

Article

Valoración Isoinercial de la Fuerza Muscular Excéntrica

Isoinertial Assessment of Eccentric Muscular Strength

John Cronin, PhD^{1,2}, Cesar Meylan¹ y Ken Nosaka¹

¹Edith Cowan University, Joondalup, Australia.

²Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand.

RESUMEN

La fuerza excéntrica es un componente importante del rendimiento en actividades cotidianas y deportivas; por lo tanto, la valoración de esta capacidad es importante. Característicamente, se utilizan dinamómetros isocinéticos para valorar la capacidad de fuerza excéntrica. Sin embargo, debido a las limitaciones asociadas con el modo de contracción (i.e., velocidad constante), con esta forma de evaluación se pudo obtener poca información respecto del rendimiento funcional de los músculos. Consecuentemente, la valoración isoinercial de la fuerza excéntrica puede proveer información de mayor utilidad para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento de los practicantes. Este artículo revisa las pocas investigaciones que existen en esta área, discutiendo las metodologías y limitaciones de los tests utilizados para cuantificar la fuerza muscular excéntrica.

Palabras Clave: tasa de desarrollo de la fuerza, fuerza pico, confiabilidad, repetición máxima, isoinercial

ABSTRACT

La fuerza excéntrica es un componente importante del rendimiento en actividades cotidianas y deportivas; por lo tanto, la valoración de esta capacidad es importante. Característicamente, se utilizan dinamómetros isocinéticos para valorar la capacidad de fuerza excéntrica. Sin embargo, debido a las limitaciones asociadas con el modo de contracción (i.e., velocidad constante), con esta forma de evaluación se pudo obtener poca información respecto del rendimiento funcional de los músculos. Consecuentemente, la valoración isoinercial de la fuerza excéntrica puede proveer información de mayor utilidad para el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento de los practicantes. Este artículo revisa las pocas investigaciones que existen en esta área, discutiendo las metodologías y limitaciones de los tests utilizados para cuantificar la fuerza muscular excéntrica.

Keywords: tasa de desarrollo de la fuerza, fuerza pico, confiabilidad, repetición máxima, isoinercial

INTRODUCCION

Una contracción dinámica consiste de una contracción concéntrica (acortamiento) o excéntrica (alargamiento) o una

combinación de ambos tipos de contracción, lo cual ha sido denominado ciclo de estiramiento-acortamiento o SSC (30). Las contracciones concéntricas se producen cuando la tensión total desarrollada por un músculo es suficiente como para superar cualquier resistencia y provocar el acortamiento de los músculos. Las contracciones excéntricas se producen cuando la tensión desarrollada en el músculo es menor que la resistencia externa y por lo tanto el músculo se alarga (4). Las contracciones dinámicas también pueden clasificarse como isotónicas (tensión muscular constante a lo largo del todo el rango de movimiento), isocinéticas (velocidad constante a lo largo del rango de movimiento) o isoinerciales (carga gravitacional constante) (2). Dado que existen múltiples tipos de contracción y múltiples modos de contracción que pueden valorarse, la presente revisión solo se enfocará en la valoración de la fuerza excéntrica isoinercial. Primero se detallarán las diferencias fisiológicas y mecánicas entre las contracciones concéntricas y excéntricas. Segundo se discutirá el rol de las contracciones excéntricas en el rendimiento deportivo. Tercero, se discutirá la valoración de la fuerza excéntrica con referencia a los métodos utilizados y sus limitaciones. Por último, se sugerirán algunas aplicaciones y futuras líneas de investigación.

DIFERENCIAS FISIOLÓGICAS Y MECÁNICAS ENTRE LAS CONTRACCIONES CONCÉNTRICAS Y EXCÉNTRICAS

Las contracciones concéntricas y excéntricas difieren en términos de parámetros neurales, mecánicos y fisiológicos. Se ha establecido que durante las contracciones excéntricas se producen mayores tensiones que durante las contracciones concéntricas (14, 27, 32). El orden de reclutamiento, la tasa de descarga y el umbral de reclutamiento de las unidades motoras son diferentes de las observadas en las contracciones concéntricas o isométricas (14), haciendo que los comandos que controlan las contracciones excéntricas sean únicos. También se sabe que el retraso electromecánico, lo cual hace referencia al tiempo que transcurre entre la respuesta biomecánica y el comienzo de la tensión muscular, es más corto durante las contracciones excéntricas que durante las contracciones concéntricas (11). Además, la activación cortical (actividad del sistema nervioso central) ha mostrado ser mayor tanto en amplitud como en dimensión durante contracciones excéntricas máximas que durante contracciones concéntricas máximas. Se cree que esta actividad adicional del sistema nervioso central durante las contracciones excéntricas máximas es necesaria para (a) construir patrones motores únicos, (b) controlar la mayor dificultad de movimiento y (c) limitar el nivel de activación muscular para reducir el riesgo de lesión (15). Durante la locomoción normal, los músculos en conjunto realizan una mayor cantidad de trabajo positivo (acortamiento) que negativo (alargamiento) (13). Además, desde un punto de vista mecánico, las contracciones excéntricas difieren de las concéntricas por su potencial para almacenar y utilizar energía elástica, la cual puede ser utilizada en la siguiente contracción concéntrica (10). Los músculos actúan como estructuras para absorber impactos (i.e., resortes) cuando absorben el trabajo mecánico a la vez que se alargan en forma excéntrica. La energía absorbida durante el estiramiento (fase excéntrica) en la unidad músculotendinosa con frecuencia se disipa en forma de calor, pero la energía elástica también puede ser almacenada y recuperada si se realiza una inmediata contracción concéntrica. Aparentemente la contracción excéntrica potencia la fuerza ejercida durante la siguiente contracción concéntrica.

Diversos estudios (7, 8, 31) han mostrado que las contracciones concéntricas precedidas por una carga excéntrica eran más potentes (10-20%) que las contracciones concéntricas aisladas. Las contracciones excéntricas, en comparación con las contracciones concéntricas, generan mayor tensión mecánica con menor costo metabólico (indicado por el costo de oxígeno) (5). Además, se ha observado una menor presión sanguínea durante la fase excéntrica del SSC (33). Durante las contracciones excéntricas, la temperatura de los músculos y de la piel son mayores que durante las contracciones concéntricas (43), reflejando que la energía mecánica absorbida por el cuerpo debe almacenarse o disiparse como calor (44). En términos de la relación fuerza-velocidad (Figura 1), la producción de fuerza durante una contracción excéntrica máxima puede exceder en 1.5 a 2 veces las contracciones isométricas voluntarias máximas (MVICs) in situ (intervención realizada en el tejido muscular en su lugar natural, e.g., electroestimulación percutánea) durante contracciones isocinéticas (54). Sin embargo, existe evidencia de que dichos valores de fuerza no pueden alcanzarse durante contracciones voluntarias debido a la inhibición provocada por el sistema nervioso central para proteger los músculos y tendones (53, 24). Como resultado, la pendiente de la fuerza excéntrica - la curva de la relación puede alcanzar una meseta temprana in vivo (observación del músculo en su ambiente natural de entrenamiento), o un incremento constante en la producción de fuerza sin un incremento concomitante en la velocidad (Figura 1).

Como se muestra en la Figura 1, la producción de fuerza excéntrica ocurre relativamente independiente de la velocidad a diferencia de lo que ocurre con la relación fuerza concéntrica - velocidad. Como se ilustra en la Figura 1, la pendiente de la curva de la relación fuerza - velocidad aproximadamente en el punto isométrico es discontinua. Las fuerzas excéntricas se incrementan rápidamente alrededor de este punto en función de la velocidad de alargamiento y mucho más rápido que la reducción de fuerza en función de la velocidad de acortamiento. Las implicancias de esto son (a) las contracciones excéntricas, isométricas y concéntricas tienen particularidades únicas y deberían valorarse independientemente, y (b) la

carga utilizada para valorar y desarrollar la fuerza excéntrica debería ser mayor que la MVIC y/o la fuerza concéntrica máxima (una repetición máxima o 1RM) del grupo muscular y/o ejercicio de interés.

FUERZA EXCENTRICA Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Muchos movimientos en el deporte imponen altas cargas excéntricas sobre el sistema muscular, particularmente cuando se requiere la reducción del impulso creado por una extremidad o por todo el cuerpo. Por ejemplo, los isquiotibiales trabajan en forma excéntrica para desacelerar el movimiento hacia delante de la extremidad inferior en la última fase de la zancada de carrera. Cuando un individuo realiza un esprint, la fase de desaceleración se acorta, requiriendo de una mayor activación muscular excéntrica de los isquiotibiales para compensar el mayor impulso hacia delante de la pierna (39). Con respecto a la carga vertical del cuádriceps durante un esprint, si la musculatura de la pierna puede resistir el impulso descendente del centro de masa (COM), entonces el ascenso y descenso del COM será menor. Esto resulta en un menor desplazamiento vertical del COM para una fuerza dada y por lo tanto afecta la rigidez (fuerza/desplazamiento) de la zancada de carrera; lo cual a su vez afecta el tiempo de contacto con el suelo. Debido a que la velocidad es el producto de la longitud y la frecuencia de zancada, una mayor fuerza excéntrica de los cuádriceps podría ser potencialmente ventajosa, especialmente en términos de frecuencia de zancada (37). Los cambios de dirección requieren de impulsos de desaceleración y del emplazamiento del pie para producir una fuerza lateral contra el piso. Para cambiar de dirección rápidamente, los atletas deben ser capaces de resistir los impulsos laterales, horizontales y verticales descendentes del COM a través de contracciones excéntricas de los músculos extensores de la pierna (46, 60). Además, en deportes de raqueta tales como el tenis, el squash y el bádminton, o en la esgrima, los cuales involucran movimientos similares a las estocadas, la fuerza excéntrica durante estos movimientos será crítica para el rendimiento. Esto es, si la fuerza excéntrica (e.g., fuerza pico, fuerza media, tasa de desarrollo de la fuerza) de la musculatura de la pierna es alta, el impulso hacia delante del COM puede ser contrarrestado en un corto período de tiempo, lo cual permitirá un más rápido retorno a una posición óptima en la cancha o la pista (área competitiva del esgrima).

VALORACION DE LA FUERZA EXCENTRICA

De la discusión previa se puede observar que las acciones excéntricas difieren fisiológica y mecánicamente de los otros tipos de contracción muscular. Además, parece que la contracción excéntrica es un importante componente del rendimiento deportivo. Dada esta información, parece que sería beneficioso para los entrenadores de la fuerza y el acondicionamiento, conocer las formas más apropiadas para valorar la fuerza excéntrica.

Evaluación Isocinética

Como se discutiera previamente, las características de las contracciones excéntricas, isométricas y concéntricas son diferentes, y por lo tanto, la valoración de estos tipos de contracción debe ser específica para así proveer una imagen global de la función muscular. Ciertos deportes pueden requerir diferentes combinaciones de estos tipos de contracción, ya sea con fines de pronóstico o de diagnóstico. Por ejemplo, la fuerza concéntrica es importante para los remeros y ciclistas. La fuerza isométrica del núcleo corporal, es importante para deportistas tales como los velocistas y nadadores. Tal como se discutiera previamente, la fuerza excéntrica es importante en el deporte. Con respecto a la valoración de la fuerza isométrica y concéntrica existen múltiples métodos y equipos que han sido utilizados para cuantificar estas variables (12, 24, 47, 58). Sin embargo, a parte de los protocolos de evaluación isocinética, muy pocos protocolos están disponibles para la valoración de la fuerza muscular excéntrica. La valoración isocinética es el método de elección para la valoración de la función muscular excéntrica ya que permite la examinación de variables tales como el torque pico a diferentes velocidades a través de todo el rango de movimiento. Sin embargo, la valoración isocinética establece la velocidad de movimiento a una tasa constante, lo cual es diferente de los movimientos que se realizan en los deportes y en las actividades cotidianas (2). Además, los dinamómetros isocinéticos comúnmente se utilizan para la valoración de ejercicios de cadena cinética abierta en una única articulación, lo cual puede constituir una limitación en la valoración funcional, ya que la mayoría de los movimientos deportivos son movimientos multiarticulares de cadena cerrada (2, 16). Por último, la mayoría de los entrenadores de la fuerza y el acondicionamiento no tienen acceso a dinamómetros isocinéticos, los cuales por lo general son costosos y requieren de personal capacitado para la obtención de resultados válidos y confiables. Por lo tanto, para la valoración y representación de las cualidades dinámicas del músculo, podría ser mejor medir las fuerzas o torques que pueden producirse contra una masa que se opone constantemente al movimiento (isoinercial), en lugar de realizar la medición a velocidad constante, logrando así simular las actividades cotidianas y deportivas.

Evaluación Isoinercial

En términos de valoración isoinercial, no existen muchos estudios que hayan utilizado este método para valorar la fuerza excéntrica de los músculos. Esto probablemente se debe a factores tales como el control de la velocidad durante las contracciones excéntricas, el potencial de lesión asociado a la aplicación de cargas mayores a una MVIC o 1RM concéntrica (49), y con esto, la subsiguiente estandarización del movimiento. Sin embargo, hemos establecido que es necesario evaluar la fuerza excéntrica de dicha forma debido a las diferencias mecánicas y fisiológicas y para realizar una evaluación que sea específica. Esto es, la mayoría de las contracciones excéntricas realizadas en el campo están caracterizadas por altas velocidades y fuerzas (Figura 1) e involucran movimientos multiarticulares de cadena cerrada. Por lo tanto, para determinar la fuerza excéntrica de un atleta y su relación con el rendimiento se requiere valorar confiablemente la fuerza excéntrica, simulando la dinámica de contracción que se observa en el campo deportivo (validez lógica).

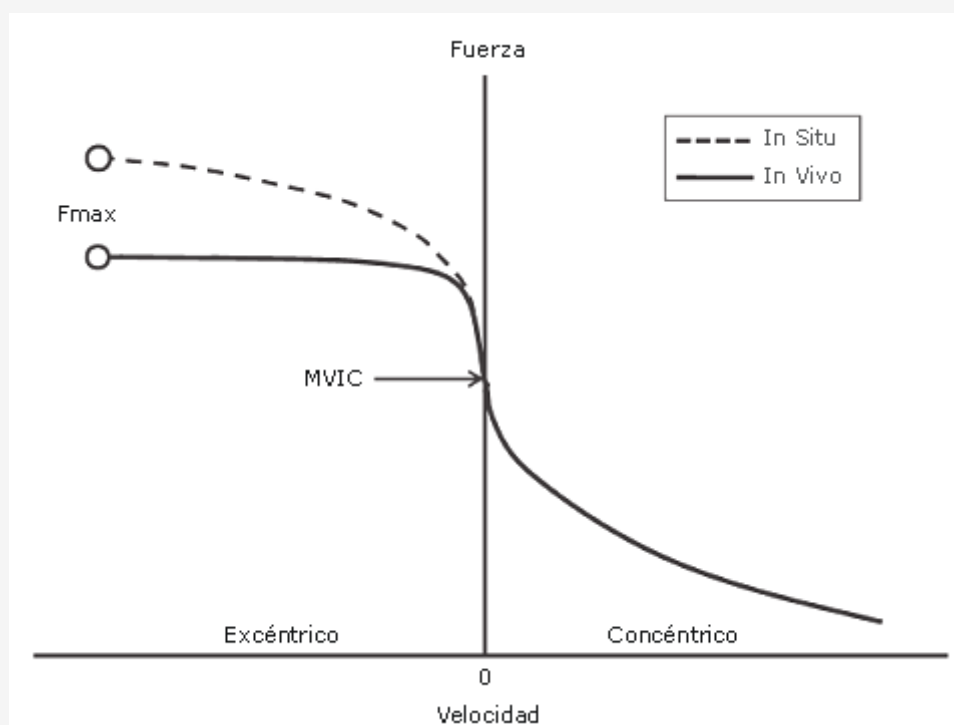


Figura 1. Esquema de la relación fuerza-velocidad de un músculo esquelético para contracciones concéntricas y excéntricas in vivo e in situ.

Se llevó a cabo una búsqueda en las bases de datos de Medline y SportDiscus con las palabras clave isoinercial, excéntrico, alargamiento, fuerza, valoración, confiabilidad y reproducibilidad. En total se encontraron 6 estudios en los cuales se utilizaron test isoinerciales para las extremidades superiores e inferiores. Solo 4 de estos estudios cuantificaron la confiabilidad de los diferentes tests isoinerciales utilizados (Tabla 1). Si bien el número de estudios que han investigado la valoración de la fuerza excéntrica es pequeño, estos estudios pueden ofrecer ciertos aspectos de los enfoques metodológicos y limitaciones que deben considerarse cuando se valora la fuerza excéntrica.

Enfoques Metodológicos y Limitaciones de los Ejercicios y Equipamientos

Hollander et al (21) valoraron la fuerza en 1RM excéntrica en 6 dispositivos isoinerciales: tirones de polea, press de banca, press de hombros, flexiones de rodilla, extensiones de rodilla y prensa de piernas. Los participantes recibieron instrucciones específicas para que realizaran una cadencia de 3 segundos en el rango de movimiento (ROM) para intentar comparar estos resultados con la confiabilidad de un dispositivo isocinético. Todos los ejercicios para el tren superior (tirones de polea, press de banca y press de hombros) son movimientos multiarticulares; sin embargo, solo se utilizó el ejercicio de prensa de piernas para el tren inferior. Todos los otros estudios revisados utilizaron ejercicios multiarticulares (17, 41, 42, 45, 57). Desde el punto de vista de la especificidad deportiva, esto es de importancia práctica ya que la mayoría de los movimientos deportivos son movimientos multiarticulares; por lo tanto, la valoración de la fuerza excéntrica

debe llevarse a cabo de dicha manera. Cuatro estudios (41, 42, 45, 57) utilizaron los mismos equipamientos para valorar la fuerza en press de banca (41, 45, 57) y sentadilla (42, 57) a alta velocidad. Para aplicar una carga constante a través de todo el ROM se utilizó una máquina Smith modificada y las mediciones de interés fueron registradas en una plataforma de fuerza. El estudio de Frohm et al (17) utilizó una máquina hidráulica para valorar el rendimiento en el ejercicio de press de banca, lo cual difiere de la máquina Smith modificada en que la máquina hidráulica genera la presión necesaria para levantar la barra (fase concéntrica) y mediante una válvula hidráulica ajustable se controló la velocidad de la barra. Consecuentemente, no solo se aplicó una masa constante a lo largo de todo el ROM sino que también una velocidad relativamente constante, lo cual permitió realizar comparaciones con los resultados obtenidos en un dinamómetro isocinético. Además, se utilizó una plataforma de fuerza para registrar las variables de interés.

Autores	Sujetos	Métodos/Evaluación	Confiabilidad
Hollander et al (2007)	10 hombres (25 años), 10 mujeres (23 años) ~ 1 años de experiencia en el entrenamiento de la fuerza	1RM excéntrica en 6 dispositivos. La 1RM debía ser realizada con una cadencia de 3 segundos a través del ROM	Test-retest – 2 semanas: ICC = 0.99
Frohm et al (2005)	13 hombres activos (40 años)	Sentadilla excéntrica – máquina hidráulica. Carga excéntrica de 220 kg – 3 reps: 2 submáx., 1 máx.	Test-retest – 2 semanas:
		Plataforma de fuerza - PF	CV = 9%, r = 0.74, ICC = 0.81
		Medición del desplazamiento de un sensor de movimiento - % de la talla corporal al PF	CV = 22%, r = 0.43, ICC = 0.57
Murphy et al (1997)	30 hombres (22 años) deportistas recreacionales (básquetbol, rugby, fútbol, pesas, atletismo)	Sentadilla excéntrica (máquina Smith modificada). Carga excéntrica: 200% de la masa corporal	No se llevaron a cabo análisis de confiabilidad
		Plataforma de fuerza – PF y RFD	
Wilson et al (1996)	41 hombres estudiantes de ciencias del ejercicio ~ 1 año de experiencia en el entrenamiento de la fuerza y sentadilla > BW	Press de banca y sentadilla (máquina Smith modificada). Carga en el press de banca excéntrico: 130% RM	No se llevaron a cabo análisis de confiabilidad
		Carga en la sentadilla excéntrica: 200% de la masa corporal	
		Plataforma de fuerza: PF y RFD	
Pryor et al (194)	13 (23 años) ~ 1 año de experiencia en el entrenamiento de la fuerza	Press de banca (máquina Smith modificada). Carga en el press de banca excéntrico: 100, 130 y 150 % RM	
		Plataforma de fuerza: PF y RFD	Inter prueba
		RFD 100% RM	ICC = 0.60
		RFD 130% RM	ICC = 0.65
		RFD 150% RM	ICC = 0.73
Murphy et al (1994)	13 (23 años) > 1 año de experiencia en el entrenamiento de la fuerza	Press de banca (máquina Smith modificada). Carga en el press de banca excéntrico: 100, 130 y 150 % RM	
		Plataforma de fuerza: PF y RFD	Inter prueba
		RFD 100% RM	ICC = 0.87
		RFD 130% RM	ICC = 0.91
		RFD 150% RM	ICC = 0.90

Tabla 1. Confiabilidad de las técnicas para la valoración de la fuerza excéntrica isoinercial. 1RM = 1 repetición máxima, PF = fuerza pico, RFD = tasa de desarrollo de la fuerza, ICC = coeficiente de correlación interclase, r = correlación producto-momento de Pearson, CV = coeficiente de variación, BW = peso corporal.

Carga y Variables Medidas

La mayoría de los investigadores y practicantes del entrenamiento de la fuerza utilizan un porcentaje de la fuerza individual en 1RM concéntrica (9, 24, 28), cuando asignan las cargas excéntricas para el entrenamiento. La utilización de un verdadero porcentaje de la fuerza en 1RM excéntrica podría tener más sentido dada la relación fuerza - velocidad en el músculo (Figura 1). Esto puede llevarse a cabo en máquinas con pesas modificadas con barras de acero y poleas. El estudio de Hollander et al (21) reportó que la fuerza en 1RM excéntrica, cuando se calculaba como porcentaje de la fuerza en 1RM concéntrica, difería entre los ejercicios, así como también entre sexos. Por ejemplo, en todos los ejercicios excepto en el tirón de poleas lateral y en la prensa de piernas, las mujeres tenían una fuerza excéntrica significativamente mayor que la concéntrica en comparación con los hombres.

Los otros estudios revisados (17, 41, 42, 45, 57) registraron la fuerza excéntrica pico (PF) y la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD). Tradicionalmente, la RFD es valorada durante un test isométrico (18-20, 51, 55). Aunque algunos estudios han reportado que dicho test está significativamente correlacionado con el rendimiento dinámico (26, 51, 52), otros estudios no han hallado ninguna correlación entre la RFD isométrica y el rendimiento en pruebas de esprint (35, 56) o de saltos (59) y demostraron que este test no es apropiado para monitorear cambios provocados por un programa de entrenamiento de la potencia (55). Esta discrepancia puede atribuirse al hecho de que muy pocas actividades frecuentemente implican el desarrollo de la fuerza mediante una contracción isométrica. La mayoría de los movimientos se producen con el SCC, como por ejemplo en las pruebas de esprint. En dicho movimiento, el desarrollo de la fuerza y la actividad muscular durante la fase excéntrica puede ser crucial para resistir el movimiento descendente del COM y crear mayores fuerzas en la siguiente contracción concéntrica (36, 37). Consecuentemente, un test de RFD excéntrico parecería ser más específico del rendimiento deportivo que un test de RFD isométrico. Sin embargo, una de las limitaciones al tratar de comprender esta medición y su relación con el rendimiento en las investigaciones revisadas es la imposibilidad de describir como se cuantificó la RFD, ya que la RFD puede ser calculada a través de diversos métodos que van desde simples gradientes entre dos períodos de tiempo (e.g., pico de fuerza o fuerza a los 100 milisegundos) o mediante la utilización de promedios móviles. Se requiere de un mayor detalle en las metodologías utilizadas para comprender la relevancia y la confiabilidad de esta medición.

En algunos estudios, se han utilizado cargas relativas desde el 100% de 1RM hasta el 150% de 1RM (41, 45, 57) en las extremidades superiores y el 200% del peso corporal (BW) (42, 57) hasta una carga absoluta de 220 kg (17) en las extremidades inferiores, para valorar la PF y la RFD máxima excéntrica. No se proporcionó justificación alguna para el uso de estas cargas excepto para la carga del 200% BW. Los autores pensaron que esta carga replica la resistencia (fuerza de reacción contra el suelo) observada durante una acción de la extremidad inferior en movimientos que requieren del rápido desarrollo de la fuerza excéntrica, tal como la partida durante las pruebas de velocidad (42, 57). Debido a que no existe acuerdo acerca de que cargas deberían utilizarse para valorar la PF y la RFD máxima excéntrica, la comparación entre los estudios es algo problemática. Debido a que los atletas de deportes de campo tienden a superar su propio peso durante un juego, la elección del 200% del BW podría aplicarse como estándar para la valoración de la fuerza isoinercial de la PF y la RFD máxima en el ejercicio de sentadillas. Sin embargo, se debe tener en cuenta el estrés extremo puesto sobre la musculatura del núcleo y sobre el sistema músculo tendinoso de los sujetos con el uso de dichas cargas. También en algunos casos, el 200% del peso corporal podría estar por encima de la fuerza en 1RM excéntrica del individuo.

Quizás, un mejor método para determinar la carga excéntrica, es valorar la carga de estiramiento durante contracciones excéntricas similares a las observadas en situaciones de juego, tal como durante la toma de contacto posterior a un salto o en la desaceleración para realizar un cambio de dirección, y así determinar la carga ideal para el entrenamiento y la valoración de la fuerza excéntrica. Alternativamente, la carga podría determinarse a partir de la evaluación de la fuerza en 1RM excéntrica y luego utilizar porcentajes de esta carga. Esto podría aclarar algunos aspectos relacionados con los efectos de los porcentajes de 1RM excéntrica sobre la RFD máxima y la PF. Algunos estudios (41, 45) han investigado los efectos de los porcentajes de 1RM concéntrica sobre la RFD máxima y la PF excéntrica, sin embargo, no existen estudios (para el conocimiento de los autores) que hayan investigado como los porcentajes de la fuerza en 1RM excéntrica afectan estas variables.

Generalización

Tamaño de la Muestra

Un total de 130 participantes (Tabla 1) fueron valorados utilizando alguna forma de protocolo de evaluación isoinercial excéntrica. Esta muestra puede ser más pequeña, dado que dos estudios (41, 45) han utilizado los mismos procedimientos y sujetos con características idénticas. Los tamaños de las muestras utilizadas para establecer la confiabilidad de la evaluación isoinercial excéntrica estuvo en el rango de 10 (21) a 13 (17, 41, 45) participantes. El tamaño de la muestra de cada estudio que valoró la confiabilidad de los tests excéntricos puede ser considerado pequeño y la generalización de esto a otras poblaciones requiere de cuidado.

Edad

El noventa y nueve por ciento de los participantes era mayor de veinte años, y el restante 10% era mayor (40 años, ver Tabla 1). Los participantes del estudio de Wilson et al (57) fueron descritos como estudiantes de ciencias del ejercicio, con una edad en el rango de los 20-30 años. La edad promedio y el estatus de entrenamiento deberían ser siempre claramente mencionados ya que esto puede desempeñar un papel clave en la confiabilidad, la posibilidad de realizar comparaciones y la aplicabilidad de un test. Por ejemplo, se puede postular que la valoración de la fuerza excéntrica isoinercial no es adecuada para los niños y los ancianos, ya que una contracción excéntrica máxima requiere de una carga externa mayor a la MVIC o a la fuerza en 1RM (6, 34). Las poblaciones de niños y ancianos han sido evaluados en forma excéntrica en dispositivos isocinéticos (25, 29) pero nunca en con un test isoinercial. Con las contracciones excéntricas los problemas con frecuencia están asociados al control de la velocidad, la estandarización del movimiento y la capacidad para aplicar una carga lo suficientemente alta en forma simple y segura (17).

Esto se complica más aun por el hecho de que la fuerza de la musculatura del núcleo corporal (la musculatura responsable del alineamiento postural del esqueleto axial), la estabilidad articular, la densidad ósea o el crecimiento, hacen que estas poblaciones tengan un riesgo potencial de lesión durante dicho tipo de evaluación y explica las razones por las cuales no existen investigaciones que hayan realizado evaluaciones isoinerciales excéntricas con niños o ancianos.

Sexo

Solo el 7.7% (Tabla 1) de los participantes en los diferentes estudios revisados eran mujeres, las cuales provienen de un solo estudio (21). Se realizaron comparaciones entre hombres y mujeres en términos de la fuerza excéntrica y concéntrica en forma de contracciones aisladas (en oposición a movimientos SSC). El estudio reportó que las mujeres tenían una fuerza excéntrica significativamente mayor que la fuerza concéntrica en comparación con los hombres, en cuatro ejercicios diferentes. Parece que la carga excéntrica relativa a la 1RM concéntrica para las mujeres debería ser mayor que para los hombres cuando se realizan ejercicios en forma excéntrica. Sin embargo, basar dichas presunciones en los hallazgos de un solo estudio (21) podría ser problemático por lo que se requieren más estudios que realicen comparaciones entre sexos antes de realizar conclusiones definitivas.

Estatus de Entrenamiento

Setenta y seis por ciento de los participantes reclutados en los diferentes estudios tenían experiencia en el entrenamiento de la fuerza (aproximadamente 1 año) y el 24% realizaba actividades deportivas en forma recreacional (Tabla 1). La utilización de sujetos con experiencia en el entrenamiento de la fuerza o con antecedentes deportivos se debe probablemente a la familiarización con los ejercicios seleccionados para los tests y a su capacidad para soportar cargas excéntricas. Cuando se interpretan estos resultados se debería tener en cuenta que no se han llevado a cabo estudios en los que hayan participado atletas de elite, quienes podrían ser capaces de soportar mayores cargas excéntricas y mostrar un mejor control del movimiento. Como resultado, es muy probable que estos atletas puedan ser capaces de generar una mayor RFD excéntrica y una mayor PF excéntrica a un porcentaje relativo de la 1RM concéntrica o con la carga igual a 2 veces el peso corporal. Además, dado su estatus de entrenamiento, es posible que la confiabilidad de ciertas medidas pueda ser mayor. Existe la necesidad de evaluar a los atletas de elite en forma excéntrica para permitir comparaciones con otras poblaciones o para generar datos normativos. Esto es, sin un máximo o valores de rendimiento ideales, no se pueden definir escalas de clasificación de la RFD y la PF excéntricas.

Confiabilidad

La confiabilidad hace referencia a la reproducibilidad de los valores de un test, ensayo u otra medición en pruebas repetidas con los mismos individuos (22). La mejora de la confiabilidad de un test por medio de la estandarización y la familiarización implica una mejor precisión de mediciones aisladas o un mejor monitoreo de los cambios en el rendimiento deportivo. Las principales medidas de la confiabilidad es el la variación aleatoria intra-sujeto (coeficiente de variación - CV = $DE/media \times 100$), el cambio sistemático en la media (diferencia en la media entre dos ocasiones de evaluación expresada como porcentaje) y la correlación test-retest (coeficiente de correlación interclase o ICC) (22). Con respecto a la confiabilidad reportada en los artículos revisados, el mayor ICC fue reportado por Hollander et al (21), ICC = 0.99, quienes cuantificaron la fuerza en 1RM excéntrica en seis dispositivos para el entrenamiento isoinercial de la fuerza. Similares valores de ICC fueron hallados utilizando dinamómetros isocinéticos (24). El ICC fue calculado, en base a dos ocasiones de evaluación separadas por dos semanas, infiriendo que las mediciones de la fuerza en RM excéntrica son relativamente estables a través del tiempo en esa muestra.

Otra medida común utilizada en la valoración de la fuerza excéntrica es la PF. Solo Frohm et al (17) reportaron la confiabilidad de esta medición mediante una prueba test-retest separada por dos semanas (ICC = 0.81; CV = 9%; Pearson $r = 0.74$). Similares valores de confiabilidad fueron reportados para la fuerza concéntrica en sentadillas (40, 58). Sin embargo, en el estudio de Frohm et al (17), la confiabilidad de la PF excéntrica fue calculada utilizando una carga absoluta. Los estudios (42, 57) que investigaron la PF excéntrica con cargas relativas (e.g., 200% del peso corporal) no

valoraron la confiabilidad. Por lo tanto, se requieren de futuros estudios para determinar la confiabilidad de la PF excéntrica cuando se determina con el uso de cargas relativas. Con respecto a la PF, en el estudio de Frohm et al (17) se midió la posición en la cual se producía la PF excéntrica como un porcentaje de la talla corporal. Estos investigadores pensaron que era importante determinar cuándo se producía la PF a lo largo del ROM, ya que esto permitiría determinar la longitud del músculo a la cual se produce la mayor tensión. Sin embargo, se halló que esta medida era altamente variable (ICC = 0.57; CV = 22%; $r = 0.43$).

Debido a que se piensa que la RFD isométrica es un factor determinante del rendimiento deportivo y del rendimiento en movimientos explosivos (1, 46), la RFD máxima excéntrica parece ser otra variable de interés debido a su especificidad (41, 45). Dos estudios investigaron la RFD máxima excéntrica con la misma carga durante el ejercicio de press de banca (Tabla 1), pero no utilizaron los mismos análisis estadísticos, lo cual no posibilita la realización de comparaciones entre los estudios. La confiabilidad dentro de una misma prueba fue valorada por Murphy et al (41), quienes reportaron valores relativamente altos de confiabilidad, utilizando el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson (RFD 100% 1RM: $r = 0.87$; RFD 130% 1RM: $r = 0.91$; RFD 150% 1RM: $r = 0.90$). Pryor et al (45) utilizaron la misma carga y el mismo protocolo; sin embargo, hallaron valores más bajos de confiabilidad (ICC) para cada carga utilizada (RFD 100% 1RM: ICC = 0.60; RFD 130% 1RM: ICC = 0.65; RFD 150% 1RM: ICC = 0.73). Los autores del estudio hipotetizaron que esta baja confiabilidad se debió probablemente a la novedad de los tests dinámicos excéntricos para la valoración funcional del tren superior y la falta de exposición del tren superior a cargas excéntricas altas (45).

Podría existir un umbral de peso más allá del cual la confiabilidad se ve seriamente comprometida. Sin embargo, se puede observar que la confiabilidad del test se incrementó con la carga, lo cual contradice la explicación dada por Pryor et al (45). Como se mencionó previamente, la RFD máxima es valorada tradicionalmente utilizando contracciones isométricas y esto generalmente resulta en una alta confiabilidad (38, 55). En términos de RFD, se debe tener cuidado en la frecuencia de muestreo y en el período de tiempo en el cual se calcula la RFD. Es posible que sean estos factores los que necesiten ser descritos de manera que se puedan realizar conclusiones definitivas sobre la confiabilidad de esta medición. Esto es, la confiabilidad de la RFD puede reducirse cuando se utilizan períodos de tiempo cortos para su cálculo (2).

Una de las principales limitaciones de las investigaciones que reportaron la confiabilidad de los tests para la valoración de la fuerza excéntrica es que no se reportó toda la estadística utilizada para la determinación de la confiabilidad. Esto es, para realizar una verdadera apreciación de la confiabilidad de una técnica, se deberían reportar medidas de la consistencia absoluta (e.g., CV), de la consistencia relativa (e.g., ICC) y del porcentaje de cambio en la media entre dos ocasiones de evaluación (23). Tres de los estudios revisados (17, 21, 45) reportaron valores de ICC pero solo el estudio de Frohm y colaboradores (17) presentó valores del CV. Además, se debería utilizar un test-retest en dos semanas en lugar de medidas inter prueba de la confiabilidad, ya que los errores asociados con la medición probablemente sean más pronunciados en un procedimiento test-retest que en un procedimiento inter prueba. El estudio de Pryor et al (45) no utilizó dicha metodología, y los ICC fueron calculados entre pruebas llevadas a cabo en la misma sesión de evaluación. Estos investigadores no deberían haber utilizado el coeficiente de correlación de Pearson para reflejar la confiabilidad debido a que se están correlacionando dos valores de la misma variable (50). Además, como mencionaran Atkinson et al (3), la utilización del coeficiente de correlación de Pearson es inapropiado ya que no puede valorar por sí mismo los sesgos sistemáticos y depende en gran medida del rango de valores en la muestra (heterogeneidad). Sin embargo, dos estudios (17, 42) utilizaron dicho procedimiento estadístico para valorar la confiabilidad de las variables. Finalmente, dos de los estudios (42, 57) revisados no reportaron valores de confiabilidad a pesar de la importancia de dicho análisis cuando se está introduciendo un nuevo procedimiento. Como resultado de las limitaciones en la literatura, los futuros estudios en este campo deberían reportar los valores de ICC, EEM o CV y el porcentaje de cambio en la media, para así establecer la confiabilidad de las diferentes variables seleccionadas.

Aplicaciones Prácticas

La valoración de la fuerza y la potencia excéntrica puede ofrecer información de pronóstico y diagnóstico para los profesionales relacionados con el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento y que puede afectar la calidad de los programas de entrenamiento que prescriben, aunque esta área de evaluación ha recibido muy poca atención en la literatura. La mayoría de los estudios han utilizado dinamómetros isocinéticos para cuantificar la fuerza excéntrica. Sin embargo, la valoración isocinética tiene algunas limitaciones entre las que se incluyen la utilización de movimientos monoarticulares y de contracciones a velocidad constante; además de la necesidad de dispositivos costosos a los cuales la mayoría de los entrenadores no tiene acceso. Desde un punto de vista práctico y específico para el deporte, la valoración isoinercial parece ser más apropiada. Solo algunos estudios han utilizado tests isoinerciales a pesar de que este tipo de evaluación tiene una mayor validez lógica en relación con el rendimiento deportivo. Los pocos estudios que han utilizado este tipo de evaluación han mostrado poseer varias limitaciones: (a) no hay acuerdo respecto de las cargas absolutas y relativas utilizadas para la valoración de la PF y RFD, (b) no hay acuerdo respecto del equipamiento apropiado que se requiere para llevar a cabo este tipo de evaluaciones (pesos libres, plataforma de fuerza, etc.) y (c) se requieren más investigaciones sobre la confiabilidad de algunas mediciones realizadas, dadas las pequeñas muestras y las limitaciones en

los análisis estadísticos reportados en la literatura. La fuerza en 1RM excéntrica y la PF mostraron ser altamente confiables, siendo su estabilidad similar a la reportada previamente en los mismos ejercicios pero con contracciones concéntricas. En contraste, la RFD y la posición a la cual se producía al PF fueron las medidas más variables. Se debería utilizar un porcentaje de la fuerza en 1RM excéntrica para determinar las cargas relativas para la valoración de la PF y la RFD. Alternativamente, las cargas relativas podrían determinarse con el análisis de las fuerzas aplicadas durante los movimientos de interés. Debido a que la carga excéntrica varía entre los individuos en relación al peso corporal, las cargas absolutas no parecen ser un parámetro de evaluación apropiado. Aun se requiere de mucha investigación en esta área antes de que puedan implementarse los parámetros de carga y los protocolos apropiados para la valoración isoinercial de la fuerza muscular excéntrica y su posterior utilización en la investigación relacionada con el rendimiento deportivo.

REFERENCIAS

1. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., and Dyhre-Poulsen, P (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 93: 1318-1326
2. Abernethy, P., Wilson, G., and Logan, P (1995). Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med* 19: 401-417
3. Atkinson, G., and Nevill, A. M (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 26: 217-238
4. Hunter, G. R (2000). Muscle physiology. In: Essentials of Strength Training and Conditioning. Baechle TR, Earle RW, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 3-13
5. Bigland-Ritchie, B., and Woods, J. J (1976). Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *J Physiol* 260: 267-277
6. Blimkie, C. J (1993). Resistance training during preadolescence. Issues and controversies. *Sports Med* 15: 389-407
7. Bosco, C., Tihanyi, J., and Komi, P. V (1982). Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of the human skeletal muscles. *Acta Physiol Scand* 114: 543-550
8. Bosco, C., Tihanyi, J., and Komi, P. V (1982). Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of the human skeletal muscles. *Acta Physiol Scand* 114: 557-565
9. Brandenburg, J. P., and Docherty, D (2002). The effects of accentuated eccentric loading on strength, muscle hypertrophy, and neural adaptations in trained individuals. *J Strength Cond Res* 16: 25-32
10. Cavagna, G. A., Saibene, F. P., and Margaria, R (1965). Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J Appl Physiol* 20: 157-158
11. Cavanagh, P. R., and Komi, P. V (1979). Electrochemical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol* 42: 159-163
12. Cronin, J. B., McNair, P. J., and Marshall, R. N (2000). The role of maximal strength and load on initial power production. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1763-1769
13. Devita, P., Helseth, J., and Hortobagyi, T (2007). Muscles do more positive than negative work in human locomotion. *J Exp Biol* 210: 3361-3373
14. Enoka, R. M (1996). Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol* 81:2339-2246
15. Fang, Y., Siemionow, V., Sahgal, V., Xiong, F., and Yue, G. H (2004). Distinct brain activation patterns for human maximal voluntary eccentric and concentric muscle actions. *Brain Res* 1023:200-212
16. Farrar, M., and Thorland, W (1987). Relationship between isokinetic strength and sprint times in college-age men. *J Sports Med Phys Fitness* 27: 368-372
17. Frohm, A., Halvorsen, K., and Thorstensson, A (2005). A new device for controlled eccentric overloading in training and rehabilitation. *Eur J Appl Physiol* 94: 168-174
18. Hakkinen, K., Komi, P. V., and Alen, M (1985). Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand* 125: 587-600
19. Hakkinen, K., Komi, P. V., and Kauhanen, H (1986). Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric, and various stretch-shortening cycle exercises. *Int J Sports Med* 7: 144-151
20. Hakkinen, K (1993). Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *Int J Sports Med* 14: 53-59
21. Hollander, D. B., Kraemer, R. R., Kilpatrick, M. W., Ramadan, Z. G., Reeves, G. V., Francois, M., Hebert, E. P., and Tryniecki, J. L (2007). Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *J Strength Cond Res* 21: 34-40
22. Hopkins, W (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30: 1-15
23. Hopkins, W. G (2007). SportScience: A Peer- Reviewed Journal and Site for Sport Research. 2007. Available at: <http://www.sportsci.org/resource/stats/index.html>. Accessed: August 10
24. Hortobagyi, T., Devita, P., Money, J., and Barrier, J (2001). Effects of standard and eccentric overload strength training in young women. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1206-1212

25. Hrada, K. V., Hicks, A. L., and McCartney, N (2003). Training for muscle power in older adults: effects on functional abilities. *Can J Appl Physiol* 28: 178-189
26. Jaric, S., Ristanovic, D., and Corcos, D. M (1989). The relationship between muscle kinetic parameters and kinematic variables in a complex movement. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59: 370-376
27. Jones, D. A., and Round, J. M (1990). Skeletal Muscle in Health and Disease. *Manchester: Manchester University Press*
28. Kaminski, T. W., Wabbersen, C. V., and Murphy, R. M (1998). Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *J Athl Train* 33: 216-221
29. Kellis, S., Kellis, E., Manou, V., and Gerodimos, V (2000). Prediction of knee extensor and flexor isokinetic strength in young male soccer players. *J Orthop Sports Phys Ther* 30: 693-701
30. Knuttgen, H. G., and Kraemer, W. J (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *J Appl Sport Sci Res.* 1:1-10
31. Komi, P. V., and Bosco, C (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 10: 261-265
32. Lindstedt, S. L., Lastayo, P. C., and Reich, T. E (2001). When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci* 16: 256-261
33. Macdougall, J. D., Tuxen, D., Sale, D. G., Moroz, J. R., and Sutton, J. R (1985). Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* 58: 785-790
34. Mazzeo, R. S., and Tanaka, H (2001). Exercise prescription for the elderly: current recommendations. *Sports Med* 31: 809-818
35. Mero, A., Luthanen, P., Viitasalo, J. T., and Komi P. V (1981). Relationship between the maximal running velocity, muscle fibre characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand J Sports Sci* 3: 16-22
36. Mero, A., and Komi, P. V (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55: 553-561
37. Mero, A., Komi, P. V., and Gregor, R. J (1992). Biomechanics of sprint running. *A review. Sports Med* 13: 376-392
38. Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., Milanovic, S., and Jaric, S (2004). Muscle strength testing: Evaluation of tests of explosive force production. *Eur J Appl Physiol* 91: 147-154
39. Mjolsnes, R., Arnason, A., Osthaugen, T., Raastad, T., and Bahr, R (2004). A10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sports Sci* 14: 311-317
40. Munich, H., Cipriani, D., Hall, C., Nelson, D., and Falkel J (1997). The test-retest reliability of an inclined squat strength test protocol. *J Orthop Sports Phys Ther* 26: 209-213
41. Murphy, A. J., Wilson, G. J., and Pryor, J. F (1994). Use of the iso-inertial force mass relationship in the prediction of dynamic human performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 69: 250-257
42. Murphy, A. J., and Wilson, G. J (1997). The ability of tests of muscular function to reflect training-induced changes in performance. *J Sports Sci* 15: 191-200
43. Nadel, E. R., Bergh, U., and Saltin, B (1972). Body temperatures during negative work exercise. *J Appl Physiol* 33: 553-558
44. Pahud, P., Ravussin, E., Acheson, K. J., and Jequier, E (1980). Energy expenditure during oxygen deficit of submaximal concentric and eccentric exercise. *J Appl Physiol* 49: 16-21
45. Pryor, J. F., Wilson, G. J., and Murphy, A. J (1994). The effectiveness of eccentric, concentric and isometric rate of force development tests. *J Hum Movement Stud* 27: 153-172
46. Schmidbleicher, D (1992). Training for power events. In: *Strength and Power in Sports. P. Komi, ed. London: Blackwell Scientific.* pp. 381-395
47. Seger, J. Y., Arvidsson, B., and Thorstensson A (1998). Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 79: 49-57
48. Sheppard, J. M., and Young, W. B (2006). Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24: 919-932
49. Tan, B (1999). Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: A review. *J Strength Cond Res* 13: 289-304
50. Thomas, J. R., Nelson, J. K., and Silverman, S. J (2005). Research Methods in Physical Activity. *Champaign, Ill: Human Kinetics*
51. Viitasalo, J. T., Hakkinen, A., and Komi, P. V (1981). Isometric and dynamic force production and muscle fibre composition in man. *J Hum Movement Stud* 7: 199-209
52. Viitasalo, J. T., and Aura, O (1984). Seasonal fluctuations of force production in high jumpers. *Can J Appl Sport Sci* 9: 209-213
53. Webber, S., and Kriellaars, D (1997). Neuromuscular factors contributing to in vivo eccentric moment generation. *J Appl Physiol* 83: 40-45
54. Westing, S. H., Seger, J. Y., and Thorstensson, A (1990). Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity relationships during knee extension in man. *Acta Physiol Scand* 140: 17-22
55. Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., and Humphries, B. J (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 25: 1279-1286
56. Wilson, G. J., Lyttle, A., Ostrowski, K., and Murphy, A. J (1995). Assessing dynamic performance: A comparison of rate of force development tests. *J Strength Cond Res* 9: 176-181
57. Wilson, G. J., Murphy, A. J., and Giorgi, A (1996). Weight and plyometric training: effects on eccentric and concentric force production. *Can J Appl Sport Sci* 21: 301-315
58. Wilson, G. J., Walshe, A. D., and Fisher, M. R (1997). The development of an isokinetic squat device: reliability and relationship to functional performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75: 455-461
59. Young, W., Hawken, M., and McDonald, L (1996). Relationship between speed, agility and strength qualities in Australian Rules football. *Strength Cond Coach.* 4: 3-6
60. Young, W., and Bilby, G. E (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *J Strength Cond Res* 7: 172-178

Cita Original

Cesar Meylan, John Cronin, and Ken Nosaka. Isoinertial Assessment of Eccentric Muscular Strength. *Strength and Conditioning Journal* 30(2): 56-64, 2008.