

Monograph

¿El Incremento en la Fuerza Máxima Mejora el Rendimiento en Carreras de Esprint?

John Cronin, PhD^{1,2}, Teresa Ogden², Trent Lawton³ y Matt Brughelli¹

¹*Edith Cowan University, Joondalup, Western Australia, Australia.*

²*Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand.*

³*Netball Australia, Canberra, Australia.*

RESUMEN

Para el desarrollo de la velocidad se considera crítico crear una base de fuerza y, consecuentemente se realizan grandes esfuerzos por mejorar la capacidad de fuerza muscular. Uno de los métodos utilizados para cuantificar la relación entre la fuerza y la velocidad es el análisis de correlación. Sin embargo, esta relación podría comprenderse de mejor manera a través del estudio de las investigaciones longitudinales que han cuantificado los cambios tanto en la fuerza como en la velocidad. Dicho enfoque fue utilizado en esta revisión para determinar la magnitud del incremento de la fuerza necesario para mejorar la velocidad de carrera.

Palabras Clave: isocinético, isoinercial, una repetición máxima, correlación, sentadilla

INTRODUCCION

Muchos profesionales relacionados con el entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento están interesados en mejorar la velocidad ya que esta capacidad es fundamental para el rendimiento en diversos deportes. Se han utilizado diversos métodos para mejorar la velocidad, y entre estos se encuentra el entrenamiento de la fuerza. Nosotros asumimos que la fuerza (tensión muscular) es esencial para la mayoría de los atletas que requieren de la velocidad y; por lo tanto, a estos atletas suelen prescribirles alguna forma de entrenamiento de la fuerza para la mejora de la velocidad. La razón de incorporar el entrenamiento de la fuerza se basa en la suposición de que el incremento en la producción de fuerza de los principales grupos musculares mejorará tanto la aceleración y la velocidad máxima. Por esta razón es de gran interés determinar si estas suposiciones son verdaderas. El propósito de esta revisión es investigar si el entrenamiento de la fuerza tiene algún efecto sobre la mejora en la velocidad y en particular sobre la velocidad de carrera. Una aproximación que puede utilizarse para cuantificar la importancia de la fuerza para el desarrollo de la velocidad es el análisis de correlación. Esto es, determinar la fortaleza de la relación entre estas dos variables a través del uso de la estadística correlacional. La valoración isocinética, implica la medición de la fuerza/torque y/o de la potencia a través de un rango de movimiento dado y a una velocidad angular constante. Normalmente, para la evaluación isocinética se utilizan velocidades de 60-240 grados/s y este tipo de tests han sido llevados a cabo con sujetos universitarios o atletas de pista (2, 11, 12). Se han llevado a cabo análisis de correlación entre estas medidas de la fuerza y el tiempo o la velocidad en distancias de 40-100 metros. Los resultados publicados en la literatura respecto de la relación entre la fuerza isocinética (comúnmente medida en la articulación de la rodilla o la cadera) y el rendimiento en carreras de sprints no han sido significativos, con

correlaciones bajas a moderadas ($r = -0.52$ a -0.69) (2, 10, 12, 16). El término isoinercial hace referencia a contracciones en donde la carga externa permanece constante mientras que la tensión muscular, la duración y la velocidad de contracción varían continuamente (1). En general se ha hallado que la correlación entre las medidas de la fuerza isoinercial y la velocidad fueron similares o ligeramente mayores ($r = -0.60$ a -0.79) que las observadas entre la velocidad y la fuerza isocinética. La mayoría de los estudios en que se utilizaron tests isoinerciales han utilizado movimientos del levantamiento de pesas tales como la sentadilla o las cargadas de potencia (3, 27, 34) o algún tipo de salto (19, 28, 30, 35, 37) y han reportado las correlaciones entre estas actividades y diversas medidas de la aceleración o la velocidad. Algunos investigadores han utilizado máquinas para el entrenamiento con pesas (e.g., máquinas Smith) para examinar la relación entre las características musculares de fuerza-tiempo valoradas con diversos tipos de contracción (isométrica, concéntrica y excéntrica) y el rendimiento en carreras de esprint (33, 37). Este tipo de enfoque ha resultado en las mejores predicciones ($r = -0.80$ a -0.86) del rendimiento en carreras de esprint. Por ejemplo, se ha hallado que el mejor pronosticador del rendimiento en la partida (tiempo en 2.5 m) es la fuerza concéntrica pico relativa al peso corporal ($r = -0.86$). La mejor correlación ($r = -0.80$) con la velocidad máxima de carrera fue obtenida con la fuerza aplicada en 100 ms (relativa al peso corporal) durante un salto concéntrico (37).

Sin embargo, los análisis de correlación tienen un valor limitado para identificar la relación causal entre el entrenamiento de la fuerza y el desarrollo de la velocidad. Es de gran interés para los profesionales del entrenamiento de la fuerza y el acondicionamiento determinar el efecto de los diversos programas sobre la variable de interés, en este caso la velocidad o el tiempo en carreras de esprint. Para llevar esto a cabo, es necesario determinar los cambios en la fuerza y la velocidad a lo largo de un estudio longitudinal de entrenamiento de la fuerza. Dicha aproximación es el foco de la presente revisión. Al adoptar dicha aproximación se espera que el lector comprenda de mejor manera la importancia del entrenamiento de la fuerza para el desarrollo de la velocidad y las variables que deben incluirse en un programa para el entrenamiento de la fuerza que son relevantes para la mejora de la velocidad.

LIMITACIONES

Para realizar la presente revisión hemos limitado la inclusión de estudios. El objetivo de esto es que el lector tenga un mejor sentido de la calidad de las investigaciones utilizadas en la presente revisión y así tener una mayor claridad respecto de la significancia y de las aplicaciones de algunas de las investigaciones incluidas.

Velocidad

La velocidad puede pensarse como el producto de la longitud de zancada y de la frecuencia de zancada o del tiempo para completar una distancia específica. Sin embargo, se debe recordar que un esprint puede considerarse como una serie de fases consecutivas tales como la fase de partida, la fase de aceleración, la fase de velocidad máxima y la fase de desaceleración. Es posible que el desarrollo de la fuerza máxima sea más importante en las fases de partida y aceleración que para las fases de velocidad máxima y desaceleración y por lo tanto se deberán seleccionar los ejercicios y los parámetros específicos de la carga con esto en mente (37).

Procedimientos y Equipamientos para la Valoración de la Velocidad

Once de los estudios incluidos en la Tabla 1 han utilizado sistemas de cronometraje electrónicos para valorar la velocidad (4-6, 8, 22-26, 29, 32). En cinco estudios se utilizaron cronómetros manuales como el único medio para registrar el rendimiento en pruebas de velocidad (9, 15, 18, 21, 35). Cuando se interpretan los resultados de estos estudios, se debe tener en cuenta el error de medición asociado con cada evaluación (~ 1-2% en los sistemas de fotocélulas), dado que el error de medición afectará los análisis estadísticos. Además, el protocolo utilizado para medir la velocidad también afectará la confiabilidad y la precisión de las mediciones entre los estudios. Cuatro de los estudios incluidos no publicaron los procedimientos para la recolección de datos (4, 17, 24, 25). Seis estudios documentaron el tiempo promedio, en base al rendimiento en diversas pruebas (8, 9, 29, 32, 34, 35). Ocho estudios reportaron el menor tiempo registrado en un número dado de pruebas (5, 6, 15, 18, 20-23). Nosotros creemos que la utilización de la velocidad promedio o del tiempo promedio en un número dado de pruebas ilustra más confiablemente los cambios en la aceleración y en la velocidad entre las evaluaciones pre y post entrenamiento.

Participantes de los Estudios

Es sabido que los atletas principiantes y los atletas de elite responden de manera diferente al entrenamiento de la fuerza y que ambas poblaciones entrenan de forma diferente. Tener en cuenta el estatus de entrenamiento de los atletas que participaron en los diferentes estudios es fundamental para comprender como interpretamos los hallazgos para modelar

nuestros programas de entrenamiento. Para los propósitos de esta revisión, los atletas principiantes fueron clasificados como estudiantes o atletas no representativos. Los atletas avanzados fueron definidos como atletas representativos que tenían un componente de velocidad significativo en su deporte. El noventa y nueve por ciento de los participantes en estos estudios eran atletas principiantes (hombres, n = 585; mujeres, n = 25) con el restante 10% de atletas avanzados (hombres, n = 57; mujeres, n = 14). Podemos ver que las conclusiones extraídas en relación a los cambios en la fuerza y velocidad luego del entrenamiento de la fuerza son más pertinentes para atletas principiantes de sexo masculino. Los atletas principiantes tienen un mayor potencial para producir cambios en la fuerza o la velocidad, y estos cambios fueron observados luego de cortas intervenciones de entrenamiento de la fuerza que son características de la mayoría de los proyectos de investigación (6-12 semanas de duración). Sin embargo, en atletas de elite, una mejora tan pequeña como del 1% puede tener significancia fisiológica pero no significancia estadística y además esta mejora del 1% puede hacer la diferencia en lo que se refiere a la ubicación de un atleta en una prueba de velocidad.

Diferencias Sexuales

A partir de la literatura resumida en la Tabla 1, se observó que el 95% de los atletas recreacionales y avanzados incluidos en esta revisión eran hombres (n = 555) y 5% eran mujeres (n = 39). Para nosotros sería imprudente extrapolar los hallazgos obtenidos con los hombres a las mujeres dada la falta de literatura referente a los resultados obtenidos con mujeres.

Edad

El ochenta y cinco por ciento de los participantes de los estudios incluidos en esta revisión se encontraban entre los 19 y 24 años (hombres, n = 436; mujeres, n = 25). El restante 15% tenía una edad promedio de 16 años (hombres, n = 59; mujeres, n = 12). Se debería tener en cuenta la falta de estudios llevados a cabo con participantes menores de 15 años y mayores de 24 años de edad.

ENTENDIENDO LOS HALLAZGOS: TAMAÑO DE LOS EFECTOS

Los resultados de cada medición de la fuerza y velocidad han sido presentados en términos de valores p (<0.5) respecto de la significancia estadística, porcentajes de cambio y tamaño de los efectos (ES). Los porcentajes de cambio en la fuerza y la velocidad son valores comúnmente reportados en la literatura. Sin embargo, el cálculo del porcentaje de cambio no toma en consideración la varianza en las mejoras de la fuerza y la velocidad (31).

Autore	Subjetos	Ejercicios utilizados, entrenamiento, duración y frecuencia, intensidad y series y repeticiones	Variables evaluadas para la fuerza y velocidad	% de cambio en el rendimiento
Knapik et al (2002)	Velocidad máxima de carrera Grupos LV (n=21) y MV (n=21) Pruebas de velocidad máxima de carrera (10 y 20 metros) y pruebas de fuerza (1RM) en la semana 0 y 2	Grupos LV y MV 12 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 1RM en sentadilla Fuerza 1RM en sentadilla Velocidad Velocidad máxima en 20m	*Grupo MV = 21% *Grupo LV = 21.6% *G0-G20 *Grupo MV = 21% *Grupo LV = 21.6% *G0-G20
Coyle et al (2003)	Jugadores de fútbol profesional Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 12 semanas 3 veces por semana 4-10RM	Fuerza 3 series de 4-10RM Velocidad 3 series de 10 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12
Davies et al (2005)	Voluntarios universitarios Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
DeLeon et al (1995)	Estudiantes de medicina Grupos M (n=10) y B (n=10)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Dorman (1984)	Estudiantes de medicina Grupos M (n=10) y B (n=10)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Fry et al (1991)	Jugadores de fútbol profesional Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 12 semanas 3 veces por semana 4-10RM	Fuerza 3 series de 4-10RM Velocidad 3 series de 10 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12
Hammert y May (2000)	Atletas de élite Grupos M (n=11) y B (n=11)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Hemp et al (2003)	Jugadores de fútbol profesional Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 12 semanas 3 veces por semana 4-10RM	Fuerza 3 series de 4-10RM Velocidad 3 series de 10 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12
Hoffman et al (1992)	Jugadores de fútbol profesional Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 12 semanas 3 veces por semana 4-10RM	Fuerza 3 series de 4-10RM Velocidad 3 series de 10 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12
Hoffman et al (2004)	Jugadores de fútbol profesional Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 12 semanas 3 veces por semana 4-10RM	Fuerza 3 series de 4-10RM Velocidad 3 series de 10 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G12
Adams et al (2005)	Voluntarios universitarios Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Kramer et al (2000)	Atletas recreativos Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Latta et al (1996)	Atletas recreativos Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Mohr et al (2002)	Atletas recreativos Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Murphy y Wilson (1997)	Atletas recreativos Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Traill et al (2005)	Estudiantes de medicina Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Wilson et al (1996)	Estudiantes de medicina Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8
Wilson et al (1997)	Atletas recreativos Grupos M (n=12) y B (n=12)	Entrenamiento de fuerza 8 semanas 3 veces por semana 3 series de 10 repeticiones	Fuerza 3 series de 10 repeticiones Velocidad 10 series de 40 repeticiones	*Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8 *Grupo B = 13% *Grupo M = 13% *G0-G8

Tabla 1. Resumen de los estudios sobre entrenamiento. * $p < 0.05$; HV = alta velocidad, LV = baja velocidad, FWS = flexibilidad/fuerza/velocidad, HR = sobrecarga de alta intensidad, WS = pesas/esprint, S = esprint, RM = repetición máxima, HF = alta producción de fuerza, HP = alta producción de potencia, COM = combinado, OL = levantamientos olímpicos, PL = levantamiento de potencia, WL = levantamiento de pesas, AS = zapatos deportivos, MS = zapatos de intervención, MP = potencia máxima, JS = saltos desde media sentadilla, JS = JS con una carga del 30% de 1RM, JS80 = JS con una carga del 80% de 1RM, LB = tren inferior, PP = potencia pico.

Al incluir el tamaño del efecto (evaluación pre menos evaluación post dividido por la desviación estándar de la evaluación pre), se incluye la varianza de cada medición, haciendo así una descripción más estandarizada y precisa del efecto del tratamiento (31). El ES nos permite comparar la magnitud del efecto del tratamiento (programa de entrenamiento de la fuerza) sobre la velocidad entre los diferentes estudios. Nosotros describimos los efectos como “trivial”, “pequeño”, “moderado” y “grande”, en base a la descripción de los efectos para sujetos desentrenados, entrenados en forma recreacional y atletas altamente entrenados (31). Dicha clasificación, significa que el ES no se describe de manera uniforme para las diferentes poblaciones. Por ejemplo, un ES de 1.2 es “grande” para la población de atletas de elite, tal como los jugadores de fútbol de nivel nacional (4), mientras que un ES de 1.3 es “moderado” para sujetos entrenados recreacionalmente (23).

ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA Y DESARROLLO DE LA VELOCIDAD

Considerando la popularidad del entrenamiento de la fuerza, sorprendentemente existen pocos estudios que hayan examinado la efectividad del entrenamiento con sobrecarga para mejorar la velocidad. En el presente artículo, utilizamos el término velocidad en forma general para describir los cambios en el tiempo o en la velocidad sobre distancias que van entre los 5 y los 100 metros. Los cambios en la fuerza y en la velocidad pueden observarse en la Tabla 1.

Valoración Isocinética y Rendimiento en Pruebas de Velocidad

Los estudios sobre entrenamiento que han utilizado medidas isocinéticas de la fuerza de la pierna ha utilizado varios tipos de movimientos articulares y diversas velocidades angulares, tales como extensiones de rodilla (14, 35), extensiones/flexiones de cadera (4), y extensiones/flexiones de rodilla (21, 29, 34). Las velocidades angulares utilizadas en los estudios están en el rango de los 60 a los 480 $^{\circ}$ /s (dependiendo del movimiento articular). La medición más común de la fuerza isocinética fue la extensión de rodillas a 60 $^{\circ}$ /s (9, 21, 29, 34). Como se puede observar en las Tablas 1 y 2, cualquier incremento en la fuerza de extensión isocinética de la rodilla a velocidades angulares de 60, 180 y 300 $^{\circ}$ /s no resultó en mejoras significativa en la velocidad, luego de intervenciones con entrenamientos de la fuerza con una duración de 5-12 semanas (14, 21, 29, 34). Solo dos estudios que utilizaron mediciones isocinéticas hallaron una mejora en la capacidad de esprint. Blazevich y Jenkins (4) hallaron que luego de 7 semanas de entrenamiento con sobrecarga con ejercicios tales como sentadillas y extensiones y flexiones de cadera, el grupo que entrenó a baja velocidad exhibió una mejora significativa en la fuerza isocinética de los extensores de la cadera a 60 $^{\circ}$ /s del 15.4% y una reducción en el tiempo de aceleración en 20 m de - 2.9%. El grupo que entrenó a alta velocidad exhibió un incremento significativo en la fuerza de los extensores de la cadera a bajas velocidades (60 $^{\circ}$ /s) del 15.6% y una reducción significativa del tiempo de aceleración en 20 m de 4.3%. Wilson et al (35) hallaron que luego de 10 semanas de entrenamiento, el grupo que entrenó la potencia máxima con ejercicios del levantamiento de pesas exhibió una mejora significativa de la fuerza de los extensores de la rodilla (6.5%) y una reducción del tiempo para cubrir 30 metros (- 1.5%, $p < 0.1$). Se debe señalar que la valoración de la velocidad en este estudio implicó el registro de dos pruebas utilizando un cronómetro, lo cual sin duda afectó el error de medición. En base a estos hallazgos (4, 35), sería tentador concluir que el entrenamiento de alta intensidad y baja velocidad (70-90% de una repetición máxima [1RM]) y de baja intensidad y alta velocidad (30-50% de 1RM) en el que se realizan ejercicios tales como sentadillas, extensiones de cadera y flexiones de cadera, mejorarán la fuerza isocinética de los flexores de la rodilla y el rendimiento en pruebas de velocidad. Sin embargo, debemos señalar que otros autores, que han utilizado diferentes acciones y velocidades articulares (14, 21, 29, 34) no hallaron mejoras significativas tanto en la fuerza isocinética de la pierna como en la velocidad de carrera, luego de 5-12 semanas de entrenamiento con sobrecarga. Dado el estatus de la literatura, no se puede dar un hallazgo como definitivo en relación a la eficacia del entrenamiento isocinético, la valoración y la predicción de la mejora en la velocidad.

Fuerza en 1RM y Rendimiento en Pruebas de Velocidad

Todos los estudios sobre entrenamiento que se exhiben en la Tabla 2 (8 estudios) han reportado mejoras significativas ($p < 0.05$) en la fuerza máxima (9.0 a 44%) y en el tiempo de esprint (- 0.9 a - 4.3%) y en la velocidad (3.7%). De los 8

estudios, 7 utilizaron la sentadilla como ejercicio para medir la fuerza máxima. Las distancias para las pruebas de velocidad estuvieron en el rango de los 10 m a las 60 yardas. Wilson y Murphy (29, 34) estudiaron a hombres entrenados en la fuerza (edad promedio, 22 años) que entrenaron 2 veces por semana durante 8 semanas y realizaron 3-6 series de 6-10 repeticiones de sentadillas. En ambos estudios (29, 34) se observó un incremento significativo en la fuerza en 1RM en el ejercicio de sentadillas (20.9%; ES = 1.2) y una reducción significativa en el tiempo para cubrir 40 m (-2.3%; ES = 0.36). Coutts et al (5) hallaron una pequeña pero significativa reducción en los tiempos para cubrir 10 m (-0.9%; ES = 0.22) y 20 m (-0.9%; ES = 0.4), y un incremento significativo en la fuerza en 1RM en el ejercicio de sentadillas (37%; ES = 1.7) luego de un programa de entrenamiento de 12 semanas de duración en el cual los sujetos entrenaron 3 veces a la semana. Kraemer et al (23) investigaron la efectividad de los zapatos Meridian (Meridian shoes) sobre el rendimiento en el salto vertical y el rendimiento de esprint luego de un programa combinado a corto plazo de entrenamiento pliométrico/esprints y de sobrecarga. Luego de la intervención de entrenamiento, los únicos incrementos significativos fueron observados en el grupo que utilizó los zapatos Meridian. La fuerza en 1RM en sentadillas (24%, ES = 1.3), el salto desde sentadilla con una carga del 30% de 1RM (2.6%, ES = 0.15) y el tiempo en una prueba de 60 metros (- 3.4%, ES = no fue posible el cálculo) mejoraron a lo largo de la intervención de entrenamiento. La retroalimentación al final del estudio a través de cuestionarios también indicó que los participantes pensaron que los incrementos en la fuerza y en la velocidad se debieron al programa de entrenamiento y no al tipo de calzado que utilizaron. Kotzamanidis et al (22) compararon los efectos del entrenamiento de la fuerza y de esprint en 3 grupos (2 grupos experimentales y un grupo de control) y hallaron que el grupo que realizó el entrenamiento combinado (entrenamiento de sobrecarga y entrenamiento de esprint) exhibió una mejora significativa en la fuerza (9%, ES = 0.7) y una reducción significativa en los tiempos de esprint (- 3.6%, ES = 0.9). Tricoli et al (32) hallaron mejoras similares en la velocidad (3.7%, ES = 2.0) pero una mejora mucho mayor en la fuerza máxima en sentadillas (44%, ES = 2.0). En este estudio participaron estudiantes universitarios que realizaron un programa de entrenamiento de la fuerza (cargadas colgantes, enviones, sentadillas y tirones). En el único estudio en el que participaron atletas bien entrenados (velocistas de elite de categoría junior) se hallaron cambios significativos en la fuerza en 1RM en sentadillas y en el tiempo de esprint en 20 metros (4). El grupo que entrenó a baja velocidad exhibió una mejora significativa en la fuerza en 1RM en sentadillas y en el tiempo de aceleración en 20 metros en un 11.8% (ES = 0.71) y - 2.9% (ES = 0.94), respectivamente. Los sujetos que entrenaron a alta velocidad también exhibieron mejoras significativas en la fuerza en 1RM en sentadillas (12.4%, ES = 1.2) y una reducción significativa en el tiempo de aceleración en 20 metros del - 4.3% (ES = 0.74). En resumen, a partir de los resultados del único estudio que halló cambios significativos en atletas altamente entrenados (velocistas junior de nivel nacional) parece que se requiere un cambio moderado a grande (ES = 0.71 a 1.2) en la fuerza en sentadillas (~ 12%) para que se produzcan cambios moderados (ES = 0.74 a 0.94) (~ 2%) en el tiempo de esprint (4). Para atletas que entrenan en forma recreacional parecería que se requieren cambios pequeños a grandes (ES = 0.7 a 2.0; ES promedio = 1.19) en la fuerza en sentadillas (~ 23%) para observar cambios triviales a moderados (ES = 0.22 a 0.95) (~ 2.4) en el tiempo de esprint (22, 23, 29, 32, 34). Sin embargo, en estos estudios se utilizaron atletas varones tanto de elite como principiantes en un rango de edad de 19-22 años. Fry et al (14) investigaron los cambios en la fuerza (1RM en sentadillas) y en la velocidad de carrera (tiempo para cubrir 9.1 metros y 36.6 metros) en 14 jugadoras de voleibol de elite. Si bien se hallaron cambios significativos en la fuerza en 1RM en el ejercicio de sentadillas (20.5%, ES = 1.2) no se hallaron cambios significativos en los tiempos para cubrir 36.6 m (- 0.9%) y 9.1 m (8.2%). Es difícil discernir si existen diferencias sexuales en términos de mejora de la fuerza y la velocidad dada la falta de estudios en esta área.

DISEÑO DEL PROGRAMA

En esta sección intentaremos resumir las variables de entrenamiento comunes más importantes reportadas en cada estudio y que resultaron en incrementos en la fuerza y en la velocidad.

Progresión y Periodización

Varios de los estudios incluidos en la presente revisión utilizaron algún modelo de periodización (4-6, 8, 9, 15, 21-24, 26, 29, 32, 34, 35) en sus programas de entrenamiento de la fuerza. La periodización implica la progresión de la carga (e.g., porcentaje de mejora o incremento en la carga, series y/o repeticiones) por semana o sesión de entrenamiento (e.g., alternar sesiones con altas cargas y sesiones con bajas cargas). De acuerdo con Fleck (13) los programas periodizados resultan en mayores ganancias en la fuerza (1RM) que los programas no periodizados con series múltiples o series únicas. En los 9 estudios en los que se observaron mejoras en el rendimiento tanto de fuerza como de velocidad (4, 5, 9, 22, 23, 29, 32, 34, 35) utilizaron programas periodizados de entrenamiento.

Duración y Frecuencia del Programa de Entrenamiento

Los programas para el entrenamiento de la fuerza revisados aquí tuvieron una duración que estuvo en el rango de las 4-15

semanas con 2-4 sesiones de entrenamiento por semana. Como se puede observar en las Tablas 1 y 2, los estudios con procedimientos de evaluación bien definidos que implicaron 2-3 sesiones por semana durante 7 (4) a 13 (5, 9, 22, 23, 29, 32, 34) semanas, produjeron mejoras significativas tanto en la fuerza como en la velocidad. En base a estos podemos concluir que los mayores incrementos en la fuerza y la velocidad de carrera se pueden producir realizando 2-3 sesiones semanales durante un período de 7-13 semanas.

Selección de los Ejercicios

Se ha sugerido que el análisis de la velocidad debería realizarse en dos distancias diferentes. Los sprints cortos sobre distancias de 10-20 metros reflejan la capacidad de aceleración de los atletas (3). A la inversa, la velocidad máxima se alcanza en distancias de 40-70 m, lo cual requiere de una alta producción de fuerza en cortos períodos de tiempo (< 250 milisegundos). El análisis de las necesidades de velocidad en los deportes ha mostrado que los sprints cortos y los sprints hasta alcanzar la velocidad máxima tienen diferentes requerimientos de fuerza, lo cual debería reflejarse en la selección de los ejercicios (36). Esto debería tenerse en cuenta al momento de seleccionar ejercicios específicos para el desarrollo de la aceleración y de la velocidad máxima.

Referencia	Rendimiento, % de cambio en los tiempos de esprint y (tamaño del efecto)	Evaluación de la Velocidad	Rendimiento, % de cambio en la fuerza y (tamaño del efecto)	Evaluación de la Fuerza
Blazevich et al (2002)	*Grupo HV -4.3% (0.74) *Grupo LV - 2.9% (0.974)	Tiempo en 20 m	*Grupo HV 12.4% (1.2) *Grupo LV 11.8 (0.71)	1RM en Sentadillas
Coutts et al (2004)	*Grupo SUP - 0.9% (0.22) *Grupo UN - 0.9% (0.4)	Tiempo en 10 m Tiempo en 20 m	*Grupo SUP 37% (1.7)	1RM en Sentadillas
Dintiman (1964)	*Grupo WS 8% (0.94) Grupo FWS 9% (1.0)	Velocidad Máxima en 50 yardas	*Grupo WS 16% (0.9) *Grupo FWS 21% (0.93)	Dinamómetro para Piernas
Kostamanidis et al (2005)	*Grupo COM - 3.6% (0.9)	Tiempo en 30 m	*Grupo COM 9% (0.7)	1RM en Sentadillas
Kraemer et al (2000)	*Grupo MS - 3.4%	Tiempo en 60 yardas	*Grupo MS 24% (1.3)	1RM en Sentadillas
Murphy y Wilson (1997)	*Grupo WT - 2.3% (0.36)	Tiempo en 40 m	*Grupo WT 20.9% (1.2)	1RM en Sentadillas
Tricoli et al (2005)	*Grupo WT - 2.3% (0.36)	Velocidad en 10 m	*Grupo WT 44% (2.2)	1RM en Sentadillas
Wilson et al (1996)	*Grupo WT - 2.3% (0.36)	Tiempo en 40 m	*Grupo WT 20.9% (1.2)	1RM en Sentadillas

Tabla 2. Resumen de los estudios de entrenamiento que hallaron mejoras significativas en la fuerza y la velocidad reportadas como el porcentaje de cambio y tamaño de efecto. *Significativo a $p < 0.05$. HV = alta velocidad, LV = baja velocidad, WS = pesas/esprint, FWS = flexibilidad/fuerza/velocidad, MP = potencia máxima, SUP = supervisado, UN = no supervisado, COM = entrenamiento combinado de fuerza y velocidad, WT = entrenamiento con pesas, MS = zapatos Meridian.

La mayoría de los estudios revisados utilizaron el ejercicio de sentadillas (3-5, 8, 9, 15, 18, 21-24, 29, 32, 34) y algunas variantes tales como los saltos desde sentadillas (25, 26), estocadas y sentadillas laterales (16). Otros ejercicios frecuentemente utilizados son las elevaciones de talones (8, 9, 15, 21, 23), las extensiones de rodillas y las flexiones de rodillas (4, 7, 15, 21). En solo un estudio se prescribió el ejercicio de prensa de piernas (8). Deanne et al (6) utilizaron bandas elásticas como resistencia para el entrenamiento de la fuerza de los flexores de la cadera. Las mejoras significativas en la fuerza del tren inferior y en la velocidad de carrera fueron más frecuentemente reportadas en aquellos estudios que prescribieron la sentadilla y/o los saltos desde sentadilla (4, 5, 22, 23, 29, 32, 34). Las sentadillas o los saltos desde sentadillas parecen ser los ejercicios específicos asociados con la mejora de la fuerza del tren inferior y en definitiva de la velocidad de carrera.

Intensidad del Entrenamiento

Blazevich y Jenkins (4) investigaron los cambios en la aceleración en 20 m y el tiempo en carreras a máxima velocidad en 20 m, en dos grupos de sujetos que utilizaron ejercicios de sobrecarga tales como la sentadilla, las extensiones de caderas y las flexiones de caderas a altas intensidades y bajas velocidades (70-90% de 1RM) y a bajas intensidades y altas velocidades (30-50% de 1RM). El grupo que entrenó a baja velocidad redujo el tiempo de aceleración en 20 en un - 2.9%

(ES = 0.94), mientras que el grupo que entrenó a alta velocidad experimentó una reducción del - 4.3% (ES = 0.94). El grupo que entrenó a baja velocidad redujo el tiempo en los sprints a máxima velocidad sobre 20 m en - 2.4%, mientras que el grupo que entrenó a alta velocidad solo exhibió una reducción del - 1.9%. Harris et al (18) estudiaron los efectos de tres diferentes velocidades de entrenamiento sobre diversas medidas de la fuerza y sobre el tiempo de sprint en 30 metros. Este estudio también utilizó el ejercicio de sentadillas a una velocidad similar a la utilizada por Blazeovich y Jenkins (4), es decir que los grupos entrenaron o a una alta producción de fuerza (> 80% de 1RM) o a una alta producción de potencia (30-40% de 1RM), con un grupo adicional que utilizó una combinación de los protocolos anteriores. En contraste con Blazeovich y Jenkins (4), no se observaron diferencias significativas en el tiempo de sprints sobre 30 metros entre ninguno de los tres grupos.

McBride et al (25) investigaron los cambios en diversas medidas de la fuerza y en sprints sobre distancias de 5, 10 y 20 metros, utilizando como formas de entrenamiento saltos desde sentadillas con altas cargas y a baja velocidad (salto desde sentadillas con una carga del 80% de 1RM [JS80]) o saltos desde sentadillas con cargas bajas y a alta velocidad (salto desde sentadillas con una carga del 30% de 1RM [JS30]). Los tiempos de sprint sobre las distancias de 5, 10 y 20 m se incrementaron significativamente en un 6%, 4.7% y 1.5% en el grupo JS80. Por otra parte, el grupo JS30 exhibió incrementos no significativos en los tiempos de carrera sobre distancias de 5 m (0.9%), 10 m (1.6%) y 20 m (0.9%). En base a estos hallazgos no podemos concluir que el entrenamiento de baja intensidad y alta velocidad o el entrenamiento de alta intensidad y baja velocidad sean superiores para mejorar la velocidad de carrera.

CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRACTICAS

El propósito de esta breve revisión fue evaluar si un programa para el entrenamiento de la fuerza máxima mejoraba la velocidad máxima. De los 18 estudios revisados que examinaron los cambios en la fuerza y la velocidad en el transcurso de la intervención de entrenamiento, solo 8 estudios reportaron cambios significativos en ambas medidas. Esto es, la mayor parte de la literatura halló mejoras significativas en la fuerza sin mejoras significativas en la velocidad, y las siguientes conclusiones deberían ser leídas con esto en mente. Para atletas altamente entrenados, es difícil realizar una afirmación concluyente respecto de la importancia de mejorar la fuerza para mejorar el rendimiento en carreras de sprint, dada la falta de estudios en esta área. Para atletas entrenados en forma recreacional, parecería que se requiere de un incremento de aproximadamente un 23% en la fuerza en 1RM en sentadillas para que se produzcan cambios significativos en el rendimiento de sprint (> - 2%). La periodización del programa para el entrenamiento de la fuerza en un período de 7-13 semanas, llevado a cabo 2-3 veces por semana, parece mejorar la fuerza y el rendimiento en carreras de sprint. No hay un claro consenso respecto de que intensidades son las más beneficiosas para reducir el tiempo de carrera, por lo que la utilización de métodos mixtos parece ser la elección más prudente en vista de los resultados de los estudios en esta área. Nuestros hallazgos son específicos a atletas recreacionales de sexo masculino de entre 19-24 años de edad, por lo que enfatizamos la necesidad de que se realicen estudios adicionales utilizando otras poblaciones tales como mujeres y atletas de elite.

REFERENCIAS

1. Abernethy, P., G. Wilson, and P. Logan (1995). Strength and power assessment: Issues, controversies and challenges. *Sports Med.* 19:401-417
2. Alexander, M.J.L (1989). The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Canadian J. Sport Sci.* 14:148-157
3. Baker, D., and S. Nance (1999). The relation between strength and power in professional rugby league players. *J. Strength Cond. Res.* 13:224-229
4. Blazeovich, A.J., and D.G. Jenkins (2002). Effect of the movement speed of resistance training on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters. *J. Sports Sci.* 20: 981-990
5. Coutts, A.J., A. Murphy, and B.J. Dascombe (2004). Effect of direct supervision of a strength coach on measures of muscular strength and power in young rugby league players. *J. Strength Cond. Res.* 18:316-323
6. Deane, R.S., J.W.C. Chow, M.D. Tillman, and K.A. Fournier (2005). Effects of hip flexor training on sprint, shuttle run, and vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.* 19:615-621
7. Delecluse, C (1997). Influence of strength training on sprint running performance. Current finding and implications for training. *Sports Med.* 24:147-156
8. Delecluse, C., H. Van Coppenolle, E. Willems, M. Van Leemputte, R. Diels, and M. Goris (1995). Influence of high resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:1203-1209

9. Dintiman, G.B (1964). Effect of various training programs on running speed. *Research Quarterly*. 35:456-463
10. Dowson, M.N., M.E. Nevill, H.K. Lakomy, A.M. Nevill, and R.J. Hazeldine (1998). Modelling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *J. Sports Sci.* 16:257-265
11. Faccioni, A (1995). The role of the mid-torso in maximising sprint performance. *Strength Cond. Coach.* 2:6-10
12. Farrar, M., and W. Thorland (1987). Relationship between isokinetic strength and sprint times in college-age men. *J. Sports Med.* 27:368-372
13. Fleck, S.J (1999). Periodized strength training: A critical review. *J. Strength Cond. Res.* 13:82-89
14. Fry, C.A., and J.W. Kraemer (1991). Physical performance characteristics of american collegiate football players. *J. Appl. Sport. Sci. Res.* 5:126-138
15. Fry, C.A., J.W. Kraemer, A.C. Weseman, P.B. Conroy, E.S. Gordon, R.J. Hoffman, and M.C. Maresh (1991). The effects of an off-season strength and conditioning program on starters and non-starters in women's intercollegiate volleyball. *J. Appl. Sport. Sci. Res.* 5:174-181
16. Guskiewicz, K., S. Lephart, and R. Burkholder (1993). The relationship between sprint speed and hip flexion/extension strength in collegiate athletes. *Isokinet. Exerc. Sci.* 3:111-116
17. Hammett, J.B., and W.T. Hey (2003). Neuromuscular adaptation to short-term (4 weeks) ballistic training in trained school athletes. *J. Strength Cond. Res.* 17:556-560
18. Hennessy, L., and J. Kilty (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J. Strength Cond. Res.* 15:326-331
19. Hoffman, J.R., J. Cooper, M. Wendell, and J. Kang (2004). Comparison of Olympic vs. traditional power lifting training programs in football players. *J. Strength Cond. Res.* 18:129-135
20. Hoffman, J.R., A.C. Fry, R. Howard, C.M. Maresh, and W.J. Kraemer (1991). Strength, speed and endurance changes during the course of a division I basketball game. *J. Appl. Sport. Sci. Res.* 5:144-149
21. Kotzamanidis, C., D. Chatzopoulos, C. Michailidis, G. Papaiakevou, and D. Patikas (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 19:369-375
22. Kraemer, W.J., N.A. Ratamess, J.S. Volek, S.A. Mazzetti, and A.L. Gomez (2000). The effect of the meridian shoe on vertical jump and sprint performances following short-term combined plyometrics/sprint and resistance training. *J. Strength Cond. Res.* 14:228-238
23. Lyttle, A.D., G.J. Wilson, and K.J. Ostrowski (1996). Enhancing performance: Maximal power versus combined weights and plyometrics training. *J. Strength Cond. Res.* 10:173-179
24. McBride, J.M., T. Triplett, McBride, A. Davie, and R.U. Newton (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J. Strength Cond. Res.* 16:75-82
25. Mcevoy, K.P., and R.U. Newton (1998). Baseball throwing speed and base running speed: The effects of ballistic resistance training. *J. Strength Cond. Res.* 12:216-221
26. Meckel, Y., H. Atterbom, A. Grodjinovsky, D. Ben-Sira, and A. Rotstein (1995). Physiological characteristics of female 100 metre sprinters of different performance levels. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 35:169-175
27. Mero, A., P. Luhtanen, J.T. Viitasalo, and P.V. Komi (1981). Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.* 3:16-22
28. Murphy, A.J., and G.J. Wilson (1997). The ability of tests of muscular function to reflect training-induced changes in performance. *J. Sports Sci.* 15:191-200
29. Nesser, T.W., R.W. Latin, K. Berg, and E. Prentice (1996). Physiological determinants of 40-meter sprint performance in young male athletes. *J. Strength Cond. Res.* 10:263-267
30. Rhea, M.R (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J. Strength Cond. Res.* 18:918-920
31. Tricoli, V.A., L. Lamas, R. Carnevale, and C. Ugrinowitsch (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: Weightlifting vs. vertical jump training programs. *J. Strength Cond. Res.* 19:433-437
32. Wilson, G.J., and A.J. Murphy (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Med.* 22:19-37
33. Wilson, G.J., A.J. Murphy, and A. Walshe (1996). The specificity of strength training: The effect of posture. *Eur. J. Appl. Physiol.* 73:346-352
34. Wilson, G.J., R.U. Newton, A. Murphy, and B. Humphries (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:1279-1286
35. Young, W., D. Benton, G. Duthie, and J. Pryor (2001). Resistance training for short sprints and maximum speed sprints. *Strength Cond. J.* 23:7-13
36. Young, W., B. Mclean, and J. Ardagna (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 35:13-19

Cita Original

John Cronin, Teresa Orden, Trent Lawton and Matt Brughelli. Does Increasing Maximal Strength Improve Sprint Running Performance? *Strength and Conditioning Journal*; 29(3):86-95.