PubliCE, (PubliCE) 2002

Monograph

Efectos de una Carrera de 10 km sobre la Fuerza y la Potencia Muscular

William J Kraemer[1], Jeff S Volek[1], Nicholas A Ratamess[1], Ana L Gómez[1], Martín R Rubin[1], Duncan N French[1], Robert J Radwich[2], Craig R Denegar[2], Jill A Bush[2] y Brandon K Doan[3]

[1]*Health and Human Performance Laboratory, Department of Kinesiology, The University of Connecticut, Storrs, Connecticut 06269.*
[2]*Laboratory of Sports Medicine, Department of Kinesiology, Center for Sports Medicine, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802.*
[3]*The Biomechanics Laboratory, Ball State University, Muncie, Indiana 47306.*

RESUMEN

La recuperación de la fuerza y la potencia máxima luego de una carrera de 10 km. no ha sido ampliamente estudiada en la literatura científica. 10 hombres sanos que eran corredores de distancia experimentados participaron en esta investigación. Los datos fueron recolectados antes de la carrera, inmediatamente después de la carrera, y 48 horas después de la carrera para examinar el efecto de una carrera de 10 km. sobre la producción de fuerza muscular en el tren inferior. El torque pico máximo fue medido por medio de un dinamómetro isoquinético a 30°, 180°, y 300°.s^{-1}. Fue observada una reducción significativa ($p \leq 0.05$) en el torque pico para la flexión de rodilla a 30 °.s^{-1}, inmediatamente después de finalizada la carrera. La potencia promedio de los flexores de la rodilla estuvo significativamente disminuida inmediatamente después de la carrera. El trabajo total (J) de flexión realizado a través de las últimas 17 repeticiones del test de 50 repeticiones estuvo significativamente disminuido con respecto a los valores iniciales durante las evaluaciones realizadas inmediatamente después de la carrera y 48 horas después de la misma. Las reducciones significativas en la fuerza pico del salto vertical permanecieron reducidas 48 horas después de la carrera. No fueron observados cambios para la potencia de salto después de la carrera. Estos datos indican que solo el grupo muscular de los isquiotibiales no estuvo completamente recuperado para realizar el test de 50 repeticiones y que la producción de fuerza en el test de salto vertical estuvo comprometida 48 horas después de una carrera de 10 km. No obstante, parece que las capacidades de fuerza y potencia de los corredores de 10 km. están en su mayor parte reestablecidas 48 horas después de un esfuerzo máximo en una carrera de 10 km. A partir de una perspectiva práctica, parece que en encuentros de atletismo debería ser utilizado un mínimo de 48 horas entre pruebas múltiples en carreras de 10 km.

Palabras Clave: carrera de resistencia, rendimiento físico, recuperación

INTRODUCCIÓN

En los encuentros de atletismo en las competiciones de alto nivel, las carreras múltiples de 10km. son necesarias para reducir el número de competidores. La recuperación entre carreras es de manera característica de 48 horas. Los esfuerzos máximos son muchas veces requeridos por muchos corredores para llegar a las finales. Actualmente, no existe ningún dato

acerca del impacto de tal esfuerzo a través de una distancia de 10km. sobre las capacidades de producción de fuerza del músculo. Además, el patrón de recuperación permanece poco claro.

Ha sido reportado que las carreras de larga distancia de 20km. o más, disminuyen significativamente la fuerza muscular y/o la capacidad de ejercicio (i.e., repeticiones isoquinéticas múltiples, como 50-60 repeticiones) luego de la competición (29, 31). Esto puede ser debido a tanto daño muscular como depleción de glucógeno, las cuales serían mayores en distancias más largas (i.e., maratón y pruebas más largas; 1, 3, 10, 12, 15). Aunque la depleción del glucógeno de algunos músculos puede ocurrir durante distancias de carrera más cortas realizadas a una mayor velocidad, la misma parecería no ser una limitación principal de las capacidades de fuerza y potencia luego de la carrera (9, 23). Además, las capacidades de fuerza y potencia de la musculatura del tren inferior pueden ser más importantes para carreras más rápidas (e.g., 10km.).

Kraemer et al. (29) observaron disminuciones en el área bajo la curva de torque pico luego de una carrera de 20km. en cinta ergométrica mientras que el torque pico máximo en los flexores/extensores de la rodilla no fue afectado. Los autores especularon que la carrera de 20km. no afectó significativamente las unidades motoras de contracción rápida responsables de la producción de torque pico, mientras que la reducción en el área bajo la curva de torque pico fue debido a la fatiga de las unidades motoras lentas (7, 21, 22). Con la distancia de maratón, Sherman et al. (31) reportaron reducciones significativas en la fuerza isoquinética y en la capacidad de ejercicio inmediatamente después de una carrera de maratón. Interesantemente, estas medidas no retornaron al valor inicial hasta 3 días después de la maratón. Esto puede haber sido debido al daño muscular típicamente consiguiente a una carrera de maratón (13, 31).

Uno podría hipotetizar que la producción de fuerza del músculo no estaría afectada si la carrera fuera comparable a una carrera de 20km. y solo reclutara unidades motoras lentas (i.e., bajo umbral; 8, 11, 21). Sin embargo, nosotros pensamos que con mayores velocidades, serían reclutadas más unidades motoras de mayor umbral para correr la carrera. Además, nosotros hipotetizamos que algún daño ocurriría con una competición de esfuerzo máximo a través de este período de tiempo. Así en general nosotros hipotetizamos que después de una carrera de 10km. sería observada una reducción en las capacidades de producción de fuerza. Cualquier cambio en los resultados de la producción de fuerza inmediatamente post-carrera reflejarían la fatiga aguda asociada con la carrera, y si los cambios persistieran a través de 48 horas de recuperación esto reflejaría la fatiga crónica asociada a la unidad contráctil. Si un atleta tiene que estar en óptimas condiciones para una carrera de competición, la recuperación de la fuerza y la potencia parecería ser importante para un corredor cuando los esfuerzos máximos (e.g., fases de fuerza de la carrera) juegan un rol en el éxito de competición (25, 26).

La recuperación puede ser aún más importante para aquellos atletas que compiten a altos porcentajes de su record de marca personal para alcanzar las finales. De este modo, el propósito de esta investigación fue examinar las capacidades de fuerza y potencia y el patrón de recuperación muscular a través de 48 horas después de una carrera de 10km.

MÉTODOS

Diseño Experimental y Enfoque del Problema

Con el objetivo de examinar este problema nosotros reclutamos corredores recreacionales de 10km. de nivel competitivo para participar en una carrera para alcanzar un record personal. Fue importante que la carrera fuera corrida lo más cerca de un esfuerzo personal máximo como fuera posible con el objetivo de establecer conclusiones con respecto a los cambios en la producción de fuerza en el muslo superior y la cadena cinemática cerrada. La evaluación fue llevada a cabo antes, inmediatamente después, y 48 horas después de la carrera para determinar el impacto de 2 días de recuperación comúnmente usados en los encuentros donde son necesarias eliminatorias preliminares para calificar para las finales.

Sujetos

Los 10 hombres fueron reclutados a partir de clubes de atletismo del área local. Todos los corredores eran corredores experimentados que entrenaban para carreras de 10km., y muchos eran antiguos atletas de resistencia universitarios. El estudio fue aprobado por un Comité de Revisión Institucional Universitario para el uso de sujetos humanos en la investigación. Los sujetos fueron informados acerca de los riesgos y beneficios potenciales del estudio, y cada uno de ellos proporcionó un informe de consentimiento por escrito. Los sujetos fueron revisados por un médico, no estaban tomando ninguna medicación, y estaban libres de cualquier complicación ortopédica o médica que pudiera confundir la interpretación de los datos. La ingesta nutricional de todos los sujetos consistió de los requerimientos adecuados de carbohidratos, grasas y proteínas antes de la carrera y luego de la misma con el objetivo de optimizar la recuperación de los sustratos (2). Las características de los sujetos y otros datos descriptivos son presentados en la Tabla 1.

DiseñoExperimental

En esta investigación fue administrada una batería de evaluaciones de rendimiento de fuerza y potencia. Los sujetos fueron totalmente familiarizados con el protocolo de evaluación antes de la investigación. Esto incluyó varias sesiones de práctica para reducir los potenciales efectos de aprendizaje (17). La batería de test fue administrada en 3 puntos de tiempo: 2 días antes de la carrera, dentro de los 15 minutos luego de terminada la misma (los corredores fueron transportados en auto a las instalaciones donde se hacían las evaluaciones las cuales estaban a media milla de la pista), y 2 días luego de la carrera. Las evaluaciones iniciales fueron realizadas 2 días antes de la carrera para asegurar un esfuerzo máximo. Nuestras experiencias piloto anteriores con corredores fueron que las evaluaciones justo antes de la carrera tienden a producir menores valores de producción de fuerza debido a lo que podría ser postulado como efecto inhibitorio y miedo psicológico de lesión y deseo de proteger su rendimiento de carrera subsiguiente. El orden de evaluación fue test de potencia de salto vertical, test isoquinético, y test de resistencia isoquinética repetitiva. Las confiabilidades test-retest para todas las evaluaciones experimentales hechas en el mismo orden demostraron correlaciones intraclase de $r \geq 0.94$.

Carrera Experimental

Una carrera competitiva de 10km. para los sujetos fue llevada a cabo en una pista estándar al aire libre de 400 m de competición, para cualquier clima. Fue obtenido el tiempo individual de cada sujeto, así como una frecuencia cardiaca antes e inmediatamente después de la carrera a través de la palpación radial. Luego de la carrera fue obtenida la escala de esfuerzo percibido usando la escala de Borg (6-20) para evaluar el esfuerzo además del tiempo de carrera (5, 6). El objetivo de la carrera para cada sujeto fue establecer un record personal. Fueron usadas personas que registraban los tiempos individuales de cada sujeto.

Evaluación Isoquinética

Un dinamómetro isoquinético Biodex System II (Biodex Medical Systems Inc., Shirley, NY) con un registrador gráfico y un software para computadora fue usado para medir el torque pico y para determinar el área bajo la curva de torque pico. El dinamómetro isoquinético fue calibrado antes de cada sesión de evaluación de acuerdo a los procedimientos prescritos por el fabricante (4). Durante las evaluaciones, los sujetos fueron estabilizados al nivel de muslo, pecho, y cadera con correas. Las velocidades utilizadas fueron las siguientes: 30º, 180º y 300º.s^{-1}. Estas velocidades fueron elegidas para proporcionar un perfil común de velocidad de capacidades de producción de torque. La fuerza fue definida como el más alto torque pico isoquinético voluntario máximo en cada una de las 3 velocidades para los movimientos de flexión y extensión de rodilla. El torque pico concéntrico máximo fue el valor más alto de torque producido a partir de 3 esfuerzos individuales (17).

Evaluación de Resistencia Isoquinética

El test de resistencia consistió de la realización de movimientos de extensión y flexión de las rodillas isoquinéticos voluntarios máximos a través de 50 repeticiones a 180º.s^{-1} (29, 32). Los sujetos fueron instruidos para realizar las extensiones y flexiones de las rodillas máximas tan rápido como fuera posible para todo el test de 50 repeticiones. Los sujetos fueron instruidos para no regular la intensidad. La resistencia muscular fue definida como la expresión del trabajo total (J; área bajo la curva de torque) durante los movimientos repetitivos de extensión y flexión para las 50 repeticiones. El trabajo total y la potencia media fueron determinados por medio de análisis computacional del torque de las 50 repeticiones. Las repeticiones 1-17 y las repeticiones 34-50 fueron analizadas para evaluar la fatiga durante las fases tempranas y tardías del test de resistencia.

Evaluaciones de la Potencia del Salto

Fue usado un test de salto vertical con contramovimiento para determinar la potencia del salto vertical. Fue utilizado un AMTI (Advanced Medical Technology Inc., Watertown, MA) para las mediciones en la plataforma de fuerza para determinar la potencia. Después de una entrada en calor apropiada, cada sujeto realizó 3 pruebas de un salto con contramovimiento máximo en la plataforma de fuerza con las manos en la cadera. El valor más alto obtenido fue usado para los análisis de los datos. Los análisis computacionales de las cuervas fuerza-tiempo permitieron la determinación de la potencia y fuerza pico. El tiempo hasta el desarrollo del pico de potencia fue también determinado.

Evaluación de la Potencia Aeróbica

Para propósitos descriptivos, el máximo consumo de oxígeno fue determinado usando una evaluación de ejercicio gradual en una cinta ergométrica Quinton (Seattle, WA) con motor usando el protocolo de Bruce modificado hasta la fatiga volitiba (30). Durante cada etapa de la evaluación, la frecuencia cardiaca fue monitoreada continuamente por medio de un Monitor de la Frecuencia Cardiaca Polar, y los índices de fatiga percibida (RPE) fueron registrados cada minuto. Los gases espirados fueron analizados durante los últimos 6 minutos del test usando un sistema metabólico automático. El analizador de gases consistió en un analizador de CO_2 Beckman LB-2 (Beckman Instruments, Schiller Park, IL) y un analizador de O_2

S3A (Applied Electrochemistry, AEI Technologies, Pittsburg, PA) y fueron calibrados con gases estándar antes de cada evaluación. Las mezclas de gases estándar usadas para calibrar los analizadores de gases fueron previamente calibradas por medio de la metodología Scholander. El flujo fue medido por medio de un Pneumotach Hans Rudolph modelo 4813 y transducido a volumen por un instrumento Fitco Micro-Flow modelo FLO-1.

Mediciones Antropométricas

Fueron obtenidas las mediciones antropométricas y las mediciones descriptivas características (e.g., edad, talla, y peso) para cada sujeto. La densidad corporal fue estimada usando 7 pliegues cutáneos con un calibre de pliegues cutáneos Lange (Country Technology, Gay Mills, WI) de acuerdo a los métodos de Jackson y Pollock (27). Los 7 sitios fueron tríceps, subescapular, muslo, axila media, abdomen y pecho. El porcentaje de grasa corporal fue calculado usando la ecuación de Siri. Tres pliegues cutáneos tomados en cada sitio y una variación de menos del 5% fue un criterio aceptable de medición. El peso corporal fue medido con una apreciación de 0,1kg. usando una balanza calibrada con los sujetos usando solo pantalones cortos.

AnálisisEstadísticos

Estos datos fueron analizados usando análisis de varianza a 1 vía (ANOVA) con mediciones repetidas y un test post hoc Fisher de menor diferencia significativa, cuando fue apropiado. La significancia fue establecida a un nivel $p \leq 0.05$.

Sujeto	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)	Grasa Corporal (%)	VO2 máx. ($mL.kg^{-1}.min^{-1}$)
1	21	180.34	73.18	9.85	58.45
2	24	185.42	82.72	8.39	59.00
3	18	175.26	63.63	9.49	63.55
4	23	170.18	61.36	9.12	75.75
5	26	175.26	70.45	13.20	61.20
6	23	187.96	81.36	7.96	64.70
7	25	170.18	62.72	5.62	62.75
8	22	185.42	73.18	7.60	64.80
9	22	177.80	70.45	11.86	64..85
10	18	182.88	74.09	9.38	63..30
Media±DS	**22.2±2.6**	**179.1±6.4**	**71.3±7.3**	**9.3±2.1**	**63.8±4.8**

Tabla 1. *Características y datos descriptivos de los sujetos.*

Sujeto	Tiempo de Carrera (min:s)	Frecuencia Cardiaca al final de los 10 km	RPE* de los 10 km
1	35:03	198	15
2	36:41	183	18
3	32:22	210	19
4	35:33	186	16
5	35:35	180	18
6	32:59	164	17
7	35:12	180	18
8	35:21	186	19
9	37:09	168	18
10	36:02	184	17
Media±DS	**35:12±1:28**	**184±13**	**17.5±1.3**

Tabla 2. *Datos a partir de la carrera de 10km..* RPE, índice de fatiga percibida.*

RESULTADOS

El propósito de esta investigación fue examinar los efectos de una carrera máxima de 10km. sobre la recuperación de las capacidades de fuerza y potencia muscular luego de la carrera. La eficacia de este estudio fue principalmente dependiente de que los sujetos realizaran un esfuerzo máximo durante la carrera de 10km. simulada. Las evaluaciones fueron conducidas antes de la carrera experimental, inmediatamente después, y 48 horas después de la misma. El orden de evaluación fue idéntico cada vez y fue iniciado dentro de los 10 minutos después de la carrera.

Los tiempos de carrera de 10km. para este estudio estuvieron en un rango de 32:22 a 37:09, lo cual, como un grupo, representó un esfuerzo del 98% de acuerdo a los records personales preestablecidos. La frecuencia cardiaca postcarrera estuvo entre 164 y 210 lat.min^{-1}, representando un promedio de 98% de la frecuencia cardiaca máxima obtenida a partir del test de la potencia aeróbica máxima. Los índices de esfuerzo percibido obtenidos inmediatamente después de que los sujetos terminaron la carrera estuvieron entre 15 y 19 en la escala de Borg. Estos datos indican que la carrera experimental de 10km. fue corrida a una intensidad y a un ritmo que puede ser representativo de un esfuerzo máximo en una carrera de 10km., así haciendo que los hallazgos de este estudios sean aplicables al proceso de recuperación después de carreras de 10km. de esfuerzo máximo. Como grupo, los sujetos promediaron 34:16±1:47 para sus mejores marcas personales y corrieron los 10km. para este estudio en 35:12±1:28. La Tabla 2 muestra los resultados de rendimiento de la carrera.

Torque Pico Isoquinético

Los valores de torque pico de los extensores y flexores de rodilla antes, inmediatamente después y 48 horas después de la carrera son presentados en las Tablas 3, 4 y 5. El torque pico fue medido a 30º, 180º y 300º.s^{1}. A 30º.s^{1} fue observada una disminución significativa en el torque pico para la flexión de rodilla inmediatamente después de la carrera. El tiempo hasta el torque pico, el ángulo de torque y el trabajo total para 1 repetición no mostraron cambios significativos desde las evaluaciones precarrera hasta las postcarrera.

Capacidad de Ejercicio Isoquinético

La capacidad total de ejercicio para los músculos flexores y extensores de la rodilla fue evaluada usando un test de 50 repeticiones. Los resultados pueden ser observados en la Tabla 6. La capacidad de ejercicio total y la potencia media de los flexores de la rodilla demostró disminuciones significativas inmediatamente después de la carrera. Estos valores retornaron a los niveles iniciales en el punto de tiempo de 48 horas postcarrera. Además, el trabajo total de flexión hecho durante el último tercio de la evaluación de resistencia disminuyó significativamente, mientras que el trabajo de flexión total para los primeros 2 tercios de la evaluación de resistencia no mostró cambios. Hubo una disminución evidente, pero no significativa en la capacidad de ejercicio total de los extensores de rodilla desde la condición precarrera hasta ambas evaluaciones postcarrera. La potencia promedio de resistencia para tanto la flexión como la extensión de rodilla mostró una disminución significativa para la evaluación realizada inmediatamente postcarrera, mientras que la evaluación realizada 48 horas postcarrera no mostró cambios desde el valor de reposo.

Análisis de la Potencia del Salto Vertical

Los saltos verticales con contramovimiento fueron evaluados por medio de una plataforma de fuerza. Los valores más altos obtenidos a partir de 3 intentos máximos fueron usados para los análisis. Los resultados pueden ser observados en la Tabla 7. Hubo una disminución significativa en la fuerza pico de salto desde las evaluaciones precarrera hasta las evaluaciones realizadas inmediatamente postcarrera y 48 horas postcarrera. La tasa de desarrollo de la fuerza como fue medida por el tiempo hasta la fuerza pico de salto a partir de los análisis de salto de la plataforma de fuerza demostraron una disminución significativa inmediatamente postcarrera. No fueron encontrados cambios significativos en la potencia pico de salto en ningún tiempo postcarrera.

	Torque Pico (Nm)		Tiempo hasta el Torque Pico (ms)		Trabajo Total (1 repetición)	
	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión
T1	246.2±30.1	140.8±22.5	768±304.4	533±107.4	149.4±30.8	232.3±46.4
T2	237.4±34.1	131.9±18.9 *	869±271.6	507±198.6	138.3±19.5	216.4±33.8
T3	243.6±41.3	135.0±15.7	809±294.9	474±171.6	144.3±26.9	230.2±41.3

Tabla 3. *Resultados de las evaluaciones isoquinéticas para la flexión y extensión de rodillas a 30º.s¹. n=10, *p≤0.05 con respecto a los valores precarrera correspondientes. T1= valor inicial; T2= inmediatamente postcarrera; T3= 48 horas postcarrera.*

	Torque Pico (Nm)		Tiempo hasta el Torque Pico (ms)		Trabajo Total (1 repetición)	
	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión
T1	148.0±20.9	96.8±17.5	212±46.6	207±95	124.3±19.6	89.3±17.5
T2	147.1±22.2	99.1±13	228±57.7	224±108.6	119.1±18.6	84.0±10.9
T3	145.9±19.2	100.3±12.9	241±45.6	221±159.5	122.7±19.4	85.4±12.2

Tabla 4. *Resultados de las evaluaciones isoquinéticas para la flexión y extensión de rodillas a 180º.s¹. n=10. T1= valor inicial; T2= inmediatamente postcarrera; T3= 48 horas postcarrera.*

	Torque Pico (Nm)		Tiempo hasta el Torque Pico (ms)		Trabajo Total (1 repetición)	
	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión
T1	86.4±12.8	64.7±10.7	148±30.1	207±121.4	127.4±18.5	88±23.4
T2	86.3±13.62	65.2±9.3	148±23.0	183±102.1	126.8±19.2	89±18.2
T3	84.5±12.8	65.6±11.3	140±20.5	203±125.4	127.9±20.6	84.9±25.5

Tabla 5. *Resultados de las evaluaciones isoquinéticas para la flexión y extensión de rodillas a 300 º.s¹. n=10. T1= valor inicial; T2= inmediatamente postcarrera; T3= 48 horas postcarrera.*

	Trabajo Total (J)		Potencia Media (W)		Trabajo (J), primeras 17 repeticiones		Trabajo (J), últimas 17 repeticiones	
	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión
T1	3071.1 ±393.9	2225.0 ±324.8	137.0 ±21.2	97.2 ±12.7	1303.9 ±185.4	899.1 ±307.3	794.3 ±102.9	548.2 ±79.2
T2	2892.8 ±469	2052.6 ±251.8 *	130.9 ±21.0 *	91.6 ±8.1 *	1252.7 ±222.2	916.1 ±113.0	715.8 ±121.2 *	489.0 ±82.6 *
T3	3000.4 ±434.4	2119.6 ±295.3	139.9 ±21.5	97.4 ±13.2	1269.5 ±210.9	936.1 ±108.8	765.3 ±91.3	507.8 ±101.3 **

Tabla 6. *Evaluación de 50 repeticiones de ejercicio isoquinético. n=10. T1=valor inicial; T2=inmediatamente carrera; T3= 48 horas postcarrera. * p≤0.05 con respecto al correspondiente valor precarrera; ** p≤0.05 con respecto al valor inmediatamente postcarrera.*

	Fuerza Pico (N)	Potencia Pico (W)	Tiempo hasta la Fuerza Pico (ms)
T1	1758.3±360.5	3149.8±505.1	0.604±0.2
T2	1699.4±348.1 *	3195.0±374.6	0.719±0.2 *
T3	1718.9±381.6 **	3130.8±477.8	0.623±0.2

Tabla 7. *Análisis del salto vertical. n=10. T1=valor inicial; T2=inmediatamente después de la carrera; T3=48 horas después de la carrera. * p≤0.05 con respecto al valor precarrera correspondiente; ** p≤0.05 con respecto al valor inmediatamente postcarrera.*

DISCUSIÓN

Este fue el primer estudio que examinó el impacto de una carrera de 10km. sobre la recuperación del rendimiento en la fuerza y potencia muscular. Los principales hallazgos de esta investigación demostraron que después de una carrera de 10km. solo la producción de fuerza muscular en el grupo muscular isquiotibial fue principalmente afectada. Excepto la producción de torque pico en la flexión de la pierna a 30º.s^{-1} y el trabajo total para las últimas 17 repeticiones del test de fatiga, casi todas las otras mediciones de fuerza y potencia retornaron a sus valores iniciales dentro de las 48 horas después de la carrera. Estudios previos han examinado carreras de larga distancia y han reportado una perdida aguda de la función muscular después del ejercicio de resistencia de alta intensidad; sin embargo, la examinación de la función muscular ha estado limitada solo a mediciones de ejercicios isoquinéticos de corta duración (28, 29, 31). Jacobs et al. (28) reportaron que cuando las fibras musculares de contracción lenta y de contracción rápida eran depletadas de glucógeno después de la realización de una combinación de carrera prolongada, esprints, y contracciones isoquinéticas máximas, el torque pico a una velocidad de contracción relativamente alta (3.2 rad/s) fue significativamente afectado. Los datos de la presente investigación indican que la falta de cambio en nuestras mediciones de torque pico isoquinético reflejan la posibilidad que el glucógeno muscular no fue significativamente depletado después de la carrera de 10km.

Los corredores en este estudio mostraron una disminución significativa en el torque isoquinético máximo para la flexión de rodilla a 30º.s^{-1} inmediatamente después de la carrera. El grupo muscular isquiotibial fue significativamente afectado por la carrera de 10km. cuando fue evaluado a 30º.s^{-1}. Debido a que la velocidad lenta de esta evaluación isoquinética que permitió la contribución de las fibras musculares tipo I en reclutamiento, nuestro resultados pueden indicar una función deteriorada predominantemente de las unidades motoras de contracción lenta (alta fuerza) en los isquiotibiales como consecuencia de la carrera (22, 29).

De manera inversa, la evaluación de extensión de rodilla a 30º.s^{-1} no demostró un detrimento significativo luego de la carrera de 10km. Sherman et al. (31) encontraron una disminución significativa en el torque pico máximo a 63º.s^{-1} inmediatamente luego de una maratón y notaron que este valor se mantenía disminuido aún 48 luego de la carrera. Nuestro datos observados desde el contexto de Sherman et al. (31) pueden indicar que el efecto sobre el cuadriceps es debido a la duración de una maratón en comparación con la duración de una carrera de 10km. Además, la maratón puede haber contribuido a una fatiga neuromuscular general, debido a la duración de carrera mucho más larga, la cual nuevamente puede haber depletado mayores cantidades de glucógeno muscular.

No hubo ningún cambio significativo en la extensión y flexión de rodilla a la velocidad de 180º.s^{-1}, ya sea inmediatamente después de la carrera de 10km. o a las 48 horas de la misma. De manera similar, Kraemer et al. (29) encontraron que una carrera en cinta ergométrica de 20km. a ritmo de competición no tuvo un efecto significativo en la extensión de rodilla a 180º.s^{-1}. Sin embargo, esto es contrario a los resultados de Sherman et al. (31), nuevamente después de una carrera de maratón observaron reducciones dramáticas en el torque pico. Uno podría especular que la falta de cambios a distancias de 10 y 20km. es debido a la cantidad limitada de depleción de glucógeno en las fibras musculares de las unidades motoras de alto umbral reclutadas para las evaluaciones de laboratorio (23). Así uno podría especular que una distancia de una carrera de 10km. no necesariamente resulta en alguna reducción en la producción de fuerza como fue observado con mayores distancias de carrera.

De manera similar, el torque pico máximo a 300º.s^{-1} tampoco demostró cambios significativos después de la carrera de 10km. tanto para las evaluaciones de extensión como de flexión de rodilla. Estos resultados nuevamente difieren de los datos de Sherman et al. (31) luego de una carrera de maratón y puede ser hipotetizado de nuevo que estén relacionados a la falta de fatiga residual experimentada por las fibras a niveles de activación de mayor umbral. De manera alternativa, aunque menos probable, uno podría hipotetizar que se utilizaron un número reducido de unidades motoras tipo II en la ejecución de la carrera (24, 29). Debido al hecho de que nosotros habíamos hipotetizado que un ritmo de carrera más

rápido requeriría el reclutamiento de unidades motoras de alto umbral para producir velocidades de carrera más altas, parece que la duración de las demandas no fue lo suficientemente alta para producir una depleción significativa de las fuentes de energía. Esta capacidad de producción de fuerza teóricamente comprometida solo fue observada en las etapas finales del test de 50 repeticiones de los músculos isquiotibiales.

Usando un test de 50 repeticiones, los flexores y extensores de la rodilla fueron evaluados para la capacidad total de ejercicio. Inmediatamente después de la carrera, la capacidad total de ejercicio y la potencia media de los flexores de la rodilla presentaron reducciones significativas. Esto valores retornaron, sin embargo, a los valores iniciales en el test realizado a las 48 horas después de la carrera. El trabajo total realizado en la flexión de rodilla durante el último tercio del test de resistencia estuvo significativamente reducido y permaneció debajo de los valores iniciales tanto inmediatamente después de la carrera como 48 horas después de la misma. El valor de la potencia promedio de resistencia para la extensión y flexión presentó una declinación significativa inmediatamente después de la carrera de 10km. Este valor retorno al valor inicial en la carrera realizada como retest a las 48 horas. Estos datos coinciden con los de Kraemer et al. (29) tomados después de una carrera de 20km. a ritmo de competición. Ellos observaron una declinación significativa en el trabajo total realizado con cambios significativos después de 30 a 40 segundos para flexiones/extensiones de rodilla de la pierna derecha e izquierda, respectivamente. Esto es bastante similar a nuestro hallazgo de una función disminuida durante el último tercio de la tarea de resistencia. Ya que es posible que algunas fibras musculares tipo I tuvieran una reducción significativa en las reservas de energía, las reducciones en la última parte del test de 50 repeticiones pueden haber sido sensibles a este tipo específico de fatiga. En contraste, Sherman et al. (31) encontraron un marcado déficit en la capacidad de ejercicio para los extensores de rodilla hasta 7 días luego de una maratón. Tales hallazgos a partir de una distancia muy larga indican que las demandas de una maratón son bastante diferentes en el estrés fisiológico agudo y en los procesos de recuperación cuando son comparados con una carrera de 10km. Así cualquier indicador de fatiga debe ser específico para la distancia de carrera (3, 14, 16, 18-20).

Para el análisis de la plataforma de fuerza del salto con contramovimiento de máximo esfuerzo demostraron que la carrera de 10km. tuvo un efecto significativo en la capacidad del cuerpo de producir fuerza en un movimiento de cadena cerrada. Fue observada una disminución significativa en la fuerza pico del salto desde el test precarrera hasta los tests inmediatamente postcarrera y 48 horas postcarrera. Esto puede indicar un cambio comprometido entre las acciones musculares concéntricas y excéntricas en la mecánica de los saltos con contramovimiento. La tasa de desarrollo de la fuerza (medida por el tiempo hasta la fuerza pico de salto) también demostró una disminución significativa inmediatamente postcarrera. No fueron encontrados cambios significativos en la potencia pico de salto en ningún tiempo luego de la carrera. Estos datos son consistentes con los datos isoquinéticos, los cuales también indican que las unidades motoras de alto umbral requeridas para este tipo de producción de alta potencia no fueron afectadas por la carrera de 10km. También puede ser extrapolado que la musculatura de la pantorrilla no fue dramáticamente afectada por la carrera (i.e., se esperaría que las mediciones de potencia de cadena cinemática cerrada hubieran estado reducidas si la musculatura de la pantorilla hubiera reducido las capacidades de producción de fuerza).

En conclusión, el hallazgo de una disminución significativa en el torque pico a $30º.s^{-1}$ para el movimiento de flexión de rodilla después de 48 horas de recuperación representa una disminución de la función muscular. La falta de cambios significativos a las velocidades de movimiento de 180º y $300º.s^{-1}$ muestra que no hubo disminuciones serias para las unidades motoras de contracción rápida. Los resultados también indican una disminución significativa en el trabajo total realizado durante el último tercio (17 repeticiones) del test de resistencia en los movimientos de flexión y extensión. Estos datos demuestran una capacidad disminuida de los cuadriceps y los isquiotibiales para realizar ejercicio prolongado (50 repeticiones) después de una carrera de 10km. La fatiga en las fibras musculares de contracción lenta, las cuales serían fuertemente reclutadas durante un evento de resistencia tal como una carrera de 10km., es la razón más probable para una reducción en la función muscular.

Aplicaciones Prácticas

Ningún estudio anterior había evaluado la producción de potencia de todo el cuerpo en un ejercicio de cadena cinemática cerrada luego de una carrera de larga distancia. Además, la importancia de tales datos para el verdadero rendimiento de carrera subsiguiente permanece poco claro y requiere futuros estudios directos. Sin embargo, la pérdida de cualquier capacidad física desde las condiciones de reposo iniciales indica un nivel fisiológico reducido. Esto puede indicar una reducción en el reclutamiento máximo de las unidades motoras para el rendimiento de potencia relacionado a las demandas en cada apoyo de la pierna en el suelo o a la capacidad de correr cuesta arriba para algunas carreras. Con la práctica común de eliminatorias en varias competiciones (e.g., campeonatos), los resultados de este estudio demuestran que cuando los competidores que tratan de llegar a las finales participan en series de eliminación casi máximas, puede estar presente una disminución potencial en el grupo muscular isquiotibial. Así podría ser especulado que cierto tipo de ventaja puede ser proporcionada a los corredores de mayor calibre, los cuales pueden correr una carrera a un ritmo significativamente más lento durante las eliminatorias preliminares antes de las finales (las cuales son corridas 48 horas más tarde). Los futuros estudios necesitan evaluar directamente los verdaderos efectos de la fatiga de las carreras

específicas para la distancia en los rendimientos de carrera subsiguientes. Sin embargo, estos datos a partir de esta investigación apoyan la regla que manda al menos 48 horas de descanso antes de las finales para carreras de 10km. y en su mayor parte son consistentes con tal regla.

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a todos los atletas que participaron en este proyecto. Además nos gustaría agradecer a todo el personal del laboratorio que ayudó con el proyecto y la logística de las evaluaciones de los atletas.

Dirección para envío de correspondencia

William J. Kraemer, PhD, correo electrónico: kraemer@uconnvm.uconn.edu.

REFERENCIAS

1. Abernethy, P.J., R. Thayer, and A.W. Taylor (1990). Acute and chronic responses of skeletal muscle to endurance and sprint exercise. *Sports Med. 10:(6) 365□389*
2. Adlercreutz, H., M. Harkonen, K. Kuopasalmi, H. Naveri, H. Huhtaniemi, H. Tikkanaen, K. Remes, A. Dessypris, and J. Karvonen (1986). Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *Int. J. Sports Med. 7:27□28*
3. Asmussen, E (1979). Muscle fatigue. *Med. Sci. Sports Exerc. 11:(3) 313□321*
4. Biodex System 2 (1992). Operations Manual. *Shirley, NY: Biodex*
5. Borg, G (1962). Physical Performance and Perceived Exertion. *Sweden: Gleerup*
6. Borg, G (1973). Perceived exertion: A note on history on methods. *Med. Sci. Sports. 5:90□93*
7. Burke, R.E., and V.R. Edgerton (1975). Motor unit properties and selective involvement in movement. *In: Exercise and Sport Science Reviews. J.H. Wilmore, ed. New York: Academic Press*
8. Cooke, R., and E. Pate (1990). The inhibition of muscle contraction by the products of ATP hydrolysis. *In: Biochemistry of Exercise VII*
9. Costill, D.L (1967). The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness*
10. Costill, D.L (1970). Metabolic responses during distance running. *J. Appl. Physiol. 28:(3) 251□255*
11. Costill, D.L (1986). Inside Running: Basics of Sports Physiology. *Indianapolis: Benchmark Press*
12. Costill, D.L., and E.L. Fox (1969). Energetics of marathon running. *Med. Sci. Sports. 7:81□86*
13. Costill, D.L., P.D. Gollnick, E.D. Jansson, B. Saltin, and E.M. Stein (1973). Glycogen depletion pattern in human muscle fibers during distance running. . *Acta Physiol. Scand. 89:375□383*
14. Crockett, J.L., V.R. Edgerton, S.R. Max, and R.J. Barnard (1976). The neuromuscular junction in response to endurance training. *Exp. Neurol. 51:201□215*
15. Daniels, J., R. Fitts, and G. Sheenan (1978). Conditioning for Distance Runners. *New York: John Wiley and Sons*
16. Doherty, K (1985). Track and Field Omnibook. *Swarthmore, PA: Tafmop Publishers*
17. Dudley, G.A., R.T. Harris, M.R. Duvoisin, B.M. Hather (1990). Effect of voluntary vs. artificial activation on the relationship of muscle torque to speed. *J. Appl. Physiol. 69:2215□2221*
18. Fitts, R.H., and J.O. Holloszy (1977). Contractile properties of rat soleus muscle: Effects of training and fatigue. *Am. J. Physiol. 233:C86□C91*
19. Ganong, W.F (1993). Review of Medical Physiology, 16th ed. *Norwalk, CT: Appleton and Lange*
20. Gollnick, P.B., R.B. Armstrong, B. Saltin, C.W. Saubert, W.L. Sembrowich, and R.E. Shepard (1973). Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol. 35:(1) 107□111*
21. Henneman, E (1957). Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge. *Science. 126:1355□1357*
22. Henneman, E., and C.B. Olson (1965). Relations between structure and function in the design of skeletal muscles. *J. Neurophysiol. 28:581□598*
23. Holloszy, J.O., and E.F. Coyle (1985). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol. 56:(5) 831□838*
24. Hoppeler, H., P. Luthi, H. Claassen, E.R. Weibel, and H. Howald (1973). The ultrastructure of the normal human skeletal muscle: A morphometric analysis on untrained men, women, and well-trained orienteers. *Plugers Archiv. Fur die gesamte Physiolog. 355:217□232*
25. Houmard, J.A., D.L. Costill, J.B. Mitchell, S.H. Park, and T.C. Chenier (1991). The role of anaerobic ability in middle distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol. 62:50□53*
26. Houmard, J.A., B.K. Scott, C.L. Justice, and T.C. Chenier (1995). The effects of taper on performance in distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc. 26:(5) 625□631*
27. Jackson, A.S., and M.L. Pollock (1985). Practical assessment of body composition. *Phys. Sportsmed. 13:(5) 76□85*
28. Jacobs, I., P. Kaiser, and P. Tesch (1981). Muscle strength and fatigue after selective glycogen and physical performance. *Eur. J. Appl. Physiol. 56:57□53*

29. Kraemer, W.J., S.J. Fleck, and B.J. Noble (1991). Muscle strength and endurance following long distance treadmill running. *J. Hum. Muscle Perform. 1:(3) 32–39*
30. Kraemer, W.J., J.F. Patton, S.E. Gordon, E.A. Harman, M.R. Deschenes, K. Reynolds, R.U. Newton, N.T. Triplett, and J.E. Dziados (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol. 78:(3) 976–989*
31. Sherman, W.M., L.E. Armstrong, T.M. Murray, F.C. Hagerman, D.L. Costill, R.C. Staron, and J.L. Ivy (1985). Effect of a 52.2-km. footrace and subsequent rest or exercise on muscular strength and exercise capacity. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol. 57: (6) 1668–1673*
32. Thorstensson, A., and J. Karlsson (1976). Fatigability and fibre composition of human skeletal muscle. Acta. Physiol. *Scand. 98:318–322*

Cita Original

Gómez Ana L., Jeff S. Volek, Martín R. Rubin, Duncan N. French, Nicholas A. Ratamess, William J. Kraemer, Robert J. Radwich, Craig R. Denegar, Jill A. Bush, Brandon K. Doan, Robbin B. Wichham, Scott A. Mazzetti, Robert U. Newton, Keijo Häkkinen. The Effects of a 10-Kilometer Run on Muscle Strength and Power. J Strength Cond Res; Vol. 16, No. 2, pp. 184–191, 2002.