

# TASA DE DESARROLLO DE LA FUERZA COMO MEDIDA DE RESULTADO COMPLEMENTARIA PARA DECIDIR EL ALTA DEPORTIVA LUEGO DE UNA RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

ARTÍCULO REVISTA JOSPT

 AUTORES

**MASSIMO ANGELOZZI**, MSSC, PHD<sup>1</sup>

**MARCO MADAMA**, MSSC, PHD<sup>1</sup>

**CRISTIANA CORSICA**, PT, MSSC<sup>2</sup>

**VITTORIO CALVISI**, MD<sup>3</sup>

**GIANFRANCO PROPERZI**, MD<sup>4</sup>

**STEVEN T. MCCAW**, PHD<sup>5</sup>

**ANGELO CACCHIO**, MD, PHD<sup>6</sup>

angelo.cacchio@tin.it

## RESUMEN

### DISEÑO DEL ESTUDIO

Estudio descriptivo, prospectivo, longitudinal de una sola cohorte.

### OBJETIVO

Investigar la tasa de desarrollo de la fuerza (TDF) al 30% (TDF<sub>30'</sub>), 50% (TDF<sub>50'</sub>) y 90% (TDF<sub>90'</sub>) de la máxima contracción isométrica voluntaria (MVIC) como una medida de resultado adjunta para determinar la disponibilidad para el retorno al deporte después de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA).

### ANTECEDENTES

Un criterio de recuperación completo luego de una reconstrucción del LCA es la capacidad para lograr entre el 85 y 90% de la fuerza máxima de la extremidad contralateral. Sin embargo, el tiempo necesario para desarrollar la fuerza muscular en muchos tipos de actividades deportivas y diarias es considerablemente más corto que el necesario para alcanzar la fuerza máxima. Por lo tanto, además de la fuerza máxima, las funciones neuromusculares como la TDF también deben considerarse en la definición de recuperación.

### MÉTODOS

Se reclutó a cuarenta y cinco jugadores de fútbol profesional que se sometieron a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. La evaluación con el Subjective Knee Evaluation Form del International Knee Documentation Committee (IKDC), la puntuación Tegner y con el artrómetro KT1000 se realizaron después de la lesión / antes de la reconstrucción y a los 6 y 12 meses después de la reconstrucción del LCA. Antes de la lesión se habían realizado testeos MVIC, TDF<sub>30'</sub>, TDF<sub>50'</sub> y TDF<sub>90'</sub> como parte de la evaluación de pretemporada estándar, y a los 6 y 12 meses luego de la reconstrucción del LCA.

<sup>1</sup> Científico deportivo, Arcamedica Institution, L'Aquila, Italy. <sup>2</sup> Fisioterapeuta, Arcamedica Institution, L'Aquila, Italy. <sup>3</sup> Profesor Asociado, Department of Health Sciences, Academic Unit of Orthopedic Surgery, School of Medicine, University of L'Aquila, L'Aquila, Italy. <sup>4</sup> Profesor Asociado, Department of Health Sciences, Academic Unit of Physical and Rehabilitation Medicine, School of Medicine, University of L'Aquila, L'Aquila, Italy. <sup>5</sup> Profesor, Biomechanics Lab, School of Kinesiology and Recreation, Illinois State University, Normal, IL. <sup>6</sup> Investigador, Department of Health Sciences, Academic Unit of Physical and Rehabilitation Medicine, School of Medicine, University of L'Aquila, L'Aquila, Italy.

El protocolo para este estudio fue aprobado por la Institutional Review Board of Arcamedica Institution. Dirección de correspondencia al Dr Angelo Cacchio, Dipartimento di Scienze della Salute, Facoltà di Medicina e Chirurgia, Università degli Studi dell'Aquila, Via Vetoio, 67100 L'Aquila, Italy.

Copyright ©2012 *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*

“  
**Aunque la gran mayoría(casi el 90%) de los deportistas obtuvieron valores de fuerza considerados normales o casi normales, la tasa de retorno al deporte fue baja.**”

## RESULTADOS

El valor promedio de MVIC 6 meses después de la reconstrucción fue el 97% del valor promedio previo a la lesión. Por el contrario, a los 6 meses, los valores de TDF<sub>30'</sub>, TDF<sub>50'</sub> y TDF<sub>90'</sub> fueron el 80% ( $p = 0,04$ ), el 77% ( $p = 0,03$ ) y el 63% ( $p = 0,007$ ), respectivamente, de los valores previos a la lesión. Los valores medios de TDF para la rodilla reconstruida alcanzaron o superaron el 90% de los valores medios previos a la lesión solo en la evaluación de 12 meses después de la reconstrucción del LCA (TDF<sub>30'</sub>,  $p = 0,86$ ; TDF<sub>50'</sub>,  $p = 0,51$ ; TDF<sub>90'</sub>,  $p = 0,56$ ).

## CONCLUSIÓN

A pesar de la recuperación casi total de la fuerza MVIC a los niveles previos a la lesión, todavía hubo déficits significativos en la TDF a los 6 meses de la reconstrucción del LCA. Se logró una TDF similar a la previa a la lesión 12 meses después de la reconstrucción del LCA, después de un programa de rehabilitación centrado en la potencia muscular. Estos resultados sugieren que, después de una reconstrucción del LCA, los criterios de TDF pueden ser una medida de resultado adicional útil para la decisión del alta deportiva. J Orthop Sports Phys Ther 2012; 42 (9): 772-780, Epub 19 de julio de 2012. doi: 10.2519 / jospt.2012.3780

## PALABRAS CLAVE

LCA; Rodilla; Fútbol

El ligamento cruzado anterior (LCA) es el ligamento que se lesiona con más frecuencia en la rodilla y generalmente se trata, especialmente en los deportistas, con reconstrucción artroscópica seguida de tratamiento de rehabilitación<sup>(18)</sup>. En general, los tratamientos posteriores a la reconstrucción artroscópica del LCA incluyen la progresión a través de las fases aguda, subaguda, funcional y de retorno a la actividad de la rehabilitación<sup>(28)</sup>. El objetivo final de la reconstrucción del LCA y los procedimientos de rehabilitación posteriores es restaurar la estabilidad funcional de la rodilla del paciente para evitar una nueva lesión y permitir el regreso seguro a los niveles de actividad anteriores<sup>(27, 28)</sup>.

A pesar del progreso evidente en las técnicas de reconstrucción del LCA y los procedimientos de rehabilitación después de una lesión del LCA, dos tercios de los deportistas que se someten a reconstrucción del LCA no regresan a los niveles deportivos previos a la lesión<sup>(4, 18)</sup>. Además, entre los deportistas que regresan a su nivel deportivo previo a la lesión, la nueva lesión del LCA ocurre en el 3 al 19% de las rodillas con reconstrucción del LCA, y el 5 al 24% de los deportistas sufren una lesión del LCA contralateral<sup>(21, 31)</sup>. Los autores de una revisión reciente informaron que, aunque la gran mayoría (casi el 90%) de los deportistas obtuvieron valores de fuerza considerados normales o casi normales (mayores o iguales a 85 al 90% de la capacidad de fuerza muscular en la pierna lesionada en comparación con la pierna no lesionada), la tasa de retorno al deporte fue baja<sup>(5)</sup>. Esto sugiere que las pruebas de fuerza muscular comúnmente utilizadas como criterio de regreso de los atletas a la actividad deportiva sin restricciones después

de la cirugía no es lo suficientemente exigente, o que las variables más importantes para el regreso seguro a las actividades deportivas sin restricciones no están siendo evaluadas después de la cirugía. Un editorial reciente <sup>(10)</sup> destacó la posibilidad de que existan déficits neuromusculares residuales en ambas extremidades después de la lesión y reconstrucción del LCA. Actualmente, con base en criterios objetivos, no existe consenso sobre cuándo los deportistas pueden regresar de manera segura a su nivel deportivo previo a la lesión después de la reconstrucción del LCA y rehabilitación posterior, especialmente en actividades deportivas que requieren un alto control neuromuscular dinámico con generación y absorción de energía <sup>(27, 28)</sup>. Esto indica que existe una necesidad continua de desarrollar mejores criterios para un regreso seguro al deporte, y recientemente se han realizado muchos esfuerzos enfocados en ese objetivo <sup>(27, 28)</sup>.

Los resultados investigados en estudios previos de lesión y reconstrucción del LCA se han centrado en las cualidades musculares (por ej., fuerza máxima, área transversal del músculo), déficits de información sensorial (por ej., propiocepción, kinestesia) y parámetros neuromusculares (por ej., impulso neural). Sin embargo, los investigadores aún no han considerado la tasa de desarrollo de la fuerza (TDF) como una medida de resultado complementaria para el proceso de toma de decisiones para el regreso al deporte.

Un criterio que se ha utilizado para determinar la recuperación y la disposición para el regreso al deporte después de una reconstrucción del LCA es lograr el 85 ó 90% de la fuerza máxima de la extremidad contralateral <sup>(28, 35)</sup>. Sin embargo, se ha demostrado que el tiempo requerido para desarrollar la fuerza muscular en muchos tipos de actividades diarias <sup>(2)</sup> y deportivas <sup>(38)</sup> es considerablemente más corto (0-200 milisegundos) que el requerido para lograr la fuerza de contracción máxima (300 milisegundos o más) <sup>(2)</sup>. Por lo tanto, bajo la condición de tiempo restringido (aproximadamente 200 milisegundos) de estas acciones musculares explosivas, la TDF puede ser un indicador de la función muscular más importante que la fuerza muscular máxima <sup>(2, 11)</sup>. La TDF cuantifica la capacidad de producir fuerza muscular rápidamente <sup>(2)</sup>. En preparaciones musculares aisladas, la TDF contráctil se obtiene a partir de la pendiente de la curva fuerza-tiempo (cambios en la fuerza dividido por el cambio en el tiempo), mientras que, para acciones conjuntas intactas, la TDF se calcula como la pendiente de la curva momento-tiempo conjunta (cambios en el momento dividido por el cambio en el tiempo) <sup>(2)</sup>.

La TDF medida en condiciones isométricas se ha identificado como un parámetro clave que caracteriza la extensión del impulso neural al músculo durante las acciones musculares explosivas <sup>(2, 3)</sup>. Las acciones musculares explosivas implican un tiempo de inicio corto y una velocidad máxima, sin posibilidad de corregir o ajustar el movimiento durante la ejecución <sup>(42)</sup>. En base a esta definición, las acciones musculares explosivas están pre-programadas <sup>(12)</sup>. En adultos jóvenes, las mejoras en la TDF se han atribuido a aumentos en el impulso neural en los primeros 100 milisegundos de activación muscular <sup>(44)</sup>. Los estudios de entrenamiento que demuestran aumentos concurrentes en la TDF y el impulso neuromuscular eferente del músculo esquelético apoyan esta hipótesis <sup>(1)</sup>.

“  
***La Tasa de Desarrollo de la Fuerza puede ser un indicador de la función muscular más importante que la fuerza muscular máxima.***”

“

*En el deporte, la capacidad de generar fuerza rápidamente es de suma importancia tanto para el rendimiento como para la protección contra lesiones.* ”

La TDF es una de las variables más importantes que afectan el rendimiento en actividades deportivas que requieren una gran aceleración <sup>(25)</sup>. Hoff y Helgerud <sup>(20)</sup> demostraron que en un grupo de 8 futbolistas que entrenan adaptaciones neuronales 3 veces por semana durante 8 semanas (4 series de 5 repeticiones utilizando el 85% del máximo de 1 repetición, con énfasis en la velocidad máxima durante la acción concéntrica), su máximo de 1 repetición de media sentadilla aumentó en un 75% y su TDF en un 52%. Además, sus tiempos de sprint sobre 10 m y 40 m mejoraron en 0,09 segundos y 0,13 segundos, respectivamente <sup>(20)</sup>.

En el deporte, la capacidad de generar fuerza rápidamente es de suma importancia tanto para el rendimiento como para la protección contra lesiones <sup>(22)</sup>. Sin embargo, pocos estudios se han centrado en la relación entre las mediciones de la fuerza y los índices de rendimiento en el deporte <sup>(38)</sup> o en la rehabilitación <sup>(32)</sup>. La relación entre el rendimiento funcional y la activación explosiva de los cuádriceps pueden añadir información importante para determinar cuándo los deportistas pueden regresar de manera segura a la actividad deportiva. Por lo tanto, el presente estudio fue diseñado para investigar la recuperación de la TDF posterior a la reconstrucción del LCA para determinar su utilidad potencial como un parámetro adicional de la recuperación funcional para un regreso seguro a los deportes.

## MÉTODOS

### *Pacientes*

Los datos se recopilaron en un lapso de 6 temporadas de una muestra de 45 jugadores de fútbol profesional (edad media  $\pm$  DE, 23,4  $\pm$  4,7 años; masa, 79,3  $\pm$  8,2 kg; altura, 178,4  $\pm$  6,7 cm; índice de masa corporal, 24,9  $\pm$  3,3 kg / m<sup>2</sup>) que habían sufrido una rotura unilateral del LCA. Todos los jugadores se sometieron a una reconstrucción artroscópica del LCA utilizando la técnica del tendón semitendinoso y recto interno duplicado realizada por el mismo cirujano ortopédico.

Todos los jugadores habían sido evaluados antes de comenzar la temporada, como parte de un proceso de evaluación estándar. La media  $\pm$  SD de tiempo entre las pruebas de pretemporada y la lesión del LCA de cada jugador fue de 2,4  $\pm$  1,8 (rango, 1-5) meses. El tiempo transcurrido entre la lesión y la cirugía de reconstrucción del LCA fue de 4,3  $\pm$  2,8 (rango, 2-9) meses. La cantidad de tiempo entre las pruebas de pretemporada y la evaluación posoperatoria de 6 meses fue de 11,3  $\pm$  2,2 (rango, 8-14) meses. Finalmente, la cantidad de tiempo entre las pruebas de pretemporada y la evaluación posoperatoria de 12 meses fue de 18,5  $\pm$  2,8 (rango, 15-22) meses.

Para ser incluidos en este estudio, los pacientes debían cumplir los siguientes criterios: diagnóstico de rotura completa del LCA confirmado por artroscopia, reconstrucción artroscópica del LCA, sin cirugía previa de rodilla u otras lesiones graves de los miembros inferiores y sin déficit neurológico. Todos los pacientes incluidos en el estudio recibieron el mismo protocolo estándar de rehabilitación postoperatoria acelerada, cuyo objetivo era volver al deporte en 6 meses <sup>(27, 45)</sup>, realizado bajo la supervisión de fisioterapeutas experimentados en el mismo centro de rehabilitación.

El protocolo de rehabilitación comenzó a la semana de la cirugía y se realizó 3 veces por semana, enfocándose en la restauración temprana de la extensión completa de la rodilla y la carga de peso según lo tolerado desde el primer día postoperatorio. Se utilizaron ejercicios con y sin peso para el entrenamiento neuromuscular, de fuerza, pliométrico y de agilidad de las extremidades inferiores y tareas específicas del deporte, con aumento gradual de cargas y complejidad.

Debido a que el análisis de nuestros datos a los 6 meses indicó un déficit significativo de TDF, recomendamos que los deportistas no regresaran a sus actividades deportivas y, en cambio, realizaran un programa de entrenamiento adicional de 20 semanas, con énfasis en la mejora de TDF. Las estrategias de entrenamiento que enfatizan la TDF en general incorporan una combinación de ejercicios de alta fuerza a baja velocidad, baja fuerza a alta velocidad y alta fuerza a alta velocidad, con la intención de maximizar la potencia<sup>(2, 17)</sup>. Intentar activar la musculatura lo más rápido posible parece ser una estrategia de entrenamiento importante para mejorar la TDF, ya que es necesario invocar la activación rápida de la unidad motora (33). Todas las evaluaciones clínicas fueron realizadas por un médico, las evaluaciones funcionales por un preparador físico y los análisis estadísticos por un estadístico que no participó en el procedimiento quirúrgico ni en el proceso de rehabilitación. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes, el protocolo del estudio fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional de Arcamedica Institution y el estudio se llevó a cabo de conformidad con la Declaración de Helsinki.

#### MEDIDAS DE RESULTADO

Todos los pacientes fueron evaluados bilateralmente después de la lesión / previo a la cirugía de reconstrucción y a los 6 y 12 meses después de la cirugía, utilizando el sistema de evaluación del International Knee Documentation Committee (IKDC) (19), la puntuación de Tegner (41) y el artrómetro KT1000 (MEDmetric Corporation, San Diego, CA) a 13,61 kg de fuerza.

Como parte de la prueba estándar de pretemporada, todos los pacientes se sometieron a pruebas de fuerza de prensa de piernas isométricas bilaterales para evaluar la máxima contracción isométrica voluntaria (MVIC) y la TDF del cuádriceps. También se realizaron pruebas de la MVIC y TDF, 6 y 12 meses después de la reconstrucción del LCA, utilizando el mismo procedimiento.

#### PROCEDIMIENTOS

La prueba de fuerza isométrica de prensa de piernas (figura 1) se realizó utilizando una máquina de prensa de piernas horizontal (RHA680; Panatta Sport srl, Apiro, Italia). Varios estudios previos han reportado altos niveles de confiabilidad de los procedimientos de prueba isométrica<sup>(8, 47)</sup>. En nuestro laboratorio, la confiabilidad test-retest para MVIC y TDF, utilizando la prueba isométrica de prensa de piernas, es muy alta, con coeficientes de correlación intraclase de 0,89 (Intervalo de confianza del 95%: 0,83, 0,95) y 0,85 (intervalo de confianza del 95%: 0,80, 0,89), respectivamente.

“

*Todos los pacientes fueron evaluados bilateralmente después de la lesión / previo a la cirugía de reconstrucción y a los 6 y 12 meses después de la cirugía.*

”

“

*Aunque la TDF podría estar influenciada por el ángulo de la rodilla, durante la extensión isométrica voluntaria de la rodilla a 30, 60 y 90° de flexión, no hubo diferencia estadísticamente significativa en la tasa máxima de desarrollo de torque entre ángulos.* ”

La MVIC y la TDF se calcularon utilizando un sistema para medir el rendimiento muscular (MuscleLab 4000; BoscosystemLab SpA, Rieti, Italia). El aparato se utilizó para ajustar el ángulo de la rodilla durante la prueba de prensa de piernas horizontal con un goniómetro electrónico (BoscosystemLab SpA) y para registrar la curva de fuerza-tiempo con un juego de celdas de carga de galgas extensiométricas (ET-STG-02; BoscosystemLab SpA) que recopiló datos a una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Se volvió a familiarizar a todos los pacientes con los procedimientos de prueba de fuerza de prensa de piernas 7 días antes de cada sesión de prueba y se les pidió que no hicieran ninguna actividad física en los 2 días anteriores a la prueba. También se pidió a los pacientes que continuaran sus actividades de la vida diaria, como de costumbre, durante el período de estudio. En cada sesión de recolección de datos, el paciente se sentó en la máquina de prensa de piernas horizontal (figura 1), con el respaldo en un ángulo de 130° y el pie de la pierna que se estaba probando colocado en una ubicación estándar en la placa de prensa de piernas. La posición del pie y el ángulo de abducción se estandarizaron utilizando una cuadrilla en la placa. La espalda se mantuvo en contacto con el respaldo del asiento. Aunque la TDF podría estar influenciada por el ángulo de la rodilla, de Ruitter y colegas<sup>(11)</sup> informaron que durante la extensión isométrica voluntaria de la rodilla a 30, 60 y 90° de flexión, no hubo diferencia estadísticamente significativa en la tasa máxima de desarrollo de torque entre ángulos. Debido a que la actividad de los cuádriceps es significativamente mayor para los ejercicios de soporte de peso realizados con ángulos de rodilla superiores a 80°<sup>(13)</sup>, se utilizó un goniómetro electrónico (BoscosystemLab SpA) para ajustar el ángulo de la rodilla a 80° para la prueba.



Figura 1. Posición para la prueba de fuerza isométrica de prensa de piernas.

Esta posición se fijó luego con un sistema de pretensado para ayudar al paciente a mantener la posición, sin ninguna intervención activa o efectos negativos debido al pretensado muscular <sup>(46)</sup>. Se proporcionó retroalimentación visual a los pacientes en forma de visualización en tiempo real de la salida de fuerza del dinamómetro en un monitor. Se instruyó a los pacientes para que completaran cada prueba "lo más duro y rápido posible", un método que, según se informó, produce resultados óptimos para MVIC y TDF <sup>(33)</sup>. En cada sesión, el paciente realizó 3 pruebas isométricas con una TDF intencional tan alta como fuera posible para la pierna afectada, sosteniendo la MVIC durante 3 segundos. Se permitieron dos minutos entre cada prueba. Se seleccionó el ensayo con el valor de fuerza pico más alto para un análisis adicional <sup>(2)</sup>. Se descartaron los ensayos con un contramovimiento inicial y se realizaron ensayos adicionales <sup>(15)</sup>. Las variables analizadas fueron la MVIC y la TDF al 30% (TDF<sub>30</sub>), 50% (TDF<sub>50</sub>) y 90% (TDF<sub>90</sub>) de la MVIC (figura 2), que corresponden a la pendiente media de la curva fuerza-tiempo. El inicio de la fuerza se definió como el instante en el que la fuerza se elevó por encima del 1% de la MVIC y no disminuyó para las siguientes 3 muestras de datos.

“

*Las variables analizadas fueron la MVIC y la TDF al 30% (TDF<sub>30</sub>), 50% (TDF<sub>50</sub>) y 90% (TDF<sub>90</sub>) de la MVIC, que corresponden a la pendiente media de la curva fuerza-tiempo. ”*

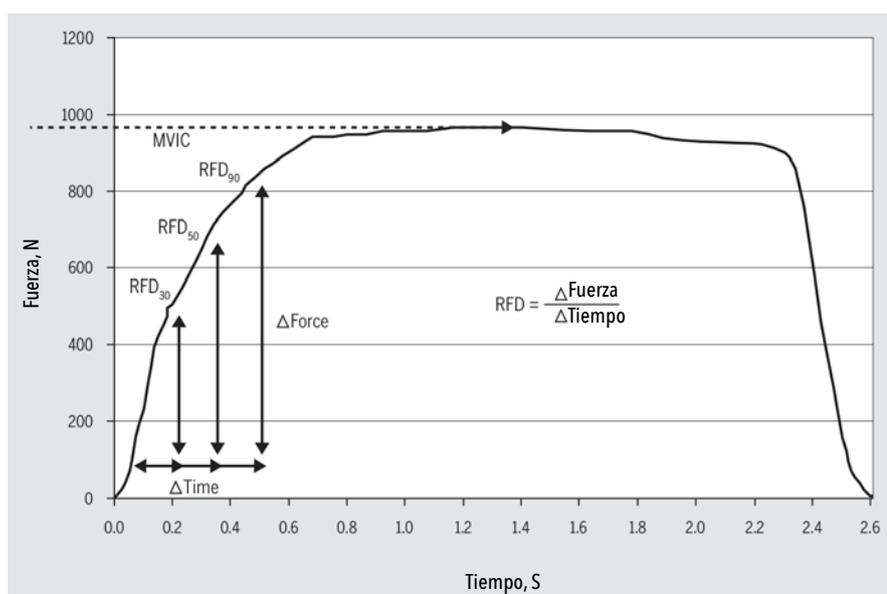


Figura 2. Relación fuerza-tiempo de 1 deportista. La máxima contracción isométrica voluntaria (MVIC) es el valor pico. La tasa de desarrollo de fuerza al 30% (TDF<sub>30</sub>), 50% (TDF<sub>50</sub>) y 90% (TDF<sub>90</sub>) de MVIC es la pendiente de la curva fuerza-tiempo desde el inicio de la aplicación de fuerza hasta el umbral respectivo.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar que los datos estuvieran distribuidos normalmente, lo que permitió el uso de pruebas paramétricas. Los datos se informaron como media del grupo  $\pm$  DE.

Para evaluar la presencia de diferencias significativas para TDF<sub>30</sub>, TDF<sub>50</sub>, TDF<sub>90</sub> y MVIC se utilizaron cuatro análisis de varianza (ANOVA) separados, bidireccionales y de medidas repetidas, con factores de extremidad (invo-

“

*Los resultados para MVIC y TDF30, TDF50 y TDF90 se resumen en la tabla 1.* ”

lucrados versus no involucrados) y tiempo (antes de la reconstrucción del LCA y 6 y 12 meses después de la reconstrucción). Se utilizó la comparación post hoc de Tukey para determinar diferencias significativas entre los valores medios cuando se encontraron interacciones significativas o efectos principales. Se utilizó un ANOVA de una vía para comparar los valores medios de las puntuaciones de IKDC, Tegner y KT1000 entre el período posterior a la lesión y los 6 y 12 meses posteriores a la reconstrucción. Las relaciones entre TDF<sub>30</sub>, TDF<sub>50</sub>, TDF<sub>90</sub> y MVIC y las medidas de resultado clínico (IKDC, Tegner, KT1000) se calcularon 6 meses después de la reconstrucción del LCA utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, y se interpretaron de la siguiente manera: 0,00 a 0,19, correlación muy débil; 0,20 a 0,39, correlación débil; 0,40 a 0,69, correlación moderada; 0,70 a 0,89, correlación fuerte; y 0,90 a 1,0, correlación muy fuerte (14). Todos los análisis se realizaron utilizando MedCalc Versión 10.2.0 (MedCalc Software bvba, Mariakerke, Bélgica) y Stata Versión 8.2 (StataCorp LP, College Station, TX). Un nivel alfa de .05 se consideró estadísticamente significativo.

#### RESULTADOS

En la evaluación del IKDC después de la lesión / antes de la reconstrucción, 2 pacientes (4%) calificaron su rodilla como normal (grado A), 7 pacientes (16%) como casi normal (grado B), 15 pacientes (33%) como anormal (grado C), y 21 pacientes (47%) como severamente anormales (grado D). En la evaluación de 6 meses después de la reconstrucción, 31 pacientes (69%) calificaron su rodilla reconstruida como normal, 13 pacientes (29%) como casi normal y 1 paciente (2%) como anormal. En la evaluación de 12 meses después de la reconstrucción, 38 pacientes (84%) calificaron su rodilla reconstruida como normal y 7 pacientes (15%) como casi normal. Las puntuaciones del grupo IKDC fueron  $44 \pm 3$  de 100 puntos posibles después de la lesión / antes de la reconstrucción, y  $86 \pm 7$  y  $93 \pm 9$  puntos a los 6 y 12 meses después de la reconstrucción, respectivamente. Las diferencias en las puntuaciones en los 3 momentos fueron estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Los puntajes medios de Tegner (de un puntaje máximo de 10) fueron 3.5 (rango, 0-6) en la post lesión / antes de la reconstrucción, 6.5 (rango, 4-8) a los 6 meses y 8.6 (rango, 6-10) a los 12 meses. Las diferencias entre estos valores fueron estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

La cantidad promedio de desplazamiento anterior de la tibia durante la prueba con el KT1000, con una carga de 13,61 kg, fue superior a 5 mm en todos los deportistas en la evaluación posterior a la lesión / antes de la reconstrucción, con una diferencia de lado a lado de  $6.2 \pm 3,7$  mm. En las evaluaciones posteriores a la reconstrucción de 6 y 12 meses, las diferencias de lado a lado en la carga máxima fueron de  $2,5 \pm 1,9$  y  $1,8 \pm 1,2$  mm, respectivamente. Todas las diferencias fueron estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Los resultados para MVIC y TDF<sub>30</sub>, TDF<sub>50</sub> y TDF<sub>90</sub> se resumen en la tabla 1. El ANOVA bidireccional para los valores MVIC no reveló ninguna interacción significativa ( $F = 9,14$ ,  $P > 0,05$ ). En la evaluación de 6 meses después de la reconstrucción, la MVIC media del lado afectado fue del 97% del

valor obtenido en la evaluación inicial (tabla 1) y del 96% del valor del lado no afectado, que también se evaluó 6 meses después de la reconstrucción. En la evaluación a los 12 meses luego de la reconstrucción, la MVIC media del lado afectado fue del 104% del valor inicial (tabla 1) y del 98% de la MVIC del lado no afectado, que también se evaluó 12 meses después de la reconstrucción.

El ANOVA bidireccional indicó una interacción significativa ( $F = 38,75$ ,  $P < 0,01$ ) para los valores de  $TDF_{30}$ . El análisis post hoc posterior no indicó diferencias significativas en los valores de  $TDF_{30}$  entre las extremidades afectadas y no afectadas medidas al inicio (antes de la lesión) y 12 meses después de la reconstrucción. Sin embargo, hubo una diferencia significativa entre las extremidades a los 6 meses de la reconstrucción (tabla 1). Un análisis posterior no mostró diferencias significativas entre los valores de  $TDF_{30}$  para la extremidad no afectada obtenidos al inicio del estudio y a los 6 y 12 meses después de la reconstrucción (tabla 1). Para la extremidad afectada, hubo una diferencia significativa en los valores de  $TDF_{30}$  entre el valor inicial y los 6 meses, pero no entre el valor inicial y los 12 meses.

A los 6 meses posteriores a la reconstrucción, el valor promedio de  $TDF_{30}$  para el lado afectado fue sólo el 80% del valor inicial (tabla 1, figura 3) y sólo el 79% del valor del lado no afectado, que también se midió 6 meses después de la reconstrucción. A los 12 meses de la reconstrucción, el valor medio de  $TDF_{30}$  para el lado afectado fue 98% del valor inicial y 97% del valor del lado no afectado, que también se evaluó a los 12 meses posteriores a la reconstrucción (tabla 1). Del mismo modo, se observó una interacción importante ( $F = 33,44$ ,  $P < 0,01$ ) para los valores de  $TDF_{50}$ . La comparación post hoc demostró los mismos resultados que los detallados anteriormente para los valores de  $TDF_{30}$  (tabla 1).

El valor promedio de  $TDF_{50}$  a los 6 meses después de la reconstrucción para el lado afectado fue solo el 77% del valor inicial (tabla 1, figura 3) y solo el 79% del valor del lado no afectado, que también se evaluó 6 meses después de la reconstrucción. A los 12 meses de la reconstrucción, el valor de  $TDF_{50}$  promedio para el lado afectado fue del 93% del valor inicial y del 92% del valor del lado no afectado, que también se evaluó a los 12 meses posteriores a la reconstrucción (tabla 1).

También se observó una interacción significativa ( $F = 26,65$ ,  $p < 0,01$ ) para los valores de  $TDF_{90}$ , siendo los resultados de la comparación post hoc coherentes con los resultados de  $TDF_{30}$  y  $TDF_{50}$  (tabla 1). El valor promedio de  $TDF_{90}$  a los 6 meses después de la reconstrucción para el lado afectado fue sólo el 63% del valor inicial (tabla 1, figura 3) y sólo el 72% del valor del lado no afectado, que también se evaluó a los 6 meses de la reconstrucción. A los 12 de la reconstrucción, el valor de  $TDF_{90}$  promedio para el lado afectado fue 91% del valor inicial y 89% del valor del lado no afectado, que también se evaluó a los 12 meses de la reconstrucción (tabla 1).

A los 6 meses post reconstrucción, los coeficientes de correlación de Pearson no indicaron una asociación significativa entre  $TDF_{30}$ ,  $TDF_{50}$  y  $TDF_{90}$  y las puntuaciones de IKDC, Tegner o KT1000 (tabla 2).

“  
El ANOVA bidireccional  
indicó una interacción  
significativa ( $F = 38,75$ ,  
 $P < 0,01$ ) para los valores  
de  $TDF_{30}$ .”

**TABLA 1**  
**COMPARACIÓN ENTRE LAS PUNTUACIONES BASALES Y LAS PUNTUACIONES POSTERIORES A LA RECONSTRUCCIÓN, A LOS 6 Y 12 MESES, DE MVIC Y TDF<sub>30</sub>, TDF<sub>50</sub> Y TDF<sub>90</sub> \***

Resultados	6 MESES POST RECONSTRUCCIÓN (N = 44)				12 MESES POST RECONSTRUCCIÓN (N = 44)		
	Línea de base (n = 44)	Resultados	Diferencia media en comparación con la evaluación inicial (IC del 95%)	Valor de P	Resultados	Diferencia media en comparación con la evaluación inicial (IC del 95%)	Valor de P
<b>MVIC, N</b>							
Involucrados	1241 ± 510	1208 ± 516	-33 (-245, 179)	.75	1290 ± 630	49 (-188, 286)	.68
No involucrado	1278 ± 519	1260 ± 497	-18 (-228, 192)	.86	1310 ± 530	32 (-185, 249)	.77
Diferencia media (IC del 95%)	37 (-176, 250)	52 (-157, 261)			20 (-221, 261)		
Valor de P	.73	.62			.87		
<b>TDF<sub>30</sub>, N/s</b>							
Involucrados	3959 ± 2087	3168 ± 1669	-791 (-1573, -8)	.04	3886 ± 2029	-73 (-925, 779)	.86
No involucrado	3980 ± 2123	3985 ± 1897	5 (-829, 839)	.99	3995 ± 2187	15 (-887, 907)	.97
Diferencia media (IC del 95%)	21 (-851, 893)	817 (77, 1557)			109 (-704, 922)		
Valor de P	.96	.03			.79		
<b>TDF<sub>50</sub>, N/s</b>							
Involucrados	4904 ± 2751	3791 ± 2106	-1113 (-2127, -98)	.03	4560 ± 2245	-344 (-1384, 696)	.51
No involucrado	4918 ± 2123	4819 ± 2497	-99 (-1059, 861)	.83	4980 ± 2455	62 (-888, 1012)	.89
Diferencia media (IC del 95%)	14 (-1003, 1031)	1028 (71, 1984)			420 (-554, 1394)		
Valor de P	.97	.03			.39		
<b>TDF<sub>90</sub>, N/s</b>							
Involucrados	2634 ± 1987	1672 ± 1340	-962 (-1664, -260)	.01	2396 ± 1912	-238 (-1045, 569)	.56
No involucrado	2609 ± 1898	2333 ± 1611	-276 (-1005, 453)	.45	2678 ± 2070	69 (-753, 891)	.86
Diferencia media (IC del 95%)	-25 (-829, 779)	661 (47, 1274)			282 (-543, 1107)		
Valor de P	.95	.03			.49		

Abreviaturas: IC, intervalo de confianza; MVIC, máxima contracción isométrica voluntaria; TDF<sub>30</sub>, tasa de desarrollo de fuerza al 30% de MVIC; TDF<sub>50</sub>, tasa de desarrollo de fuerza al 50% de MVIC; TDF<sub>90</sub>, tasa de desarrollo de fuerza al 90% de MVIC.  
 \* Los valores son la media ± DE a menos que se indique lo contrario.

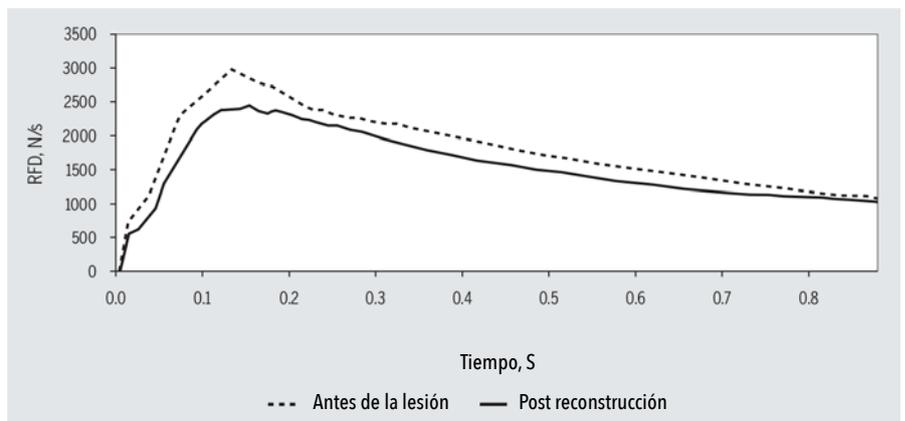


Figura 3. Datos representativos que comparan la relación entre la tasa de desarrollo de la fuerza (TDF) y el tiempo, en el período que abarca desde antes de la lesión y 6 meses después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior para un deportista que realiza una prueba de fuerza isométrica de prensa de piernas.

**TABLA 1**  
**CORRELACIONES (PEARSON R) ENTRE LOS VALORES DE TDF Y**  
**LAS PUNTUACIONES DE IKDC, TEGNER Y KT1000 A LOS 6 MESES**  
**DE LA RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR \***

	Puntaje IKDC	Puntaje Tegner	KT1000
TDF <sub>30</sub>	0,123	0,290	0,131
TDF <sub>50</sub>	0,144	0,240	0,148
TDF <sub>90</sub>	0,201	0,198	0,172

Abreviaturas: IKDC, International Knee Documentation Committee; TDF<sub>30</sub>, tasa de desarrollo de la fuerza al 30% de máxima contracción isométrica voluntaria; TDF<sub>50</sub>, tasa de desarrollo de fuerza al 50% de máxima contracción isométrica voluntaria; TDF<sub>90</sub>, tasa de desarrollo de fuerza al 90% de máxima contracción isométrica voluntaria.

\* P > .05 para todos los coeficientes de correlación (r).

## DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio en el que se ha utilizado la TDF para evaluar a jugadores de fútbol que se han sometido a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Este también fue el primer estudio que incluyó datos MVIC y TDF previos a la lesión, ya que todos los jugadores fueron evaluados antes del inicio de la temporada competitiva como parte de su evaluación estándar de pretemporada. Los datos de MVIC y TDF para la extremidad inferior afectada a los 6 y 12 meses después de la reconstrucción del LCA se compararon con los valores previos a la lesión de la misma extremidad inferior y los de la extremidad no afectada contralateral en los mismos puntos de tiempo. Esta es una fortaleza significativa de este estudio, ya que el uso de la extremidad contralateral como única comparación ha sido criticado por algunos autores<sup>(43)</sup>, quienes argumentan que los pacientes que se han sometido a una reconstrucción unilateral del LCA tienen un déficit bilateral en la activación voluntaria del cuádriceps durante más de 2 años.

Este estudio encontró que los valores de TDF medidos a los 6 meses después de la reconstrucción del LCA eran significativamente más bajos que los medidos antes de la lesión del LCA, lo que indica un déficit residual significativo. Esto contrasta con las puntuaciones de MVIC, que estaban muy cerca de las obtenidas antes de la lesión al mismo tiempo. El hecho de que la TDF no haya vuelto a los niveles previos a la lesión después de 6 meses de rehabilitación (la cantidad de tiempo que a menudo se recomienda para la recuperación y el regreso al deporte después de la reconstrucción del LCA<sup>(23, 34)</sup>) es motivo de preocupación. Estudios previos realizados en individuos después de la reconstrucción del LCA han enfatizado en la evaluación de la fuerza muscular máxima registrada como MVIC isométrica o dinámica, con la recomendación de que la fuerza de la extremidad operada sea del 85 al 90% de la extremidad no operada como criterio para que los atletas vuelvan a la actividad deportiva competitiva<sup>(29)</sup>. Sin embargo, como demuestran nuestros resultados, aunque la MVIC había regresado casi por completo a su valor anterior a la lesión a los 6 meses, tomó 12 meses, incluyendo 20 semanas de entrenamiento enfatizando la mejora de la TDF,

“

*Este estudio encontró que los valores de TDF medidos a los 6 meses después de la reconstrucción del LCA eran significativamente más bajos que los medidos antes de la lesión del LCA, lo que indica un déficit residual significativo.*

”

“

*Los hallazgos de nuestro estudio, que son consistentes con los datos de otros estudios, sugieren que otros factores, como el control neuromuscular, pueden influir en el resultado después de la reconstrucción del LCA.*

”

antes de que los valores de TDF volvieran a sus niveles previos a la lesión. Por lo tanto, confiar en los criterios MVIC no garantiza que los valores de TDF hayan regresado a los niveles previos a la lesión.

Debido a que algunos autores <sup>(7, 48)</sup> han sugerido que la actividad muscular adecuada debe ocurrir dentro de una ventana de 30 a 70 milisegundos desde el inicio de la carga articular para proteger eficazmente el LCA, la falla de este mecanismo de protección puede exponer al LCA a fuerzas excesivas y contribuir a lesiones sin contacto del LCA <sup>(40)</sup>. Los autores de un estudio previo <sup>(9)</sup> demostraron que la rigidez del complejo tendón-aponeurosis puede explicar hasta el 30% de la variación en la TDF voluntaria durante la fase tardía de la contracción (150-250 milisegundos), que corresponde aproximadamente a la TDF<sub>50</sub> de nuestro estudio. Debido a que encontramos diferencias significativas en los valores de TDF y no en los valores de MVIC a los 6 meses de la reconstrucción del LCA, creemos que la TDF podría ser un buen predictor del nivel de protección ofrecido al LCA por el sistema neuromuscular. Nuestros hallazgos están respaldados por un estudio previo en el que se encontró que la activación explosiva en varios movimientos humanos estaba involucrada en mayor medida por la TDF que por el MVIC <sup>(2, 38)</sup>. Además, la TDF, así como el T25-50 (el tiempo requerido para pasar del 25% al 50% de MVIC) y otros parámetros dependientes del tiempo, se relacionaron significativamente con acciones de fuerza explosiva y saltos verticales <sup>(30)</sup>. Curiosamente, se relacionó a la TDF, y no a MVIC, tanto con funciones subjetivas de la rodilla <sup>(24)</sup> como con la máxima velocidad de marcha <sup>(39)</sup> en pacientes sometidos a artroplastia total de cadera.

Nuestro estudio sugiere que la restauración de la estabilidad de los ligamentos según la evaluación de las pruebas IKDC, Tegner y KT1000, y de la fuerza muscular máxima según la evaluación de la MVIC, son solo algunas de las pruebas a las que los deportistas deben someterse antes de poder volver a la práctica deportiva de forma segura. Los hallazgos de nuestro estudio, que son consistentes con los datos de otros estudios <sup>(36, 48)</sup>, sugieren que otros factores, como el control neuromuscular, pueden influir en el resultado después de la reconstrucción del LCA. De hecho, al evaluar la función neuromuscular utilizando una batería de prueba de salto, Gustavsson y sus colegas <sup>(16)</sup> encontraron que solo 1 de cada 10 sujetos evaluados había recuperado el rendimiento del salto 6 meses después de la reconstrucción del LCA. Augustsson y colegas <sup>(6)</sup> obtuvieron resultados similares al estudiar el aterrizaje a partir de una prueba máxima de salto por distancia con una sola pierna. En el estudio de Augustsson y colegas <sup>(6)</sup>, los pacientes que se habían sometido a una reconstrucción del LCA tenían una capacidad significativamente reducida para producir una gran cantidad de fuerza rápidamente (es decir, producían menor potencia muscular) en el miembro operado en comparación con el miembro no operado.

Varios estudios han demostrado que producir un alto nivel de fuerza rápidamente es más importante que solo ser capaz de producir un alto nivel de fuerza, y que el deterioro de la fuerza explosiva es más específico del deporte y, por lo tanto, refleja mejor las grandes exigencias impuestas por los deportes <sup>(2, 22)</sup>. El hecho de que la TDF se determine a través de esta

compresión temporal de la secuencia de reclutamiento <sup>(12, 26)</sup> podría explicar el efecto positivo del entrenamiento de las acciones de fuerza explosiva sobre el rendimiento de la TDF observado en nuestro estudio a los 12 meses de seguimiento. La evaluación de la fuerza muscular máxima y la fuerza muscular explosiva es fundamental para el desempeño de las actividades deportivas y diarias <sup>(35)</sup> y para el proceso de rehabilitación. En realidad, las pruebas de salto de una sola extremidad se utilizan a menudo para identificar asimetrías persistentes de las extremidades en los deportistas después de la reconstrucción del LCA <sup>(28)</sup>.

Una limitación de nuestro estudio es que el grupo de pacientes estaba compuesto exclusivamente por futbolistas profesionales masculinos, pudiendo encontrarse resultados diferentes en otras poblaciones deportivas o en una población sedentaria y con un programa de rehabilitación diferente. Otra limitación es que la prueba de prensa de piernas utilizada en este estudio no es específica para la función de los cuádriceps, ya que requiere la activación de otros músculos, como los extensores de la cadera, que pueden tener la capacidad de compensar el déficit residual del cuádriceps. Puede ser útil desarrollar pruebas específicas para los cuádriceps y los isquiotibiales, porque ambos juegan un papel importante en la estabilización de la articulación de la rodilla <sup>(37)</sup>.

## CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio demostraron un déficit significativo en la TDF a los 6 meses de la reconstrucción del LCA en una población de futbolistas profesionales que habían completado un programa de rehabilitación estandarizado típico. Este déficit estuvo presente a pesar de la recuperación casi completa de las medidas de resultado clínico estándar (IKDC, Tegner, KT1000 y MVIC) que se utilizan a menudo para decidir el retorno al deporte de los atletas. La recuperación completa de la TDF se logró 12 meses después de la reconstrucción del LCA, luego de 20 semanas de rehabilitación adicional dirigida a la recuperación de la TDF. Estos resultados sugieren que la evaluación de la TDF puede proporcionar otro parámetro objetivo de recuperación en las decisiones relacionadas con la recuperación y el regreso a los deportes.

## PUNTOS CLAVE

### RESULTADOS

Los déficits en la TDF se mantuvieron 6 meses después de la cirugía, a pesar de la recuperación completa de MVIC. La recuperación completa de la TDF se logró 12 meses después de la cirugía después de 20 semanas adicionales de rehabilitación.

### IMPLICACIONES

Los resultados indican que la TDF necesita ser considerada para la evaluación de individuos después de la reconstrucción del LCA como parte de una batería de pruebas estandarizadas para determinar la recuperación y la preparación para el regreso al deporte.

## PRECAUCIÓN

Debido a que este estudio se realizó exclusivamente en jugadores de fútbol profesionales masculinos, nuestros resultados requieren cautela en su generalización a otras poblaciones de deportistas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aagaard P. Training-induced changes in neural function. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003;31:61-67.
2. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol.* 2002;93:1318-1326. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>
3. Andersen LL, Aagaard P. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol.* 2006;96:46-52. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-005-0070-z>
4. Arden CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *Am J Sports Med.* 2011;39:538-543. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546510384798>
5. Arden CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med.* 2011;45:596-606. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2010.076364>
6. Augustsson J, Thomeé R, Lindén C, Folkesson M, Tranberg R, Karlsson J. Single-leg hop testing following fatiguing exercise: reliability and biomechanical analysis. *Scand J Med Sci Sports.* 2006;16:111-120. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00446.x>
7. Beard DJ, Kyberd PJ, Fergusson CM, Dodd CA. Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament. An objective indication of the need for surgery? *J Bone Joint Surg Br.* 1993;75:311-315.
8. Bembem MG, Massey BH, Boileau RA, Misner JE. Reliability of isometric force-time curve parameters for men aged 20 to 79 years. *J Appl Sport Sci Res.* 1992;6:158-164.
9. Bojsen-Møller J, Magnusson SP, Rasmussen LR, Kjaer M, Aagaard P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol.* 2005;99:986-994. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01305.2004>
10. Chmielewski TL. Asymmetrical lower extremity loading after ACL reconstruction: more than meets the eye. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41:374-376. <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2011.0104>
11. de Ruyter CJ, Kooistra RD, Paalman MI, de Haan A. Initial phase of maximal voluntary and electrically stimulated knee extension torque development at different knee angles. *J Appl Physiol.* 2004;97:1693-1701. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00230.2004>
12. Duchateau J, Hainaut K. Mechanisms of muscle and motor unit adaptation to explosive power training. In: Komi PV, ed. *Strength and Power in Sport.* 2nd ed. Malden, MA: Blackwell Science; 2002:315-330.
13. Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Wilk KE, Andrews JR. Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:556-569.
14. Fowler J, Jarvis P, Chevannes M. *Practical Statistics for Nursing and Health Care.* West Sussex, UK: John Wiley & Sons; 2002.
15. Grabiner MD. Maximum rate of force development is increased by antagonist conditioning contraction. *J Appl Physiol.* 1994;77:807-811.
16. Gustavsson A, Neeter C, Thomeé P, et al. A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14:778-788. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-006-0045-6>
17. Harris GR, Stone MH, O'Bryant HS, Proulx CM, Johnson RL. Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *J Strength Cond Res.* 2000;14:14-20.

18. Hartigan EH, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Time line for noncopers to pass return-to-sports criteria after anterior cruciate ligament re-construction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40:141-154. <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2010.3168>
19. Hefti F, Müller W, Jakob RP, Stäubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1993;1:226-234.
20. Hoff J, Helgerud J. Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance. In: *Football (Soccer): New Developments in Physical Training Research.* Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology; 2002:39-55.
21. Hui C, Salmon LJ, Kok A, Maeno S, Linklater J, Pinczewski LA. Fifteen-year outcome of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft for "isolated" anterior cruciate ligament tear. *Am J Sports Med.* 2011;39:89-98. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546510379975>
22. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:364-380.
23. MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, Huebert D. Effects of an accelerated rehabilitation program after anterior cruciate ligament reconstruction with combined semitendinosus-gracilis autograft and a ligament augmentation device. *Am J Sports Med.* 1995;23:588-592.
24. Maffiuletti NA, Bizzini M, Widler K, Munzinger U. Asymmetry in quadriceps rate of force development as a functional outcome measure in TKA. *Clin Orthop Relat Res.* 2010:191-198. <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-009-0978-4>
25. Marques MC, van den Tilaar R, Vescovi JD, Gonzalez-Badillo JJ. Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2007;2:414-422.
26. Müller KJ, Schmidtbleicher D. Innervation pattern of isometric and concentric contractions of the human triceps brachii during elbow extension. In: Jonsson B, ed. *Biomechanics X.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1987:479-483.
27. Myer GD, Paterno MV, Ford KR, Quatman CE, Hewett TE. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: criteria-based progression through the return-to-sport phase. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36:385-402. <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2006.2222>
28. Myer GD, Schmitt LC, Brent JL, et al. Utilization of modified NFL combine testing to identify functional deficits in athletes following ACL reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41:377-387. <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2011.3547>
29. Østerås H, Augestad LB, Tøndel S. Isokinetic muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports.* 1998;8:279-282.
30. Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H. Knee extension strength and vertical jumping performance in Nordic combined athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001;41:354-361.
31. Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ, Russell VJ, Roe J, Linklater J. A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. *Am J Sports Med.* 2007;35:564-574. <http://dx.doi.org/10.1177/0363546506296042>
32. Pohl PS, Duncan P, Perera S, et al. Rate of isometric knee extension strength development and walking speed after stroke. *J Rehabil Res Dev.* 2002;39:651-657.
33. Sahaly R, Vandewalle H, Driss T, Monod H. Maximal voluntary force and rate of force development in humans – importance of instruction. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85:345-350.
34. Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1990;18:292-299.
35. Sheppard JM, Cormack S, Taylor KL, McGuigan MR, Newton RU. Assessing the force-velocity characteristics of the leg extensors in well-trained athletes: the incremental load power profile. *J Strength Cond Res.* 2008;22:1320-1326. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816d671b>
36. Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med.* 1987;15:207-213.
37. Solomonow M, Krogsgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports.* 2001;11:64-80.

38. Stone MH, Sands WA, Carlock J, et al. The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *J Strength Cond Res.* 2004;18:878-884. [http:// dx.doi.org/10.1519/14874.1](http://dx.doi.org/10.1519/14874.1)
39. Suetta C, Aagaard P, Magnusson SP, et al. Muscle size, neuromuscular activation, and rapid force characteristics in elderly men and women: effects of unilateral long-term disuse due to hip-osteoarthritis. *J Appl Physiol.* 2007;102:942-948. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00067.2006>
40. Swanik CB, Lephart SM, Giraldo JL, Demont RG, Fu FH. Reactive muscle firing of anterior cruciate ligament-injured females during functional activities. *J Athl Train.* 1999;34:121-129.
41. Tegner Y, Lysholm J, Lysholm M, Gillquist J. A performance test to monitor rehabilitation and evaluate anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med.* 1986;14:156-159.
42. Tidow G. Aspects of strength training in athletics. *New Stud Athl.* 1990;5:93-110.
43. Urbach D, Nebelung W, Weiler HT, Awiszus F. Bilateral deficit of voluntary quadriceps muscle activation after unilateral ACL tear. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:1691-1696.
44. Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol.* 1998;513(pt 1):295-305.
45. van Grinsven S, van Cingel RE, Holla CJ, van Loon CJ. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18:1128-1144. <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-009-1027-2>
46. Viitasalo JT. Effects of pretension on isometric force production. *Int J Sports Med.* 1982;3:149- 152. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2008-1026079>
47. Viitasalo JT, Saukkonen S, Komi PV. Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 1980;20:487-501.
48. Wojtys EM, Huston LJ. Neuromuscular performance in normal and anterior cruciate ligament-deficient lower extremities. *Am J Sports Med.* 1994;22:89-104.