinergista y elemento protector del LCA mediante su contracción excéntrica para contrarrestar las fuerzas de traslación anterior 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 acciones de golpeo de balón¹⁹. Esta acción de co-contracción de la musculatura flexora y extensora de rodilla es crucial para la estabilización dinámica de la misma, 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 musculatura isquiosural²¹. Un índice funcional inferior a 0.80 ha sido propuesto como un indicador de desequilibrio de fuerzas en la articulación de la rodilla^{19,20,22}.

Consecuentemente, la acción más relevante desde el punto de vista de la prevención de lesiones sería investigar el efecto agudo de las rutinas de estiramiento que suelen ser efectuadas como parte fundamental de los procedimientos de calentamiento previo a una actuación físico-deportiva sobre los índices de fuerza unilateral de la rodilla. Esta información podría ser de vital importancia para entrenadores, preparadores físicos y demás profesionales del ámbito físico-deportivo, pues les permitirá adoptar decisiones justificadas sobre la idoneidad de la utilización de estiramientos en sus calentamientos con el propósito de reducir el riesgo relativo de lesión de la musculatura isquiosural y LCA.

Sorprendentemente, únicamente tres estudios científicos han evaluado el efecto agudo de una rutina de estiramientos sobre los índices de fuerza de la rodilla²³⁻²⁵. Sin embargo, cuando estos estudios son minuciosamente analizados, es posible encontrar ciertos aspectos que podrían limitar la validez de sus resultados para el contexto físico-deportivo: (a) únicamente el efecto de la técnica de estiramiento estática sobre el índice

convencional FR-ER fue investigado; (b) solo la musculatura isquiosural y el tríceps sural fueron sometidos a estiramiento; y (c) una extensiva duración total de estiramiento estático por grupo muscular fue utilizada (480s).

Por lo tanto, existe una clara laguna científica en relación a cómo una rutina de estiramientos contextualizada respecto al ámbito físico-deportivo podría afectar a la estabilidad dinámica de la rodilla medida a través del índice de fuerza convencional y funcional de la rodilla. Así, el objetivo principal de este estudio científico fue investigar el efecto agudo de una rutina de estiramientos estáticos activos para la extremidad inferior con parámetros de la carga contextualizados respecto a la realidad físico-deportiva sobre los índices de fuerza máxima isocinética convencional y funcional de la rodilla en deportistas recreativos. Como hipótesis inicial se estableció que gracias al carácter activo y corta duración de la rutina de estiramientos diseñada, los índices de fuerza convencional y funcional de la rodilla no se verían afectados negativamente.

MATERIAL Y MÉTODO

Muestra

Un total de 25 hombres (edad = 21.3 ± 2.5 años; altura = 176.3 ± 8.4 cm; peso = 774.4 ± 10.8 kg) y 24 mujeres (edad = 20.4 ± 1.8 años; altura = 164.7 ± 7.6 cm; peso = 62.9 ± 8.6 kg) adultos jóvenes deportistas recreativos (1-5 horas de práctica de actividad físico-deportiva de intensidad moderada, un total de 3-5 días a la semana) completaron este estudio. 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 horas 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) presentar dolor muscular de aparición tardía (agujetas) durante cualquiera de los dos momentos de evaluación; y (c) no asistir a una o más sesiones de valoración durante todo el proceso de recogida de datos. Asimismo, un criterio de exclusión adicional fue establecido para las participantes mujeres, de tal forma que ninguna de ellas podía estar inmersa en la fase de ovulación de su proceso menstrual durante toda la fase de recogida de datos con el propósito de minimizar las fluctuaciones en la rigidez de la unidad músculo-tendón y laxitud de la articulación de la rodilla^{26,27}. 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.

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 de Gloucestershire (United Kingdom).

Diseño experimental

Un diseño de investigación cruzado, en el cual cada uno de los participantes ejecutó todos los tratamientos experimentales, fue utilizado para conseguir los objetivos propuestos.

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 de los estiramientos y del procedimiento exploratorio a utilizar mediante la realización práctica de los diferentes ejercicios de estiramiento estático activo, así como numerosos intentos máximos y sub-máximos de acciones de flexión y extensión de rodilla empleando diferentes velocidades (60°/s y 180°/s) y acciones musculares (concéntrica y excéntrica). Igualmente, 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 en 2 ocasiones distintas, con un intervalo de tiempo de 72-96 horas entre sesiones. Así, durante las dos sesiones experimentales, y en orden aleatorio (usando el software localizado en <http://www.randomizer.org>), todos los participantes realizaron un tratamiento consistente en estiramientos estáticos seguidos (2 minutos de descanso) de una evaluación isocinética (sesión de estiramientos) o, por el contrario, únicamente llevaron a cabo la evaluación isocinética (sesión control). La rutina de estiramientos estáticos activos tuvo una duración de 12 ± 2 minutos, mientras que la evaluación isocinética tuvo una duración de 14 ± 1 minutos.

Cada una de las sesiones de valoración (estiramiento y control) fue llevada a cabo por los mismos dos experimentados clínicos (uno controlaba la correcta posición del participante durante los ejercicios de estiramiento y/o 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 inter-examinador y ritmos circadianos sobre los resultados²⁸. Ambos examinadores desconocían los resultados obtenidos por los participantes en las diferentes sesiones de evaluación (evaluadores ciegos). 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 intra-sujeto²⁹.

Una evaluación de la fuerza isocinética de los movimientos de flexión y extensión de la articulación de la rodilla de cada uno de los participantes fue llevada a cabo para determinar de forma individual sus índices de fuerza unilateral FR-ERCONV y FR-ERFUNC.

Rutina de estiramientos

La rutina de estiramientos estático activos consistió en 5 ejercicios unilaterales diferentes diseñados para estirar los principales grupos musculares del miembro inferior involucrados

durante acciones de carrera (glúteo, psoas, isquiosurales, cuádriceps, aductores) y reflejan los ejercicios que comúnmente realizan deportistas y sujetos físicamente activos en sus calentamientos (Figura 1).

El orden de los ejercicios fue aleatorio para cada uno de los participantes con el propósito de eliminar el sesgo que una secuencia específica podría presentar sobre los resultados obtenidos. Cada ejercicio de estiramiento se realizó un total de dos veces no consecutivas, manteniendo la posición de estiramiento durante 30 segundos (2x30s) gracias a la activación isométrica de la musculatura agonista al movimiento, lo cual permite una mejora en la coordinación muscular agonista-antagonista^{30,31}. Por ejemplo, en el caso del ejercicio de estiramiento de la musculatura isquiosural (Figura 1, primer ejercicio de la derecha), la activación isométrica de los músculos que permiten adoptar una ligera anteversión pélvica activa (flexores de cadera, paravertebrales y abdominales) son los que teóricamente dan lugar a la relajación y estiramiento de los músculos isquiosurales por medio del reflejo de inhibición recíproca^{30,31}.

Ambas piernas fueron estiradas antes de realizar el siguiente ejercicio. Un periodo de descanso entre pierna contra-lateral y/o ejercicio de 20-s fue permitido. La intensidad del estiramiento fue establecida a través de la sensación subjetiva e individual de discomfort, pero no dolor.

El volumen de estiramiento por grupo muscular de 2x30s 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 competición³²; y (b) produce un aumento temporal de la longitud del músculo como consecuencia de un reflejo de inhibición recíproca^{31,33}, el cual ha demostrado no alterar el sistema de producción de fuerza y potencia muscular³⁴.

Evaluación isocinética

Un dinamómetro isocinético Biodex System-3 (Biodex Corp., Shirley, NY, USA) y su corres-

pondiente software informático fue empleado para determinar los índices de fuerza unilateral durante movimientos de máxima flexión y extensión de rodilla. Antes del comienzo de cada sesión de evaluación, el dispositivo isocinético fue rigurosamente calibrado de acuerdo a 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 ICC para las funciones de posición, velocidad y medición de fuerza del brazo articular³⁵.

En cada sesión experimental, únicamente la pierna dominante (determinada a través del cuestionario de evaluación médica y físico-deportiva y definida como la pierna preferida para golpear un balón) fue evaluada. Todos los participantes adoptaron como posición de valoración la de decúbito prono sobre la camilla del dinamómetro con cadera fijada a 0-10° de flexión y cabeza en posición neutra (Figura 2). La posición de tendido prono (0-10° de flexión de cadera) fue

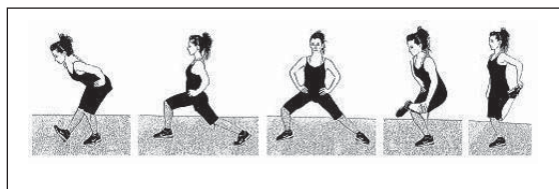


FIGURA 1. Ejercicios de estiramientos estáticos activos (de izquierda a derecha: isquiosurales, psoas, aductores, glúteo y cuádriceps). La posición de estiramiento se mantiene gracias a la contracción isométrica de la musculatura agonista al movimiento

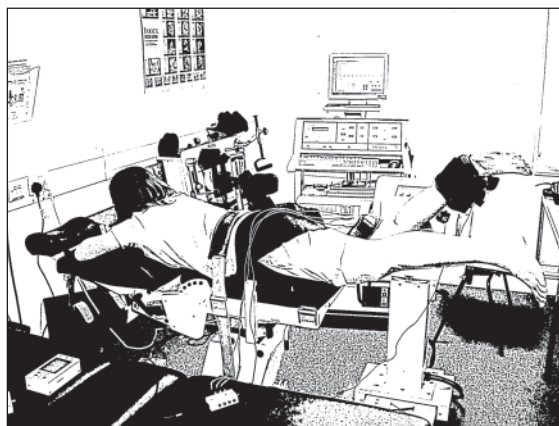


FIGURA 2. Posición de valoración en decúbito prono

seleccionada en lugar de la extensivamente utilizada posición de sentado (80-110° 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 presente durante la última fase y el inicio de la fase de contacto de la habilidad de carrera a la máxima velocidad^{36,37}.

El eje de rotación del brazo telescópico del dinamómetro fue estrictamente alineado con el epicóndilo lateral de la 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, parte posterior del muslo (próximo a la rodilla) y pie fueron fuertemente y consistentemente cinchados para focalizar el movimiento únicamente en la flexión y 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 longitud de la camilla, la altura y longitud del brazo telescópico del dinamómetro y la separación entre camilla y brazo telescópico fueron individualmente registrados para cada participante durante la sesión de familiarización con el propósito de mantener la misma disposición durante todas las sesiones de valoración. Asimismo, la configuración del freno del movimiento del brazo telescópico al final del rango de movimiento fue pre-fijada en sus valores más bajos (categorizada como “dura”) para reducir el efecto de la desaceleración de la pierna durante movimientos articulares opuestos³⁸.

La evaluación de la fuerza 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 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 fuerza de la flexión y extensión de rodilla por medio de ciclos excéntricos/excéntricos (EXC/EXC).

En ambas partes del proceso exploratorio, 2 ciclos de flexión y extensión de rodilla fueron realizados para cada una de las dos diferentes velocidades angulares, 60°/s y 180°/s, de tal forma que siempre la velocidad más lenta (60°/s) fue evaluada en primer lugar. Este aspecto metodológico podría facilitar la adaptación hacia las velocidades más altas de flexión y extensión de rodilla y reducir además, el riesgo de lesión³⁹.

Un estudio piloto previo realizado en nuestro laboratorio con 15 participantes de similares características (edad y nivel de condición física) a los del presente estudio mostró que cuando los participantes presentaban cierto grado de fatiga, principalmente durante la segunda parte del proceso exploratorio empleando el modo reactivo excéntrico de evaluación isocinética, eran incapaces de mantener la producción constante de la magnitud de energía necesaria para activar y mantener el movimiento del brazo telescópico del dinamómetro durante todo el rango de movimiento, produciéndose acciones de frenado indeseadas. Por ello, el modo pasivo de evaluación isocinética fue seleccionado para asegurar que todo el rango de movimiento fuese evaluado durante cada ciclo. Por último, el procedimiento exploratorio se realizó a través de ciclos de movimiento recíprocos de igual modalidad de contracción muscular (CON/CON y ECC/ECC) por ser más sencillos, fáciles de entender y requerir menos demandas físicas que los ciclos recíprocos con diferentes contracciones musculares (CON/ECC y ECC/CON)^{40,41}.

Entre ciclos de movimientos consecutivos se permitió un descanso de 30 segundos, mientras que un periodo de descanso de 5 minutos fue establecido entre ambas partes del proceso exploratorio. En ambas partes del 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”,...

Índices isocinéticos

Para el parámetro isocinético PFM, la media de los dos intentos para cada una de las dos velocidades angulares (60 y 180°/s) y acciones musculares (CON/CON y EXC/EXC) distintas a lo largo de todo el proceso exploratorio fue seleccionada para elaborar los índices de fuerza de la rodilla debido a que la magnitud del error de la medida descende con el aumento del número de intentos^{29,42}. En este sentido, Sole *et al.*²⁹ encontraron mejores valores de precisión para el índice PFM concéntrico y excéntrico cuando para su cálculo emplearon la media de tres intentos en lugar del mejor de los tres intentos.

Así, para cada una de las velocidades angulares seleccionadas, el índice de fuerza FR-ERCONV fue calculado como PFM concéntrico de la flexión de rodilla dividido entre el PFM concéntrico de la extensión de rodilla. Por su parte, el índice de fuerza FR-ERFUNC fue calculado como el PFM excéntrico de la flexión de rodilla dividida entre el PFM concéntrico de la extensión de rodilla.

Análisis estadístico

Previo a todo análisis estadístico, la distribución normal de los datos fue comprobada a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov. Una estadística descriptiva de todos los índices isocinéticos fue llevada a cabo a través del cálculo de la media y error estándar de la media.

Un modelo lineal general de medidas repetidas (tratamiento [estiramientos activos versus con-

trol] x sexo [hombres versus mujeres] x velocidad [60°/s versus 180°/s]) fue empleado para identificar cambios significativos en los valores medios para cada uno de los índices de fuerza isocinéticos evaluados (Bonferroni post hoc test).

El análisis estadístico fue realizado mediante el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences, v. 16.0 para Windows; SPSS Inc, Chicago) y la significancia estadística fue fijada al nivel de 95% ($p < 0.05$).

Igualmente, un análisis post-hoc de la potencia estadística fue llevado a cabo a través del programa estadístico G*Power 3.1.2^{43,44}. Un total de 49 participantes fueron utilizados para el análisis de la potencia estadística. El nivel de significación estadística fue establecido en $p < 0.05$ y el tamaño del efecto (d) fue fijado en 0.80.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los datos descriptivos (media y error estándar de la media) de los índices FR-ERCONV y FR-ERFUNC para cada una de las dos velocidades angulares seleccionadas (60 y 180°/s) y separados en función del sexo de los participantes y de la sesión exploratoria ($k = 2$).

El análisis estadístico de los índices FR-ERCONV y FR-ERFUNC reveló la no existencia de interacción para 3 factores (tratamiento x sexo x velocidad; $p > 0.05$), no interacción entre tratamiento x velocidad ($p > 0.05$) y tratamiento x sexo ($p > 0.05$), pero si informó de una inte-

	Control		Estiramiento activo	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
FR-ER _{CONV} a 60°/s	0.64 ± 0.03	0.62 ± 0.03	0.61 ± 0.02	0.65 ± 0.04
FR-ER _{CONV} a 180°/s	0.73 ± 0.04	0.82 ± 0.05	0.71 ± 0.03	0.79 ± 0.05
FR-ER _{FUNC} a 60°/s	0.75 ± 0.04	0.68 ± 0.02	0.71 ± 0.03	0.71 ± 0.04
FR-ER _{FUNC} a 180°/s	0.84 ± 0.09	0.92 ± 0.06	0.84 ± 0.04	0.91 ± 0.05

* valores presentados como media ± error estándar de la media. °: grados; s: segundos; †: efecto significativo para la velocidad ($p < 0.05$).

TABLA 1. Estadística descriptiva* de los índices fuerza unilateral convencional (FR-ER_{CONV}) y funcional (FR-ER_{FUNC}) de la rodilla a 60 y 180°/s para cada una de las dos sesiones experimentales (control y estiramientos activos)[†]

racción significativa entre velocidad x sexo ($p < 0.05$), además de la no existencia de efecto significativo por tratamiento ($p > 0.05$). Los valores medios de los índices FR-ERCONV y FR-ERFUNC eran más altos para la velocidad de $180^\circ/s$ tanto en hombres como en mujeres, pero las mujeres obtuvieron valores significativamente más altos con respecto a los hombres en ambos índices a $180^\circ/s$.

Finalmente, el análisis post-hoc reveló una potencia estadística para este estudio de 0.72-0.81. Por ello, el tamaño de la muestra podría ser considerada lo suficientemente amplio como para detectar interacciones significativas⁴⁵.

DISCUSIÓN

En el ámbito de la medicina del deporte, y más concretamente en el área de la rehabilitación físico-deportiva, los índices de fuerza FR-ERCONV y FR-ERFUNC de la articulación de la rodilla han sido extensivamente empleados para: a) identificar posibles factores de riesgo de lesión del LCA y/o desgarros 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 rehabilitador¹⁴⁻¹⁷.

Debido a que la realización de ejercicios de estiramiento es una práctica ampliamente ejecutada por deportistas, entrenadores y demás profesionales del ámbito de la actividad físico-deportiva como parte fundamental de sus protocolos de calentamiento, el objetivo principal de este estudio fue investigar el efecto agudo de una rutina de estiramientos estáticos activos sobre los índices de fuerza convencional y funcional de la rodilla en deportistas recreativos.

Los resultados de este estudio informaron de que una rutina de estiramientos estáticos activos para la extremidad inferior con parámetros de la carga contextualizados respecto a la realidad físico-deportiva no modificó la magnitud del valor de los índices de fuerza FR-ERCONV y

FR-ERFUNC en deportistas recreativos. Consecuentemente, estos hallazgos no apoyan la teoría recientemente establecida por determinados autores quienes consideran que la realización de ejercicios de estiramiento estático dentro del calentamiento previo a una actuación deportiva podría incrementar el riesgo relativo de lesión^{8,9}.

Otra importante contribución del presente estudio que debe ser destacada es el hecho de que no se encontraron diferencias en el efecto del estiramiento los índices de fuerza FR-ERCONV y FR-ERFUNC según el sexo de los participantes. Estos resultados sugieren que la unidad músculo-tendón de los hombres y las mujeres podría responder de igual forma y magnitud ante el estiramiento estático activo.

Estos hallazgos contradicen los resultados obtenidos por Costa *et al.*^{23,25}, quienes observaron que una carga aguda de 6 minutos de estiramiento estático pasivo de la musculatura isquiosural seguidos de 2 minutos de estiramiento del tríceps sural (carga tensional alejada de la realidad deportiva [32]) provocó un descenso significativo del índice de fuerza FR-ERCONV y FR-ERFUNC en torno al 2-9% en hombres físicamente activos ($n = 15$). Contrariamente, en otro estudio con idéntico diseño experimental, Costa *et al.*²⁴ encontraron que la misma rutina de estiramientos no produjo cambios en el índice de fuerza FR-ERCONV en mujeres físicamente activas ($n = 13$). Quizás, una posible explicación para la discrepancia manifestada entre los resultados de ambos estudios desarrollados por Costa *et al.*²³⁻²⁵ podría residir más en el escaso tamaño de la muestra, lo cual podría haber sesgado los resultados obtenidos, y no tanto en cuestiones de diferencias según sexo.

Es importante resaltar que además del empleo de una rutina de estiramientos para la extremidad inferior con parámetros de la carga contextualizados respecto a la realidad físico-deportiva, el presente estudio científico utilizó la posición de tendido prono ($0-10^\circ$ de flexión de cadera) en lugar de la extensivamente utilizada posición de sentado ($80-110^\circ$ de flexión de cadera) para evaluar los índices de fuerza FR-ERCONV y FR-ERFUNC. Esta posición de tendido prono podría dotar de

una mayor validez externa a los resultados obtenidos en el presente estudio, pues proporciona una información más funcional del estado de la estabilidad dinámica de la rodilla en comparación con la posición de sentado, ya que permite adoptar la posición (10-20° flexión de cadera) y ejecutar el movimiento que refleja su principal mecanismo de lesión (desaceleración súbita de la extensión de rodilla)³⁶. Además, recientemente Ayala, Sainz de Baranda, De Ste Croix y Sarobe⁴⁶ han demostrado que los índices de fuerza unilateral de la rodilla obtenidos empleando la posición de evaluación isocinética de decúbito prono presentan similares valores de fiabilidad absoluta que los índices de fuerza obtenidos a través de la extensivamente empleada posición de sentado.

Una de las potenciales limitaciones de este estudio fue la población utilizada, aunque el n (49 participantes) utilizado en el presente estudio es mayor al empleado en numerosos estudios previos²³⁻²⁵, todos ellos fueron homogéneos en edad y nivel de condición física, pudiendo con ello limitar levemente la validez externa de los resultados. Además, en el presente estudio no se evaluó directamente el efecto de la rutina de estiramientos estáticos sobre el rango de movimiento y rigidez de los grupos musculares sometidos a estiramiento. Por lo tanto, no es posible determinar con exactitud si los ejercicios de estiramiento realizados incrementaron el rango de movimiento de las diferentes articulaciones sometidas a estímulos de tracción, aunque estudios previos si han demostrado la eficacia de rutinas de estiramiento con similares parámetros de la carga por grupo muscular^{33,47}.

Son necesarios más estudios científicos que determinen el efecto agudo de rutinas de estiramiento sobre los índices de fuerza FR-ERCONV y FR-ERFUNC empleando diferentes técnicas (dinámica, facilitación neuromuscular propioceptiva, estática pasiva) y/o poblaciones objeto de estudio (deportistas de alto rendimiento, sujetos lesionados). Asimismo, si recomienda utilizar la posición de decúbito (prono o supino) con cadera ligeramente flexionada (0-20°) para evaluar los índices de fuerza de la rodilla, pues simula mejor la disposición de la musculatura isquiosural presente durante la carrera a máxima velocidad.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio indican que un protocolo de estiramientos estático activos para la extremidad inferior con parámetros de la carga contextualizados respecto a la realidad físico-deportiva no produce alteraciones en la magnitud del valor de los índices de fuerza FR-ERCONV y FR-ERFUNC en deportistas recreativos.

Por lo tanto, si los índices de fuerza unilateral de la articulación de la rodilla pueden ser utilizados como factores de riesgo primario de desgarros del LCA y distensiones de la musculatura isquiosural, los hallazgos de este estudio sugieren que una rutina de estiramientos estático activos de la extremidad inferior podría no alterar el riesgo relativo de lesión del LCA y la musculatura isquiosural.

B I B L I O G R A F Í A

1. **American College of Sports Medicine (ACSM)**. Manual de consulta para el control y la prescripción de ejercicio. Barcelona: Paidotribo; 2000. p.30.
2. **Holcomb WR**. Stretching and warm-up. En: Baechle TR, Earle RW, eds. Essentials of strength training and conditioning. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000.
3. **Fletcher I and Anness R**. The acute effects of combined static and dynamic stretch protocols on fifty-meter sprint performance in track-and-field athletes. *J Strength Cond Res* 2007; 21(3): 784-787.
4. **Shellock FG and Prentice WE**. Warming-up and stretching for improved physical performance and

- prevention of sports-related injuries. *Sports Med* 1985;2:267-278.
5. **Woods K, Bishop P and Jones E.** Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med* 2007;37:1089-1099.
 6. **McHugh MP and Cosgrave CH.** To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:169-181.
 7. **Thacker SBJ, Gilchrist J, Stroup CD and Kimsey JR.** The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(3):371-378.
 8. **Shrier I.** Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clin J Sports Med* 1999;9:221-227.
 9. **Weldon SM and Hill RH.** The efficacy of stretching for prevention of exercise-related injury: a systematic review of the literature. *Manual Ther* 2002;8:141-150.
 10. **Agel J, Arendt EA and Bershadsky B.** Anterior cruciate ligament injury in National Collegiate Athletic Association basketball and soccer: a 13- year review. *Am J Sports Med* 2005;33(4):524-530.
 11. **Bahr R and Krosshaug T.** Understanding the injury mechanisms: a key component to prevent injuries in sport. *Br J Sports Med* 2005;39:324-329.
 12. **Hootman JM, Dick R and Agel J.** Epidemiology of Collegiate Injuries for 15 Sports: Summary and Recommendations for Injury Prevention Initiatives. *J Athle Train* 2007;42(2):311-319.
 13. **Woods K, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A and Hodson A.** The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football - analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med* 2004;38:36-41.
 14. **Devan MR, Pescatello LS, Faghri P and Anderson J.** A prospective study of overuse knee injuries among female athletes with muscle imbalances and structural abnormalities. *J Athle Train* 2004; 39:263-267.
 15. **Orchard J, Marsden J, Lord S and Garlick D.** Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med* 1997;25(1):81-85.
 16. **Sugiura Y, Saito T, Sakuraba K, Sakuma K and 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 Sports Phys Ther* 2008;38(8):457-464.
 17. **Yeung SS, Suen AM and Yeung EW.** A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *Br J Sports Med* 2009;43:589-594.
 18. **Croisier JL, Forthomme B, Namurois MH, Vanderthommen M and Crielaard JM.** Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med* 2002;30(2):199-203.
 19. **Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B and Dyhre-Poulsen P.** A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med* 1998;26:231-237.
 20. **Aagaard P, Simonsen EB, Trolle M, Bangsbo J and Klausen K.** Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode. *Acta Physiol Scand* 1995;154:421-427.
 21. **Lloyd D, Buchanan T and Besier T.** 'Neuromuscular biomechanical modelling to understand knee ligament loading'. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:1939-1947.
 22. **Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M and Ferret JM.** Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study. *Am J Sports Med* 2008;36(8):1469-1475.
 23. **Costa PB, Ryan ED, Herda TJ, DeFreitas JM, Beck TW and Cramer JT.** Effects of stretching on peak torque and the H:Q ratio. *Int J Sports Med* 2009;30:60-65.
 24. **Costa PB, Ryan ED, Herda TJ, Defreitas JM, Beck TW and Cramer JT.** Effects of static stretching on the hamstrings-to-quadriceps ratio and electromyographic amplitude in men. *J Sports Med Phys Fitness* 2009;49:401-409.
 25. **Costa PB, Ryan ED, Herda TJ, Defreitas JM, Stout JR and Cramer JT.** Acute effects of static stretching on peak torque and the hamstrings-to-quadriceps conventional and functional ratios. *Scand J Med Sci Sports* 2011; doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01348.x.
 26. **Bell DR, Myrick MP, Blackburn JT, Shultz SJ, Guskiewicz KM and Padua DA.** The effect of

- menstrual-cycle phase on hamstring extensibility and muscle stiffness. *J Sport Rehabil* 2009; 18: 553-563.
27. **Eiling E, Bryant AL, Petersen W, Murphy A and Hohmann E.** Effects of menstrual-cycle hormone fluctuations on musculotendinous stiffness and knee joint laxity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15:126-132.
28. **Atkinson G and Nevill AM.** Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 1998;26:217-238.
29. **Sole G, Hamrén J, Milosavljevic S, Nicholson H and Sullivan J.** Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:626-631.
30. **White SG and Sahrman SA.** A movement system balance approach to management of musculoskeletal pain. En: R. Grant (Ed.), *Physical Therapy of the Cervical and Thoracic Spine*. New York: Churchill Livingstone Inc; 1994.
31. **Winters MV, Blake CG, Trost JS, Marcello-Binker TB, Lowe L, Garber MB and Wainner RS.** Passive versus active stretching of hip flexor muscles in subjects with limited hip extension: A randomized clinical trial. *Phys Ther* 2004;84(9):800-807.
32. **Young WB and Behm DG.** Should static stretching be used during a warm-up for strength and power activities?. *Strength Cond J* 2002;24:33-37.
33. **Ogura Y, Miyahara Y, Naito H, Katamoto S and Auki J.** Duration of static stretching influences muscle force production in hamstring muscles. *J Strength Cond Res* 2007;21(3):788-792.
34. **Ayala F and 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(18):1-12.
35. **Drouin JM, Valovich-McLeon TC, Shultz SJ, Gansneder BM and Perrin DH.** Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:22-29.
36. **Worrell TW, Denegar CR, Armstrong SL and Perrin DH.** Effect of body position on hamstring muscle group average torque. *J Orthop Sports Phys Ther* 1990;11(10):449-452.
37. **Worrell TW, Perrin DH and Denegar CR.** The influence of hip position on quadriceps and hamstring peak torque and reciprocal muscle group ratio values. *J Orthop Sports Phys Ther* 1989;11(3):104-107.
38. **Taylor N, Sanders R, Howick E and Stanley S.** Static and dynamic assessment of the Biodex dynamometer. *Eur J Appl Physiol. Occup Physiol* 1991;62(3):180-188.
39. **Gaul C.** Muscular strength and endurance. En: *Measurement in Pediatric Exercise Science*, D. Docherty (Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics; 1996:225-258.
40. **Houweling TAW, Head A and Hamzeh MA.** Validity of isokinetic testing for previous hamstring injury detection in soccer players. *Isokinet Exerc Sci* 2009;17:213-220.
41. **Kellis E, Kellis S, Gerodimos V and Manou V.** Reliability of isokinetic concentric and eccentric strength in circumpubertal soccer players. *Ped Exerc Sci* 1999;11:218-228.
42. **Portney LG and Watkins MP.** *Foundations of Clinical research: Applications to Practice*. Upperdale Saddle River (NJ), Prentice Hall Health: 2000.
43. **Faul F, Erdfelder E, Buchner A and Lang AG.** Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods* 2009;41:1149-1160.
44. **Faul F, Erdfelder E, Lang AG and Buchner A.** G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* 2007;39:175-191.
45. **Morton JP.** Reviewing scientific manuscripts: how much statistical knowledge should a reviewer really know?. *Ad Physiol Educ* 2009;33:7-9.
46. **Ayala F, Sainz de Baranda P, De Ste Croix M, Sarobe L.** Fiabilidad absoluta de los índices convencional y funcional y momento máximo de fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla. Apuntes. *Med De L'Esport* 2011, en prensa.
47. **Zakas A, Doganis G, Galazoulas C and Vamvakoudis E.** Acute effects of static stretching duration on isokinetic peak torque in pubescent soccer players. *Ped Exerc Sci* 2006;18(2):252-261.