

Monograph

Adaptaciones de la Velocidad de Torque a Estímulos de Velocidad, de Resistencia, o Formas Combinadas de Entrenamiento

Gary A Dudley¹, Steven J Fleck¹, Marilyn J Shealy¹ y Robin Callister¹

¹*Department of Zoological and Biomedical Sciences, Ohio University, Athens, Ohio.*

RESUMEN

Un grupo de atletas realizó entrenamientos de carreras de velocidad (esprint) y resistencia, independientemente o conjuntamente, por 8 semanas para examinar las respuestas mecánicas voluntarias in vivo para cada tipo de entrenamiento. Se determinó el pico de ángulo específico de torque pre y post entrenamiento durante la extensión y la flexión de la rodilla a 0, 0.84, 1.65, 2.51, 3.35, 4.19, y 5.03 radian/s; y normalizado para la masa magra corporal. El torque en la extensión de la rodilla en el grupo entrenado en esprint se incrementó a lo largo de todas las velocidades de prueba; el grupo entrenado en resistencia incrementó a 2.51, 3.34, 4.19, y 5.03 radian/s, y el grupo que realizó el entrenamiento combinado no mostró cambios a ninguna velocidad. El torque de la flexión de la rodilla del grupo de esprint y combinado disminuyó a 0.84, 1.65, y 2.51 rad/s. El torque de flexión de la rodilla en el grupo entrenado en esprint también disminuyó a 0 rad/seg y en el grupo combinado a 3.34 rad/seg. El torque de flexión de rodilla en el grupo entrenado para la resistencia no mostró cambios a ninguna velocidad de contracción. Las medias de los cocientes flexión/extensión de rodilla, a las distintas velocidades de los tests, disminuyeron significativamente en el grupo entrenado en esprint. La resistencia de extensión de rodilla durante los 30 segundos de contracciones máximas, se incrementó significativamente en todos los grupos. Sólo el grupo entrenado en esprint mostró un incremento significativo en la resistencia de los flexores de rodilla. Estas informaciones sugieren que los cambios en las características mecánicas voluntarias, in vivo, de los músculos esqueléticos extensores y flexores de rodilla son específicos del tipo de entrenamiento de carrera realizado.

Palabras Clave: Palabras clave

INTRODUCCION

La influencia del entrenamiento de carrera sobre la fuerza de los grupos musculares de los miembros inferiores no es clara. Comparaciones de corredores (13, 19) de esprint y resistencia sugieren que la fuerza de los extensores de rodilla es mayor en los esprinters. El entrenamiento en esprint puede incrementar las mediciones de la fuerza (26) y la potencia (15) de los miembros inferiores, mientras que el entrenamiento de carrera de resistencia tiene un efecto pequeño o nulo sobre la fuerza o potencia (16, 20) de los miembros inferiores. Colectivamente, estos estudios sugieren cual tipo de entrenamiento de carrera específico puede tener efectos diferentes sobre la fuerza de los extensores de rodilla. Mediciones directas del efecto del entrenamiento en carreras de esprint o de resistencia sobre la fuerza de los flexores de rodilla han

recibido poca o ninguna atención.

Los cocientes o proporciones entre flexión de la rodilla/extensión de rodilla (FE) de los esprinters difiere de los de los corredores de distancia. Las proporciones FE de ambos tipos de corredores tienden a incrementar al tiempo que la velocidad de prueba aumenta; de todos modos, las proporciones de los esprinters tienden a ser menores que las de los corredores de distancia (23). No se sabe si estas diferencias son causadas por una respuesta distinta al entrenamiento.

Existe la posibilidad de que los cambios por entrenamiento específico en la fuerza de los extensores y flexores de la rodilla, contribuyan a las diferencias en las proporciones de FE.

Se ha sugerido que las proporciones FE, fuera de un rango definido específico pueden predisponer a lesiones de la rodilla (6, 11). Similarmente, las diferencias en la resistencia muscular en corto lapso podrían también predisponer a lesiones de rodilla. De todos modos, el impacto del entrenamiento de carrera en esprint y resistencia sobre las proporciones FE o la resistencia muscular en cortos períodos han recibido muy poca o ninguna atención. El propósito de este estudio fue investigar el efecto de entrenamiento de esprint sólo, de resistencia sólo y de la combinación de esprint y resistencia sobre: 1) el torque isoquinético de los grupos musculares extensores y flexores de la rodilla; 2) los cocientes FE de rodilla; y 3) la resistencia muscular en períodos cortos.

MÉTODOS

Sujetos

Cuarenta y seis estudiantes universitarios (hombres y mujeres) se prestaron para servir como sujetos. Fueron asignados al azar a uno de los tres grupos: entrenamiento de sprint (Grupo S, n=15), entrenamiento de resistencia (Grupo E, n=15), o un entrenamiento con una combinación de esprint y resistencia (Grupo C, n=16).

Doce sujetos en el Grupo S, 14 en el Grupo E y 6 en el Grupo C (total, 19 hombres y 13 mujeres) completaron el programa de entrenamiento de 8 semanas (Tabla 1). Los sujetos fueron informados de las implicancias del experimento y se obtuvo su consentimiento, antes del estudio.

Diseño del Ejercicio

Todos los tests fueron realizados en el mismo orden, antes y después del entrenamiento. Antes del entrenamiento, todos los sujetos fueron capacitados en los procedimientos de las pruebas y entrenamientos. Se evaluaron isoquinéticamente la resistencia y torque concéntrico muscular de los flexores y extensores de la rodilla. Estudios piloto indican que dos sesiones de evaluaciones isoquinéticas son necesarias para que las pruebas sean confiables. Por lo tanto, los sujetos realizaron una sesión de pruebas completa durante la orientación, y otra, inmediatamente antes del entrenamiento. Los datos de la sesión de pruebas, realizadas inmediatamente antes del entrenamiento, fue usada en los análisis estadísticos. La densidad corporal, el porcentaje de grasa corporal y la masa magra fueron determinados por evaluación de pliegues cutáneos, según métodos descritos previamente (24). La confiabilidad del test-retest de las mediciones de composición corporal fue de $r = 0.99$. Los efectos del entrenamiento sobre la *performance*, la potencia aeróbica y anaeróbica, también fueron determinados y han sido reportados en trabajos anteriores (4).

Entrenamiento de Esprint

El entrenamiento de esprint consistió en 2 series de esprints de 3 x 50 metros y 2 series de 3 x 100 metros, realizados tres veces por semana, con al menos 24 hs de descanso entre las sesiones de entrenamiento. Se permitió períodos de descanso de 1.5 minutos entre los esprints de 50 metros, 3 minutos entre los esprints de 100 metros, y 5 minutos entre las series. La intensidad del entrenamiento fue incrementada por disminución del tiempo de esprint, al ir progresando el estudio. El tiempo de esprint y la frecuencia cardiaca fueron registrados antes, e inmediatamente después de cada esprint.

Entrenamiento de Resistencia

El entrenamiento de resistencia consistió en carreras continuas de 30 minutos a una frecuencia cardiaca al o sobre el 85% de la FC máxima aceptada para la edad, sobre una pista para todos los climas o pista de carrera medida de 400 m. El entrenamiento se realizó tres veces por semana, con al menos un día de descanso entre las sesiones de entrenamiento. La intensidad del entrenamiento fue evaluada cada 15 minutos por palpación del pulso en la carótida (22). Todas las sesiones de entrenamiento fueron monitoreadas.

Entrenamiento de Combinación

El entrenamiento de combinación consistió en realizar entrenamientos de resistencia y esprint en días alternados, 6 días por semana. El entrenamiento fue conducido y monitoreado de la misma manera, como se describió para los grupos de entrenamiento de esprint y resistencia.

	Esprint (n=12)	Resistencia (n=14)	Combinación (n=6)
Edad (años)	23.2±1.0	22.1±1.0	23.8±1.7
Altura (cm)	171.1±1.9	165.9±2.6	175.8±2.4
Peso (kg)			
Pre-entrenamiento	70.4±3.9	63.5±2.8	70.4±2.6
Post-entrenamiento	70.6±3.7	62.8±2.7	70.0±2.4
% de grasa corporal			
Pre-entrenamiento	12.9±1.4	18.1±1.7	9.7±1.4
Post-entrenamiento	11.6±1.5	17.1±1.7	8.8±1.4

Tabla 1. Información sobre los sujetos que llevaron a cabo el entrenamiento de esprint, de resistencia y de combinación (media±SE).

Procedimientos de Testeo Isoquinético

El torque pico de ángulo específico (ASPT) corregido por la gravedad, la resistencia muscular, y los cocientes FE, usando ASPT, se determinaron antes y después del entrenamiento. Se usó para todas las pruebas un dinamómetro de carga isoquinética y una computadora procesadora de datos (Lumex Inc, New York, NY). La calibración se realizó antes de cada sesión de prueba como se describió previamente (2).

La posición mecánica de los sujetos se realizó como se describió previamente (21). Se realizaron tres pruebas a cada velocidad de movimiento (0.84, 1.68, 2.51, 3.35, 4.19, y 5.03 rad/seg), para flexión y extensión de rodilla. Las velocidades se ordenaron al azar y se permitió 1 minuto de descanso entre cada test de velocidad. El torque pico a ángulo específico para la extensión de la rodilla fue medido a 0.53 radianes debajo de la horizontal, con contracciones iniciadas a 0.96 debajo de la horizontal para el testeo a los 0.84 rad/seg, a 1.13 para el testeo a 1.68 rad/seg, y a 1.58 radianes debajo de la horizontal para todas las otras velocidades de prueba. El torque pico a ángulo específico para la flexión de la rodilla fue medido a 1.05 radianes debajo de la horizontal, con contracciones iniciadas desde 0.61 radianes debajo de la horizontal para el testeo a 0.84 radianes/seg, a 0.43 para 1.68 radianes/seg, y a 0 radianes debajo de la horizontal, para todas las otras velocidades.

La flexión ASPT y los ángulos desde los que se iniciaron las contracciones, fueron elegidos para permitir que la misma cantidad de radianes sea recorrida durante la extensión de rodilla. Esto permitió la aceleración del dinamómetro antes de la determinación de ASPT, y aseguró que a ese ángulo de medición de ASPT, la velocidad de contracción fuera constante y a la velocidad específica de la prueba. Un dispositivo limitante del radio de acción (Lumex, Inc.) fue usado para controlar el rango de acción del movimiento durante todas las pruebas de ASPT.

El testeo del torque isométrico (0 radian/s) para la extensión y flexión de las rodillas, fue realizado a 0.53 y 1.05 radianes debajo de la horizontal, respectivamente. Para el testeo isométrico, los sujetos fueron instruidos para incrementar la tensión muscular gradualmente al máximo en tres segundos y luego mantener la tensión por dos segundos adicionales. La extensión y flexión del ASPT fueron usadas para determinar los cocientes FE, para cada velocidad de testeo.

Un estudio piloto fue conducido durante las tres semanas del período de orientación de los sujetos. Los sujetos fueron testeados en tres ocasiones separadas. Ocurrió un mejoramiento significativo en el ASPT de las sesiones 1 y 2. Sin embargo, no se encontraron cambios entre las sesiones 2 y 3. La confiabilidad del test-retest de ASPT, a todas las velocidades, usando los valores de las sesiones 2 y 3 fueron buenas para la extensión ($r=0.93$) y la flexión ($r=0.86$).

El test de resistencia mecánica de los extensores y flexores de la rodilla consistió en la realización de la mayor cantidad de repeticiones posibles a 5.03 rad/seg, dentro de un período de 30 seg. La fatiga fue determinada al dividir el mayor ASPT final de las tres repeticiones/mayor ASPT de las tres contracciones iniciales. Durante el testeo de la resistencia mecánica, se demostró una tendencia hacia la disminución del rango de acción del movimiento (10). Se tomaron dos mediciones para minimizar los efectos de la disminución del rango de acción del movimiento durante el test de resistencia mecánica. Se

hicieron chequeos visuales durante el test para asegurarse que los sujetos contraían el dispositivo de limitación de rango de acción a 0 y 1.58 radianes, debajo de la horizontal durante cada contracción y fue verificado el rango de acción del movimiento completo, usando un canal de registro de ángulos del sistema dual de canales.

Análisis Estadísticos

Estudios previos han demostrado que el torque de flexión de rodilla, el torque de la extensión de la rodilla y la resistencia muscular, en hombres y mujeres, son aproximadamente iguales en relación a la masa corporal magra (1, 7). A raíz de que los grupos de entrenamiento en el presente estudio estuvieron compuestos tanto de hombres como de mujeres, los datos sobre ASPT fueron normalizados por la masa corporal magra. Los cocientes flexión/extensión fueron transformados arco-seno, antes del análisis de los datos. Se analizó la información por análisis de variancia (ANOVA), con un factor entrante (grupos) y dos mediciones repetidas (tiempo y velocidad de contracción). El nivel 0.05 de significancia fue usado en todos los análisis. Se realizaron interacciones; por lo tanto, los datos fueron analizados separadamente para cada grupo, con los ajustes de Bonferroni para comparaciones múltiples. Los tests "post-hoc" de Tukey se utilizaron para determinar las diferencias específicas de velocidad. Los datos musculares fueron analizados a través de ANOVA (grupo para cada vez), con comparaciones a través de las diferentes veces, para cada grupo. La gran reducción en la cantidad de sujetos en el Grupo C, redujo la potencia estadística para encontrar diferencias en este grupo. Por lo tanto, sólo son discutidas las tendencias en esta información. Se usaron coeficientes de correlación producto-momento de Pearson en la determinación de la confiabilidad.

RESULTADOS

Los datos sobre la edad, peso altura, y porcentaje de grasa corporal para los tres grupos se presentaron en la Tabla 1. Los efectos significativos del entrenamiento se reportaron previamente (4), y son sintetizados brevemente, a continuación: todos los grupos disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) sus tiempos de esprint en 50 y 100 metros; los grupos de esprint y combinado mejoraron significativamente la distancia máxima corrida en 30 segundos. Los grupos de resistencia y combinado mejoraron su distancia de carrera en 30 minutos, e incrementaron en VO_2 máx. en la prueba de cinta, mientras que el grupo de esprint no mostró cambios en estas mediciones. Estos resultados sugieren que los programas de entrenamiento de esprint y de resistencia fueron estímulos efectivos para mejorar la capacidad de esprint y resistencia, respectivamente.

Extensión de Rodilla

El Grupo S incrementó ($p < 0.005$) el ASPT en extensión de rodilla en un promedio de 5%, a través de las diferentes velocidades (Fig. 1). El Grupo E incrementó de un 5% a un 17% ($p < 0.01$), a las cuatro velocidades de testeo más rápidas (Figura 2). En contraste, el Grupo C tendió a disminuir ($p < 0.07$), a las 5 velocidades de testeo menores (Figura 3). Si bien estas disminuciones no son significativas, fueron de magnitud comparable (3% a 6%) al incremento significativo del Grupo S.

Flexión de Rodilla

El Grupo S disminuyó el ASPT en flexión de rodilla, en un 5% a un 11% ($p < 0.01$), a las cuatro velocidades menores (Figura 1). Similarmente, el Grupo C disminuyó el ASPT en flexión de rodilla del 16% al 19% ($p < 0.001$), a través de las velocidades de testeo de 0.84 a 3.34 radianes/s (Figura 3). El Grupo E no exhibió cambios significativos ($p > 0.25$) en la ASPT de flexión de la rodilla (Figura 2).

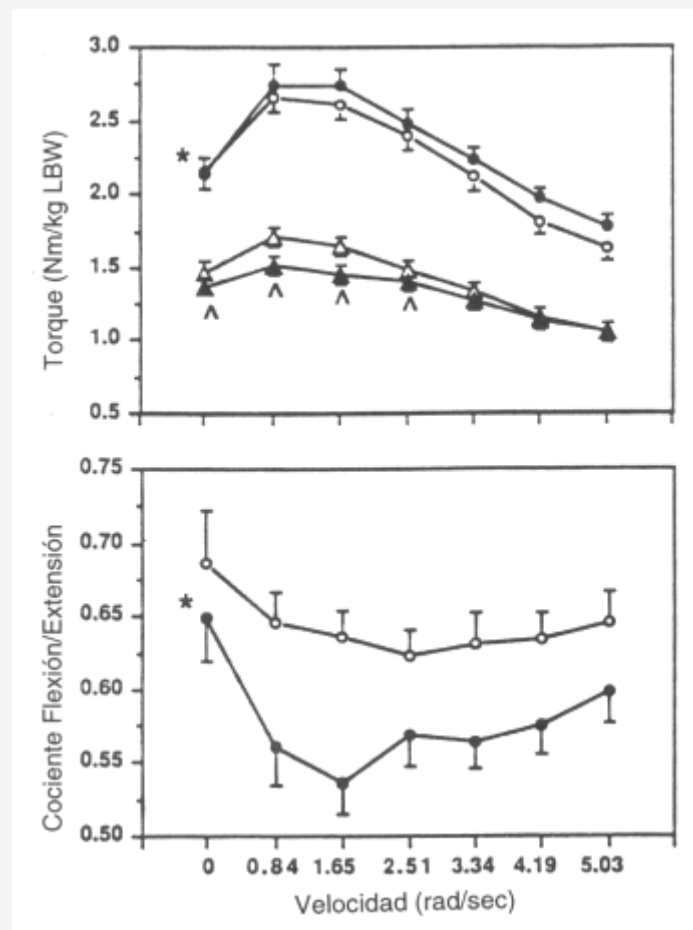


Figura 1. Relación torque-velocidad del grupo de esprint de los grupos musculares extensor y flexor (arriba) y los cocientes FE resultantes (abajo), con las acciones musculares concéntricas. Panel superior: O, extensores de rodilla, pre-entrenamiento; ●, extensores de rodilla, post-entrenamiento; Δ, flexores de rodilla, pre-entrenamiento; ▲, flexores de rodilla, post-entrenamiento. Panel inferior: (*) cambio significativo, independiente de la velocidad, con el entrenamiento ($p < 0.05$); Δ, cambio significativo, a una velocidad específica, con entrenamiento ($p < 0.05$). Los valores son presentados como valores medios \pm SE.

Cocientes o Proporciones FE (Flexores/Exensores)

Los cocientes FE del Grupo S disminuyeron un promedio de 13% ($p < 0.01$), a través de todas las velocidades de testeo (Fig. 1). El Grupo C mostró disminuciones significativas ($p < 0.02$) del 7% a 0.84 y 1.65 radian/seg. (Fig. 3). Los cocientes FE de la rodilla del Grupo E no cambiaron significativamente ($p = 0.86$) (Fig. 2).

Resistencia Muscular

Los tres grupos demostraron incrementos significativos ($p < 0.001$) en la resistencia muscular de los extensores de rodilla (Tabla 2), pero sólo el Grupo S incrementó ($p < 0.005$) la resistencia de flexores de la rodilla.

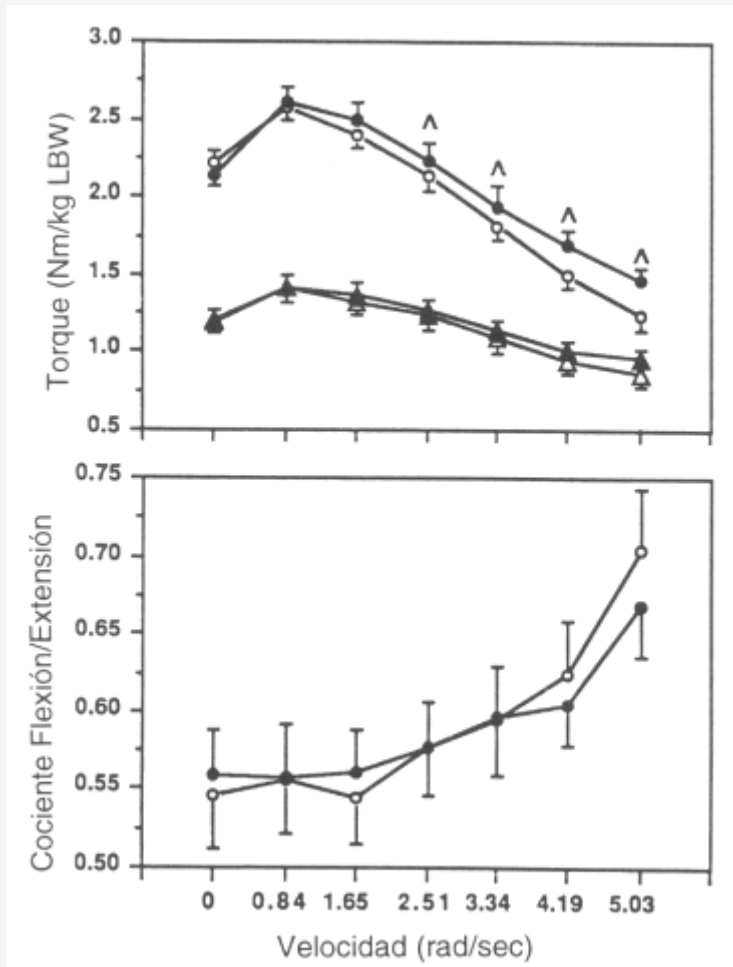


Figura 2. Relación de velocidad-torque del grupo de resistencia, para los grupos extensor y flexor de rodilla (arriba), y los cocientes FE resultantes (abajo), con las acciones musculares concéntricas. Ver leyenda de la Figura 1 (explicación de los símbolos similar a la mencionada Figura 1).

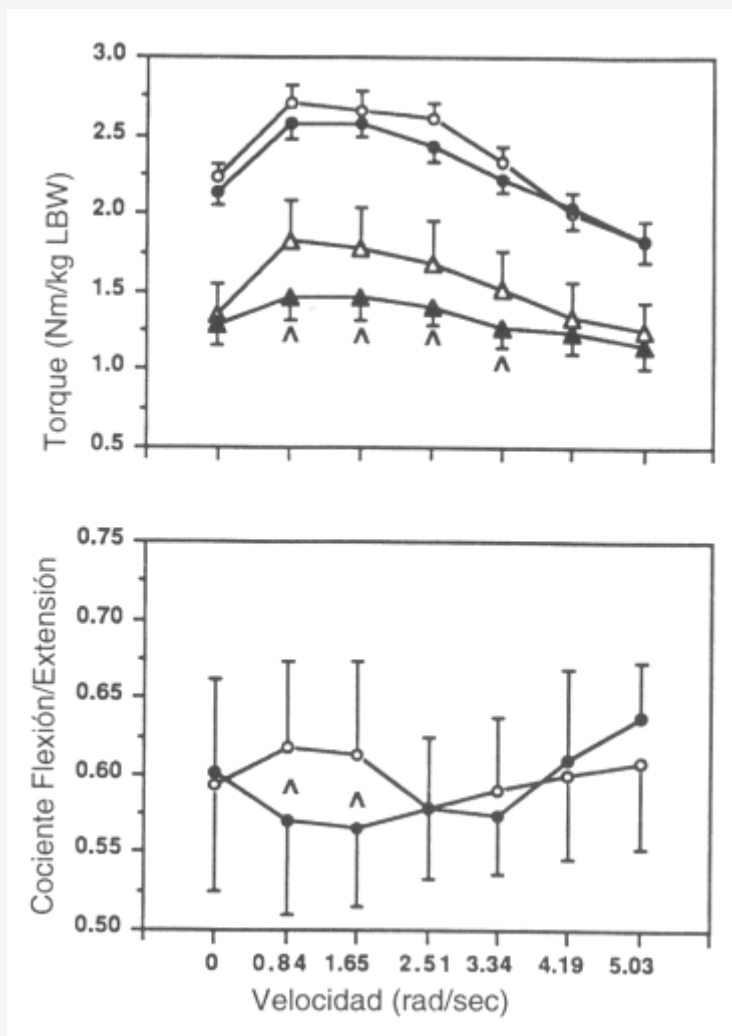


Figura 3. Relación de velocidad-torque del grupo de entrenamiento combinado, para los grupos musculares flexor y extensor de rodilla (arriba), y los cocientes FE resultantes (abajo), con las acciones musculares concéntricas. Ver leyenda de la Figura 1 (explicación de los símbolos similar a la mencionada Figura 1).

DISCUSION

Los mayores hallazgos de este estudio fueron que las adaptaciones de torque isoquinético concéntrico para la realización de entrenamiento de carrera fueron específicas del grupo muscular, específicas al tipo de entrenamiento de carrera realizado y específicas a alguna velocidad. El entrenamiento de carrera puede alterar los cocientes FE al afectar diferencialmente los grupos musculares flexores y extensores de la rodilla. Como se esperaba, el entrenamiento de carrera tiende a fortalecer la resistencia muscular local.

El entrenamiento de resistencia y esprint resultaron en diferentes respuestas en los dos grupos musculares examinados. El esprint incrementó las capacidades del extensor de rodilla mientras que disminuyó el torque del flexor. El entrenamiento de resistencia también incrementó el torque del extensor de la rodilla, pero no tuvo efectos sobre el torque del flexor. Estas informaciones sugieren que las conclusiones concernientes al impacto del entrenamiento de carrera sobre el desarrollo de la fuerza, dependen del grupo muscular examinado. Estos resultados son sorprendentes, porque estudios de corte seccional sugieren que los sprinters tienen extensores y flexores de rodilla más fuertes que los corredores de distancia, ambos en términos absolutos, y aún cuando los datos se normalizaron por peso corporal o por área muscular de corte seccional (13, 14, 19, 23). Estos estudios previos implican que el entrenamiento de sprint puede mejorar las capacidades de fuerza de ambos grupos musculares, mientras que el entrenamiento de resistencia puede disminuirlas o no generar efectos. De todos modos, las diferencias entre datos de estudios de corte seccional de corredores exitosos de sprint y de resistencia, no pueden ser enteramente atribuibles al tipo de entrenamiento de carrera realizado.

Test (% de torque inicial)	Esprint (n= 12)	Resistencia (n=14)	Combinación (n= 6)
Extensión			
Pre-entrenamiento	32.0±2.4	33.0±1.9	34.5±3.4
Post-entrenamiento	43.6±1.6 a	44.1±1.8 a	50.5±4.1 a
Flexión			
Pre-entrenamiento	38.9±2.8	46.1±3.0	47.2±3.6
Post-entrenamiento	49.6±3.0 b	49.5±2.1	46.3±3.8

Tabla 2. Resistencia muscular (media±SE %). (a) Diferencias significativas ($p<0.05$) entre valores de pre a post entrenamiento. (b) Diferencias significativas ($p<0.01$) entre valores de pre a post entrenamiento.

En el presente estudio, los entrenamientos de esprint y de resistencia incrementaron las capacidades de torque de los extensores de la rodilla. Existieron diferencias, de todos modos, a las velocidades a las cuales estos incrementos fueron observados. El entrenamiento de esprint incrementó el torque tanto a velocidades bajas como a rápidas, mientras que el entrenamiento de resistencia mejoró el torque solamente a las cuatro velocidades más rápidas. Esta información sugiere que las diferencias de torque de los extensores de la rodilla entre corredores de esprint y de resistencia, pueden ser más evidentes a velocidades más bajas. Esto está de acuerdo con estudios previos de corte seccional que mostraron diferencias significativas en la fuerza isométrica del extensor de rodilla (14, 19). Estos estudios mostraron mayores diferencias en el torque del extensor de la rodilla entre corredores de esprint y de resistencia, a las velocidades más bajas (1.04 radian/seg) comparado con las velocidades de movimiento más rápidas (5.03 radian/seg).

Informaciones previas sugieren también que los corredores de esprint tienen flexores de rodilla más poderosos que los corredores de resistencia, a través de un rango variado (1.04, 3.34, 5.03 radian/seg) de velocidades isoquinéticas concéntricas (23). Los resultados del presente estudio sugieren que el entrenamiento de esprint podría contribuir a una menor producción total de fuerza, en vez de una mayor producción total de fuerza, de los flexores de rodilla a velocidades más bajas, no teniendo efecto sobre la producción total de fuerza a velocidades más altas. En contraste, el entrenamiento de resistencia no tuvo efecto sobre la capacidad de producción total de fuerza del flexor de la rodilla a cualquier velocidad testeada. La producción total de fuerza depende de muchos factores, sólo algunos de los cuales pueden ser influenciados por el tipo de entrenamiento de carrera realizado. Otros factores, aparte del tipo de entrenamiento realizado, pueden explicar las diferencias en el torque del flexor de la rodilla, previamente observadas.

Los métodos de testeo y la elección de las poblaciones de sujetos pueden también, haber influenciado en las diferencias observadas entre los atletas de esprint y de resistencia en estudios previos. Los estudios que sugieren que el entrenamiento de carrera de resistencia no tiene impacto (16) o que disminuye la fuerza o potencia de los miembros inferiores usaron la fuerza de dorsales o el salto vertical como el test de criterio. Estas mediciones pueden reflejar el compromiso de una cantidad de grupos musculares, no usados en el entrenamiento de carrera de distancia y que implican modelos de activación neural que son parciales en los atletas de resistencia. Aunque estos resultados de entrenamiento pueden ser reales, pueden no representar una producción total de fuerza específica para una *performance* atlética de resistencia. Un estudio que sugirió que el entrenamiento de resistencia disminuye el torque isoquinético concéntrico del extensor de rodilla usó corredores de marcha y orientadores para las comparaciones con corredores de esprint de pista (25). Las diferencias de especificidad en las respuestas de entrenamiento pueden haber contribuido a los resultados de este estudio.

Las respuestas del grupo de combinación, no necesariamente reflejan el entrenamiento de carrera del esprint o de resistencia, ni aún un compromiso entre las respuestas a estos dos tipos de entrenamiento. El torque de flexión de rodilla en el grupo de combinación disminuyó, a velocidades similares a las del grupo de esprint. De todos modos, la magnitud de esta disminución tendió a ser más grande en el grupo de combinación, a pesar del hecho de que no hubo tendencias de disminución en el torque del flexor de la rodilla en el grupo de resistencia. El torque de extensión de rodilla incrementó, tanto en los grupos de esprint como de resistencia, pero el grupo combinado tendió a disminuir en el torque de extensión de rodilla. Una explicación para estas disminuciones en la capacidad de torque en el grupo de combinación puede atribuirse a un fenómeno de sobre-stress. La disminución del torque de flexión y extensión de rodilla ha sido demostrado en atletas sobrestresados por incremento o aumento del volumen de entrenamiento (3). Los sujetos en el grupo de combinación entrenaron 6 días por semana. Ellos percibieron al entrenamiento como más estresante, como lo evidencia la gran tasa de deserción en este grupo comparado con los otros dos grupos. Por ello, la posibilidad de que la condición de sobre-stress existió en el grupo de combinación, es una hipótesis viable.

Los cocientes FE reportados aquí para todos los grupos son de la misma magnitud (8, 27) o menores (5, 8), que aquellos reportados para hombres y mujeres sedentarios, especialmente a altas velocidades de movimiento. Estos cocientes FE

reportados, son también menores que aquellos de hombres y mujeres corredores de esprint y de distancia (23) a bajas velocidades de movimiento (mayores a 1.05 radian/seg), pero menores que los cocientes FE para estos mismos grupos a altas velocidades de movimiento (mayores a 3.35 radian/seg). Discrepancias con estudios previos, pueden explicarse parcialmente, usando los valores de torque corregido por gravedad en el presente estudio y valores no corregidos por gravedad en estudios previos (5, 8, 23). El cálculo de los cocientes FE, usando los torques corregidos por gravedad, resulta en una pequeña disminución en la proporción al aumentar la velocidad de movimiento (8, 9). El uso de los torques no corregidos por gravedad, resulta en un incremento sustancial en la proporción, al aumentar la velocidad de movimiento (8, 9). Una segunda razón para las diferencias entre los cocientes FE reportados aquí con respecto a estudios previos, es el uso de torque pico a ángulo específico en el presente estudio vs. torque pico, y respectivo del ángulo al cual ocurrió el pico, en estudios previos (5, 23). Los cocientes flexión/extensión, tanto aquellos corregidos por gravedad como los que no, cambiaron significativamente con el ángulo de la rodilla al que se determinan los torques usados para calcular los cocientes FE respectivos (8). En general, los cocientes FE a ángulo específico (si son testeados) disminuyen al incrementar el ángulo de la rodilla (8).

El entrenamiento de esprint, simultáneamente, incrementa la capacidad de torque de los extensores de la rodilla y disminuye aquella para los flexores, aunque no a altas velocidades. Consecuentemente, el entrenamiento para esprint resulta en una disminución en la proporción FE. La proporción FE reducida en el grupo de combinación, a bajas velocidades de movimiento, fue un resultado de esta tendencia a reducir el torque de los extensores de la rodilla, a bajas velocidades. Aunque esto ha sido discutido (12), las proporciones FE a bajas velocidades (1.05 radian/seg) de movimiento de 0.50 a 0.70 (6, 11), han sido propuestas como óptimas para el mantenimiento de la estabilidad de la rodilla. Las proporciones FE post-entrenamiento de los grupos de esprint y combinado están por debajo de estas proporciones FE propuestas para la estabilidad de la rodilla. De todos modos, como se discutió previamente, el uso de la corrección por gravedad de los valores de torque, y los torques a ángulo específico vs. los valores de torque pico tiene sustanciales efectos sobre las proporciones FE calculadas. Esto hace que las comparaciones directas entre estudios sean muy difíciles. Por ello, aunque las proporciones FE de los grupos de esprint y de combinación disminuyeron, es difícil establecer que las proporciones FE son más bajas de los límites propuestos.

Todos los grupos de entrenamiento incrementaron la resistencia de los músculos de extensión de la rodilla, mientras que sólo el grupo de esprint incrementó la resistencia en los músculos flexores de la rodilla. Antes del entrenamiento, todos los grupos tendieron a tener mejor resistencia del flexor de la rodilla que del extensor. Después del entrenamiento, la resistencia de los músculos extensores y flexores fue muy similar para todos los grupos. Aunque no haya habido una diferencia muy significativa con respecto a los otros grupos, el grupo de esprint tendió a tener una más pobre resistencia del flexor antes del entrenamiento comparado con los otros grupos. Por eso, es posible que el mejoramiento de la resistencia del flexor en el grupo de esprint haya sido debido al pequeño déficit anterior al entrenamiento. Alternativamente, podría representar una adaptación al entrenamiento.

Está bien documentado que los cambios paralelos en el VO_2 máx. cambian la capacidad de resistencia, en largos períodos en carreras y ciclismo (17). Sin embargo, el grupo de esprint no mostró cambios en el VO_2 máx., aunque incrementó la resistencia de los músculos de extensión y flexión de la rodilla. A causa de la corta duración (30 seg) del test usado en el presente estudio, parece improbable que los cambios en el VO_2 máx. pudieran explicar la resistencia muscular incrementada. Es más probable que factores tales como cambios en las enzimas musculoesqueléticas, resulten en una mayor capacidad para la resíntesis de adenosina 5-trifosfato (ATP) (1), a partir de fuentes inmediatas, o que algunas alteraciones en el reclutamiento de las unidades motoras estuviesen involucradas en el incremento de la resistencia muscular. Incrementos de la adenosintrifosfatasa (ATPase), mioquinasa, y de creatin-fosfatos (CP) han sido reportados luego del entrenamiento en cortos períodos (8 semanas) de carrera de esprint (26) y tales adaptaciones podrían ayudar a la resíntesis de ATP. Estos factores también se han sugerido, como parcialmente responsables, por el aumento de la capacidad de resistencia en carrera y bicicleta, a la fatiga causada por entrenamiento de resistencia que dio como resultado un cambio no significativo en el VO_2 máx., pero que incrementó significativamente la fuerza de las piernas (en flexión máxima, en extensiones de rodilla, en flexiones de rodilla) (18).

SUMARIO

Los resultados del presente estudio indican que el entrenamiento de carrera de esprint y de resistencia por cortos períodos, en personas no atléticas, induce a modestos pero significativos cambios en las características mecánicas in vivo de los grupos musculares extensor y flexor de la rodilla. El entrenamiento de esprint y resistencia puede ser compatible, en algunos aspectos en que el estímulo de esprint o de resistencia, incrementa la fuerza del extensor de la rodilla, mientras el entrenamiento de combinación no lo hace. Alternativamente, la *performance* de esprint, resistencia o ambos modos de

entrenamiento, reducen la fatiga de los extensores de la rodilla, en el corto plazo. Estos resultados sugieren que la fuerza y la resistencia en breves plazos, están gobernados por factores independientes. La información también sugiere que el entrenamiento de esprint induce a una diferencia relativamente mayor de la fuerza entre los flexores y extensores de rodilla, porque el entrenamiento de esprint y resistencia combinados y el entrenamiento de esprint, por sí solos, disminuyeron la fuerza de los flexores de rodilla, mientras que el entrenamiento de resistencia no tuvo efectos. No está claro si esto predispone a los corredores de esprint a lesiones del grupo muscular flexor de rodilla. Las diferentes respuestas adaptativas de los flexores y extensores de rodilla al mismo modelo de entrenamiento sugieren que el entrenamiento de carrera de resistencia, y especialmente de esprint, impone diferentes demandas a estos grupos musculares.

REFERENCIAS

1. Anderson MD, Cote RW, Coyle EF, et al (1979). Leg power, muscle strength and peak EMG activity in physically active college men and women. *Med Sci Sports Exerc* 11: 81-82
2. Caizzo VJ, Perrine JJ, Edgerton VR (1981). Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 51: 750-754
3. Callister R, Callister RJ, Fleck SJ, et al (1990). Physiological and performance responses to overtraining in elite judo athletes. *Med Sci Sports Exerc* 22: 816-824
4. Callister R, Shealy MJ, Fleck SJ, et al (1988). Performance adaptations to sprint, endurance, and both modes of training. *J Appl Sport Sci* 2: 46-51
5. Colliander EB, Tesch PA (1989). Bilateral eccentric and concentric torque of quadriceps and hamstring muscles in females and males. *Eur J Appl Physiol* 59: 227-232
6. Coplin TH (1971). Isokinetic exercise: Clinical usage. *Athl Training* 6: 110-114
7. Falkel JE, Sawka MN, Levine L, et al (1985). Upper to lower body muscular strength and endurance ratios for women and men. *Ergonomics* 28: 1661-1670
8. Figoni SF, Christ CB, Massey BH (1988). Effects of speed, hip, and knee angle, and gravity on hamstring to quadriceps torque ratios. *J Orthop Sports Phys Ther* 9: 287-291
9. Fillyaw M, Bevins T, Fernandez L (1986). Importance of correcting isokinetic peak torque for the effect of gravity when calculating knee flexor to extensor muscle ratios. *Phys Ther* 66: 23-31
10. Gilliam TB, Sady SP, Freedson PS, Villanacci J (1979). Isokinetic torque levels for high school football players. *Arch Phys Med Rehab* 60: 110-114
11. Grace TG (1985). Muscle in balance and extremity injury: A perplexing relationship. *Sports Med* 2: 77-82
12. Gregor RJ, Edgerton VR, Perrine JJ, et al (1979). Torque-velocity relationships and muscle fiber composition in elite female athletes. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 47: 388-392
13. Hakkinen K, Keskinen KL (1989). Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength-and endurance-trained athletes and sprinters. *Eur J Appl Physiol* 59: 215-220
14. Hakkinen K, Mero A, Kauhane H (1989). Specificity of endurance, sprint, and strength training on physical performance capacity in young athletes. *J Sports Med* 29: 27-35
15. Hickson RC (1980). Interference of strength development by simultaneous training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol* 45: 255-263
16. Hickson RC, Bomze HA, Holloszy JO (1977). Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *J Appl Physiol* 42: 372-376
17. Hickson RC, Rosenkoetter MA, Brown MM (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med Sci Sports Exerc* 12: 336-339
18. Maughan RJ, Watson JS, Weir J (1983). Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *Eur J Appl Physiol* 50: 309-318
19. Ono M, Miyashita M, Asami T (1976). Inhibitory effect of long distance running training on the vertical jump and other performances among aged males, in Komi PV (ed): *Biomechanics B-V. Baltimore, University Park Press, pp. 94-10*
20. Perrine JJ, Edgerton VR (1978). Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Med Sci Sports Exerc* 10: 159-166
21. Pollock ML, Broida J, Kendrick Z (1972). Validity of the palpation technique of heart rate determination and its estimate of training heart rate. *Res Q* 43: 77-81
22. Rankin JM, Thompson CB (1983). Isokinetic evaluation of quadriceps and hamstring function: Normative data concerning body weight and sport. *Athletic Training* 18: 110-113
23. Sloan AW, de V Weir JB (1970). Nomograms for prediction of body density and total body fat from skinfold measurements. *J Appl Physiol* 28: 221-222
24. Thorstensson A, Larsson L, Tesch P, et al (1977). Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med Sci Sports* 9: 26-30
25. Wyatt MP, Edwards AM (1981). Comparison of quadriceps and hamstring torque values during isokinetic exercise. *J Orthop Sports Phys Ther* 3: 48-56

Cita Original

Marilyn J. Shealy, Robin Callister, Gary A. Dudley; Y Steven J. Fleck. Adaptaciones de la Velocidad de Torque a Estímulos de Velocidad, de Resistencia, o Formas Combinadas de Entrenamiento. Reproducido del artículo original publicado en The American Journal of Sports Medicine, Vol. 20, Number 5, pp. 581-586, 1992.