PubliCE, (PubliCE) 2001

Monograph

Características Musculares del Desentrenamiento en los Humanos

Iñigo Mujika, PhD y Sabino Padilla

Departamento de Investigación y Desarrollo, Servicios Médicos, Athletic Club de Bilbao, País Vasco, España.

RESUMEN

El músculo esquelético se caracteriza por su capacidad de adaptarse dinámicamente a los diferentes niveles de demandas funcionales. Durante períodos de estímulo de entrenamiento insuficientes, se produce el desentrenamiento muscular. Este se caracteriza por una disminución en la densidad capilar que puede producirse a las 2-3 semanas de inactividad. La diferencia arterio-venosa de oxígeno disminuye si la interrupción del entrenamiento continúa por mas de 3-8 semanas. La disminución rápida y progresiva de la actividad de las enzimas oxidativas provoca una menor producción de ATP mitocondrial. Los cambios anteriores se relacionan con la reducción en VO_{2max} que se observa durante la interrupción del entrenamiento a largo plazo. Estas características musculares se mantienen por encima de los valores de condiciones sedentarias en los atletas desentrenados, pero normalmente regresan a los valores iniciales en los individuos recientemente entrenados. Las actividades de las enzimas de glucolíticas muestran cambios no sistemáticos durante los períodos de interrupción del entrenamiento. La distribución de las fibras permanece sin cambios durante las semanas iniciales de inactividad, pero las fibras oxidativas pueden disminuir en atletas de resistencia y pueden aumentar en los atletas entrenados en fuerza dentro de 8 semanas de haber suspendido el entrenamiento. El área trasversal de las fibras musculares disminuye rápidamente en los atletas de fuerza y esprint, y en los sujetos con entrenamiento de resistencia reciente, pero aumenta ligeramente en los atletas de resistencia. La producción de fuerza disminuye lentamente y en relación con una menor actividad EMG. El rendimiento de fuerza generalmente se mantiene cómodamente hasta por 4 semanas de inactividad, pero en los atletas altamente entrenados, la fuerza excéntrica, la potencia específica del deporte y la fuerza isocinética recientemente adquirida, pueden disminuir significativamente.

Palabras Clave: interrupción del entrenamiento, músculo, actividad enzimática, fuerza, fibras

INTRODUCCION

Una de las características más importantes del músculo esquelético es su naturaleza dinámica. El tejido del músculo esquelético tiene una plasticidad extraordinaria y por lo tanto puede adaptarse a los diferentes tipos de demandas funcionales, actividad neuromuscular y señales hormonales cambiando reversiblemente sus características funcionales y su composición estructural (17, 25, 34, 44). El entrenamiento físico es un proceso que consiste en una serie de tensiones fisiológicas que provocan o mantienen las adaptaciones específicas para reforzar la capacidad de un sujeto de tolerar los factores estresantes que surgen del entrenamiento (8, 16, 30, 52). Por consiguiente, las adaptaciones del músculo esquelético inducidas por el entrenamiento, permiten que el músculo entrenado aumente su tolerancia al ejercicio (30). Por otro lado, inherente al concepto de adaptación al entrenamiento, es el principio de reversibilidad del entrenamiento o desentrenamiento, según el cual, la detención o reducción marcada del entrenamiento provoca una reversión parcial o total de las adaptaciones inducidas por el entrenamiento, comprometiendo así el rendimiento deportivo (8, 23, 41). El tejido del músculo esquelético no es la excepción a la regla y también se reajusta al la disminución de los factores que causan estrés fisiológico durante los períodos de estímulo de entrenamiento reducido o durante la suspensión completa del

entrenamiento (6, 8, 9, 14, 22, 30, 48, 52, 54). El objetivo de esta revisión fue recopilar y sintetizar brevemente los datos existentes en la bibliografía sobre ciencias de ejercicio, sobre las características musculares del desentrenamiento en atletas altamente entrenados por un lado, y en individuos moderadamente o recientemente entrenados por otro lado.

CAPILARIZACION MUSCULAR

No se han establecido con claridad los efectos de la interrupción del entrenamiento sobre la densidad capilar en atletas, y se han informado resultados contradictorios en la literatura. De hecho, Houston et al. (31) informaron una reducción de 6,3% en la densidad capilar después de sólo 15 días sin entrenamiento en corredores de resistencia altamente entrenados. Además, en jugadores de fútbol semiprofesional, el número capilares alrededor de las fibras ST disminuyó significativamente de 6,0 a 5,8 después de 3 semanas de interrupción del entrenamiento (3). En contraste con estos resultados, Coyle et al. (11) informaron que en siete sujetos entrenados en resistencia, la capilarización muscular observada en el estado de entrenamiento no cambió después de 84 días sin entrenar, y que la capilarización en esta población fue aproximadamente 50% superior que en los controles sedentarios. Los autores argumentaron que la retención de la mayor densidad capilar contribuyó con el mantenimiento parcial observado de la capacidad de alcanzar un elevado porcentaje VO_{2max}, sin provocar grandes aumentos en la concentración de lactato sanguíneo.

El único informe disponible sobre los efectos de la interrupción del entrenamiento en la capilarización muscular de individuos recientemente entrenados indicaron que los capilares por mm^2 y capilares por fibra representaban respectivamente 108,7 y 106,3% , de los valores iniciales previos al entrenamiento después de 4 semanas de interrumpir el entrenamiento, pero éstos eran significativamente menores que los valores de 121,7 y 120,3% registrados inmediatamente después de las 8 semanas de programa de entrenamiento. Además, después del entrenamiento la cantidad de capilares alrededor de las fibras ST, FTa y FTb fue 123,4, 120,8, y 129,7% con respecto al valor pre-entrenamiento, pero disminuyeron a 108,6, 108,6, y 115,0 % en 4 semanas y a 103,7**,** 108,6, y 112,2% en 8 semanas luego de la interrupción del entrenamiento. En vista de estos resultados, los autores argumentaron que había un efecto favorable a largo plazo en la distancia media de difusión entre los capilares y las fibras musculares, debido a una disminución en el área de las fibras durante la interrupción del entrenamiento (35).

DIFERENCIA ARTERIO-VENOSA DE OXIGENO

Según nuestros conocimientos, sólo un estudio ha informado datos sobre la diferencia arterio-venosa de oxígeno durante la interrupción del entrenamiento en individuos altamente entrenados (11). Según este estudio, la inactividad a corto plazo (21 días) no provocó ningún cambio sobre la máxima diferencia arterio-venosa de oxígeno de siete atletas entrenados en resistencia (15,1, 15,1, y 15,4 mL.100 mL^{-1} a los 0, 12 y 21 días de interrupción del entrenamiento, respectivamente). Por otro lado, después de 56 y 84 días sin entrenar, los valores disminuyeron a 14,5 (4% reducción) y 14,1 mL.100 mL^{-1} (7% reducción), respectivamente. Estas observaciones llevaron a los autores a sugerir que la pérdida de V02max inicial observada en atletas que no realizan entrenamiento, se debe a un menor volumen sistólico, mientras que la menor diferencia arterio-venosa de oxígeno sería la responsable de la reducción en VO_{2max} observada entre la 3ra y 12va semana de interrupción del entrenamiento en atletas de resistencia (11).

CONCENTRACION DE MIOGLOBINA

En un estudio de 12 semanas de interrupción de entrenamiento, Coyle et al. (11) informaron que la concentración de mioglobina en el músculo gastrocnemio de siete corredores y ciclistas entrenados en resistencia (43,3 mg.g $proteína^{-1}$) no cambio significativamente después de 3 semanas (41,0 mg.g $proteína^{-1}$) y 12 semanas (40,7 mg.g $proteína^{-1}$) de interrupción del entrenamiento. Además, estas concentraciones de mioglobina muscular no eran diferentes de las que presentaban los ocho sujetos sedentarios del grupo control (38,5 mg.g $proteína^{-1}$).

ACTIVIDADES ENZIMATICAS

Una de las características principales del desentrenamiento muscular es una marcada disminución en la capacidad oxidativa del músculo esquelético, tal como se observa por la notable disminución en la actividad de las enzimas mitocondriales. Coyle et al. (10,11) observaron que la actividad de la citrato sintetasa de siete sujetos entrenados en resistencia disminuyó de 10,0 a 7,7 mol.kg proteína^{-1}.h^{-1} durante las primeras 3 semanas de interrupción del entrenamiento, y luego continuó disminuyendo a 6,0 mol.kg proteína^{-1}.h^{-1} hasta el día 56 y a partir de allí se estabilizó. La succinato deshidrogenasa, b- hidroxiacil-CoA deshidrogenasa y malato deshidrogenasa disminuyeron casi en paralelo con la citrato sintetasa, es decir, aproximadamente 20% en 3 semanas y 40% en 56 días de interrupción del entrenamiento, también estabilizándose a partir de allí en ese nivel, que era 50% más alto que el de los sujetos sedentarios. Resultados bastante similares fueron informados por Chi et al. (4), con las enzimas citrato sintetasa, succinato deshidrogenasa,b-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa**,** malato deshidrogenasa y b-hidroxibutirato deshidrogenasa, que disminuyeron un promedio de 36 % después de 42-84 días de interrumpir el entrenamiento en atletas de resistencia. No obstante, como en el estudio anterior, los valores de las enzimas oxidativas en estado desentrenado, eran 40% superiores que en el control. Notablemente, estos autores también demostraron que los niveles de las enzimas mitocondriales disminuían hasta los niveles observados en estado de no entrenamiento observados en las fibras ST, pero seguían siendo 50-80% superiores en las fibras FT. Durante un programa de 7 semanas con entrenamiento/3 semanas sin entrenamiento, Moore et al. (40) observaron un 45% de disminución en la actividad de la citrato sintetasa en atletas previamente entrenados, aunque la actividad pre-entrenamiento de ésta enzima, no cambió en respuesta al entrenamiento. Del mismo modo, Houmard et al. (27,28) informaron un 25,3% de disminución en la actividad de la citrato sintetasa, en un grupo de 12 corredores de fondo que interrumpieron el entrenamiento durante 14 días. Resultados similares (27% de disminución en la citrato sintetasa y b-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa) han sido informados en jugadores de fútbol que no entrenaron durante 3 semanas (3), triatletas (28,6% disminución en la actividad de la citrato sintetasa) que no entrenaron durante 10 días (38) y jugadores de fútbol adolescentes (37,5% de disminución en la actividad de la citrato sintetasa) que no entrenaron durante 4-8 semanas (2). Madsen et al. (37) informaron una actividad de la b-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa 12% más baja, después de 4 semanas de entrenamiento insuficiente, en nueve atletas de resistencia y Houston et al. (31) determinaron una actividad de la succinato deshidrogenasa 24% más baja en seis corredores de fondo que no entrenaron durante 15 días. En un estudio con 6 jugadores de la liga de rugby se observó una disminución similar del 25% en la actividad de la succinato deshidrogenasa en la cabeza lateral del músculo gastrocnemio, 6 semanas después de la finalización de la temporada de competición (1). Por otra parte, la actividad de la lipoproteína lipasa del músculo esquelético de 16 corredores varones y mujeres, se redujo 45-75% durante 2 semanas de interrupción del entrenamiento, mientras que la actividad de esta enzima aumentó 86% a nivel del tejido adiposo. La proporción entre lipoproteína lipasa de tejido adiposo/lipoproteína lipasa de músculo aumentó de 0,51 a 4,45, lo que indica una tendencia hacia el almacenamiento de lípidos circulantes en el tejido adiposo (47). Se ha sugerido que todos los cambios mencionados anteriormente en las actividades de las enzimás mitocondriales son regulados principalmente por proporciones alteradas de síntesis de proteínas (30) y que las reducciones observadas están asociadas con reducciones concomitantes a largo plazo en eril VO_{2max} y de la diferencia arterio-venosa de oxígeno (1, 11).

También se ha informado que la interrupción del entrenamiento induce cambios pequeños y no sistemáticos en las actividades de enzimas glucolíticas de los sujetos altamente entrenados. En atletas de resistencia que no entrenaron durante 84 días, la hexoquinasa disminuyó significativamente en aproximadamente 17%, la fosforilasa no cambió, la fosfofructoquinasa aumentó no significativamente (aproximadamente 16%) y la lactato deshidrogenasa aumentó significativamente aproximadamente 20% (10). Chi et al. (4) también observaron una disminución similar de 17% en la hexoquinasa, mientras que la fosforilasa, fosfofructoquinasa y lactato deshidrogenasa aumentaron 3,6-21,1 % en 42-84 días sin entrenamiento. Por otro lado Houston et al. (31), informaron una actividad media de la lactato deshidrogenasa 13% menor después de 15 días de la interrupción del entrenamiento. Nadadores competitivos que no entrenaron durante 4 semanas presentaron disminuciones no significativas en las actividades de las enzimas fosforilasa y fosfofructoquinasa en el músculo deltoides posterior (7). La fosfofructoquinasa también disminuyó 16% en jugadores del rugby que no realizaron entrenamiento durante 6 semanas (1) y 54,5% en jugadores adolescentes de fútbol, 4-8 semanas después de la temporada de competición (2). También se ha observado que la actividad de la glucógeno sintetasa disminuiría hasta un 42% después de sólo 5 días sin entrenamiento en siete sujetos entrenados en resistencia (39).

Individuos previamente sedentarios que realizan protocolos de entrenamiento/desentrenamiento también respondieron a la interrupción del entrenamiento con una disminución en las actividades de enzimas mitocondriales que rápidamente revierten hacia los niveles previos al entrenamiento. Durante la fase inactiva de un régimen de 7 semanas de entrenamiento /3 semanas sin entrenamiento, Moore et al. (40) observaron una disminución del 25% en la actividad de la citrato sintetasa en los sujetos previamente sedentarios, pero el último valor fue no obstante 19% superior que antes del entrenamiento. Usando un protocolo similar de 6-semanas de entrenamiento/3-semanas sin entrenamiento, Wibom et al. (53) informaron un 4-17% de disminución en las actividades de las enzimas mitocondriales durante la interrupción del

entrenamiento, pero la citrato sintetasa, la glutamato deshidrogenasa, y citocromo-c oxidasa seguían 33, 30, y 50% por encima del nivel pre-entrenamiento, respectivamente. Klausen et al. (35) informaron una disminución progresiva en las actividades de la succinato deshidrogenasa y de citocromo oxidasa durante un período de interrupción del entrenamiento posterior a 8-semanas de un programa de entrenamiento. El aumento de 30-40% en estas enzimas obtenido a través del entrenamiento desapareció completamente luego de las 8 semanas de inactividad. Después de 15 semanas de entrenamiento intermitente mixto continuo y de alta intensidad, 7 semanas de interrupción del entrenamiento provocaron una caída de 21,2% en la actividad de la b- hidroxiacil-CoA deshidrogenasa y un 27,1% de disminución en las actividades de la oxoglutarato deshidrogenasa. Sólo laanterior permaneció por encima de los valores pre-entrenamiento (46). En varones adolescentes la actividad de la succinato deshidrogenasa del vasto lateral disminuyó hasta los valores pre-entrenamiento en 6 meses de interrupción del entrenamiento, después de 3 meses de entrenamiento de resistencia, y cayó por debajo de los valores pre-entrenamiento después de un régimen de entrenamiento/desentrenamiento de esprint de duración similar (15). Houston et al. (32) no observaron ningún cambio significativo en las actividades de las enzimas succinato deshidrogenasa y b- hidroxiacil-CoA deshidrogenasa, ni después de 10 semanas de entrenamiento de la fuerza dinámica ni después de 12 semanas consecutivas de interrupción del entrenamiento

Al igual que en el caso de atletas altamente entrenados, las enzimas glucolíticas de individuos recientemente entrenados presentan cambios bastante insignificantes durante los protocolos de entrenamiento/desentrenamiento. Wibom et al. (53) informaron un aumento significativo de 17% en la actividad de la fosfofructoquinasa del músculo vasto lateral después de 3 semanas de interrumpir el entrenamiento en sujetos recientemente entrenados. En contraste, las actividades de las enzimas fosforilasa, fosfofructoquinasa y lactato deshidrogenasa, aumentaron ligeramente durante 8 semanas de entrenamiento pero disminuyeron hasta alcanzar los valores iniciales en las 8 semanas subsecuentes de interrupción del entrenamiento (35). Además, Fournier et al. (15) reportaron una mayor actividad de fosfofructoquinasa después de 3 meses de entrenamiento de esprint, pero un retorno a los valores iniciales después de 6 meses de haber finalizado el entrenamiento. Por otra parte, Simoneau et al. (46), observaron que las actividades de las enzimas hexoquinasa, fosfofructoquinasa y lactato deshidrogenasa no habían cambiado después de 7 semanas de interrupción del entrenamiento en seis sujetos recientemente entrenados pero previamente sedentarios. Finalmente, Houston et al. (32) no observaron ningún cambio significativo en las actividades de las enzimas representativas del metabolismo de los forsfágenos (creatinquinasa) y glucolíticas (hexoquinasa, fosfofructoquinasa y lactato deshidrogenasa), ni después de 10 semanas de entrenamiento para la fuerza dinámica ni después de 12 semanas consecutivas de interrupción del entrenamiento.

PRODUCCION DE ATP MITOCONDRIAL

Si bien estos autores desconocen la existencia de algún estudio sobre las consecuencias de la interrupción del entrenamiento sobre la tasa de producción de ATP mitocondrial de atletas altamente entrenados, un estudio realizado con individuos recientemente entrenados que participaron en un protocolo de 6-semanas de entrenamiento de resistencia /3 semanas sin entrenamiento, demostró una disminución de 12-28% en la tasa de producción de ATP mitocondrial durante la última etapa, ocasionada por una disminución de 4-17% de la actividad de las enzimas mitocondriales individuales (53). Considerando que, como informamos en la sección anterior, la actividad de las enzimas mitocondriales de atletas altamente entrenados, son notablemente afectadas por la interrupción del entrenamiento, podría especularse que también se produciría una marcada reducción en la producción de ATP mitocondrial en atletas que atraviesan un período de interrupción del entrenamiento. Sin embargo es necesario destacar que la tasa de producción de ATP mitocondrial permaneció 37-70% sobre los niveles pre-entrenamiento en el estudio mencionado previamente (53).

CARACTERISTICAS DE LAS FIBRAS MUSCULARES

Los efectos de la interrupción del entrenamiento sobre la distribución de las fibras musculares dependerían de la duración del período de inactividad. De hecho, la interrupción del entrenamiento a corto plazo, no fue suficiente para inducir algún cambio en la distribución de las fibras en seis corredores de fondo altamente entrenados, que llevaban una escayola de yeso que les permitía caminar, durante 7 días, y luego no entrenaron durante otros 8 días (31). Lo mismo se observó en el caso de cuatro jugadores de fútbol que no entrenaron durante 3 semanas (3), y en 12 atletas entrenados en fuerza que no entrenaron durante 14 días (26). Por otro lado se ha demostrado que la interrupción del entrenamiento a largo plazo, induciría cambios significativos en la distribución de las fibras de atletas que participan en diferentes deportes. Coyle et al. (10) informaron un gran cambio progresivo de las fibras FTa a fibras FTb en corredores de fondo y ciclistas, aumentando las últimas de 5% en el estado entrenado a 19% después de 56 días de interrupción del entrenamiento. Larsson y Ansved

(36) informaron que la proporción de fibras ST en cuatro remeros de élite disminuyó 14-16% durante un período de 4 años después de su retiro de las competencias. En atletas de fuerza se ha observado una tendencia opuesta hacia una mayor población de fibras oxidativas. De hecho, un estudio de un caso, realizado en un levantador de potencia, indicó que la población de fibras musculares oxidativas era 1,4 veces mayor después de 7 meses sin entrenamiento (50), y Häkkinen y Alén (18) observaron una reducción en el % de fibras musculares FT (de 66% a 60%) en un fisiculturista de élite que experimentó una interrupción del entrenamiento de 13,5 meses. Sin embargo, también se ha observado la ausencia de alteraciones en la distribución de fibras musculares después de 4-8 semanas de interrupción del entrenamiento en jugadores de fútbol de 14-15 años de edad (2). Del mismo modo, en un grupo de bailarinas, no se observaron cambios en la distribución del tipo de fibra muscular luego de una interrupción del entrenamiento de larga duración (32-semanas), lo que sugiere que su elevado porcentaje de fibras ST podría haber sido el resultado de la selección natural y no de una adaptación inducida por el entrenamiento (12).

Se ha observado que el área transversal media de la fibra cambia durante la interrupción del entrenamiento de corta duración. Bangsbo y Mizuno (3), estudiando muestras del músculo gastrocnemio de jugadores fútbol de sexo masculino, que interrumpieron el entrenamiento durante 3 semanas, informaron una disminución de 7% en el área transversal media de las fibras. Sin embargo, este cambio, se debía principalmente a una disminución de 12,4% en el área de la fibra FTa, de 6022 a 5278 μm^2. Se han observado resultados similares en 12 halterófilos cuyas áreas transversales de las fibras FT disminuyeron 6,4% en 14 días. Notablemente, se observaron aumentos en las concentraciones plasmáticas de la hormona de crecimiento (58,3%), testosterona (19,2%) y en la relación testosterona/cortisol (67,6%), pero los niveles de cortisol y de la enzima creatinquinasa disminuyeron 21,5 y 82,3% respectivamente. Según los investigadores, la interrupción de corta duración del entrenamiento de los atletas de fuerza, afecta específicamente el tamaño de las fibras FT, y los cambios en el entorno hormonal que acompañan la inactividad fueron propicios para favorecer un proceso anabólico, pero la ausencia del estímulo de entrenamiento con sobrecarga, evitó la materialización de dichos cambios a nivel de los tejidos (26, 28). Por otro lado, 14 días de interrupción del entrenamiento no produjeron un cambio en el área transversal de las fibras musculares en un grupo de corredores de fondo (27), que incluso aumentó ligeramente (de 4,05 a 4,52 µm2.10-3 en las fibras ST, y de 4,20 a 5,22 µm2.10-3 en las fibras FTa) en un grupo similar de corredores (31).

Períodos más extensos de interrupción del entrenamiento también provocaron disminuciones en las áreas transversales de las fibras FT y ST, en la relación de área FT/ST y en la masa muscular en atletas. Se ha demostrado que el área transversal de las fibras FT de jugadores de rugby *league*, disminuye más marcadamente que la de las fibras ST, siendo las anteriores 23% más grandes al final de la temporada, pero solo 9% más grandes después de 6 semanas sin entrenamiento. Además, el autor sugirió una atrofia en la masa del músculo ya que la masa corporal disminuyó de 79,8 a 76,0 kg, pero el contenido de grasa corporal permaneció relativamente constante durante el período de inactividad (1). Después de 7 meses de interrupción del entrenamiento, se observó una atrofia promedio de 37,1% en todos los tipos de fibras de un levantador de potencia, junto con una gran pérdida de masa grasa corporal (50). Por otra parte, en un fisiculturista de élite, la masa magra, la circunferencia de muslos y brazos y el área media de las fibras disminuyeron 9,3, 0,5, 11,7, y 8,3%, respectivamente, después de 13,5 meses sin entrenamiento. Además, la relación área de las fibras FT/ST disminuyó de 1,32 a 1,04 (18). Häkkinen et al. (21) también informaron una reducción en la relación de área de las fibras FT/ST de 1,11 a 1,04, y una menor masa muscular después de 8 semanas de interrumpir el entrenamiento en atletas entrenados en fuerza, así como también una disminución en el área de las fibras FT y ST después de 12 semanas sin entrenamiento (20). Larsson y Ansved (36) observaron en remeros una disminución de 10% en el área relativa de las fibras ST después de interrupción a largo plazo de su actividad deportiva y Amigó et al. (2) observaron una reducción en el diámetro de las fibras musculares ST y FT en jugadores de fútbol adolescentes 4-8 semanas después de la temporada de competencia. Por otra parte, Dahlström et al. (12), observaron un gran aumento en el área de las fibras después de 32 semanas de interrupción del entrenamiento en bailarinas, lo que sugiere que las fibras más pequeñas, eran una adaptación inducida al entrenamiento de resistencia para disminuir la distancia de difusión del oxígeno.

En individuos recientemente entrenados, el porcentaje de distribución de los tipos de fibra no cambió durante 4 semanas de inactividad posteriores a 8 semanas de entrenamiento, pero en la octava semana de interrupción del entrenamiento, el porcentaje de fibras ST cambió significativamente de 44,2 a 38,1%, el de FTa de 36,8 a 39,6%, y el de fibras FTb pasó de 19,1 a 22,2%. Además, las áreas transversales de las fibras ST, FTa y FTb que después del entrenamiento se habían incrementado 105,2 104,5 y 104,9% con respecto a los valores pre-entrenamiento, regresaron a 99,0, 98,9, y 96,5% luego de 4 semanas de interrumpir el entrenamiento y disminuyeron aún mas a 93,3, 98,6, y 94,3% luego de 8 semanas sin entrenamiento (35). En un protocolo con 10 semanas de entrenamiento /12 semanas sin entrenamiento, el área transversal de las fibras FTb aumentó 18% durante el entrenamiento para la fuerza dinámica pero disminuyó 12% durante la inactividad(32).Notablemente, cuatro sujetos de sexo masculino jóvenes exhibieron el mismo patrón de incremento de $0,10\%.d^{-1}$ durante el entrenamiento y la misma disminución durante la interrupción del entrenamiento en el área transversal del músculo extensor de la rodilla (42). Finalmente, la masa magra corporal de mujeres jóvenes que entrenaron durante 7 semanas e interrumpieron el entrenamiento en las 7 semanas subsiguientes, aumentó 1,1 kg durante el período de actividad, pero regresó casi a los niveles previos al entrenamiento durante período de inactividad (49).

RENDIMIENTO DE FUERZA

Según los datos informados en la bibliografía de las ciencias del ejercicio, los atletas pueden mantener, o experimentar una limitada disminución de la fuerza muscular durante períodos cortos de interrupción del entrenamiento. En un estudio con 12 levantadores de pesas, la interrupción del entrenamiento durante catorce días no alteró significativamente los valores del rendimiento de 1RM en press de banca (-1,7%) y sentadilla (-0,9%), de la fuerza concéntrica isométrica (-7%) e isocinética (-2,3%) en extensiones de rodilla y los valores de salto vertical (1,2%). Por otro lado, la fuerza isocinética excéntrica de los extensores de la rodilla y la actividad EMG superficial del vasto lateral disminuyó 12% y 8,4-12,7%, respectivamente. Los autores concluyeron que en atletas de fuerza inactivos durante un período corto de tiempo, se vio afectada específicamente la fuerza excéntrica pero los otros aspectos del rendimiento neuromuscular no cambiaron (26). También se ha demostrado que nadadores universitarios mantuvieron la fuerza muscular determinada en un banco de nado durante 4 semanas de interrupción del entrenamiento, pero su potencia de nado, es decir, su capacidad de aplicar la fuerza durante la natación, disminuyó 13,6% (43). Períodos más largos de interrupción del entrenamiento son acompañados por disminuciones más pronunciadas en el rendimiento de fuerza de atletas entrenados en fuerza, pero esta pérdida se limita a 7-12% durante períodos de inactividad que van de 8 a 12 semanas. Häkkinen et al. (21) informaron disminuciones de11,6% y 12,0% en la fuerza en los ejercicios de sentadilla y de extensión de piernas, respectivamente, después de 8 semanas de interrupción del entrenamiento. Además, la fuerza isométrica máxima bilateral y unilateral disminuyó 7,4% y 7,6%, respectivamente. Esto se observó junto con una menor IEMG máxima media bilateral (5,6%) y unilateral (12,1%). El último cambio se produjo dentro de las primeras 4 semanas de inactividad (19). Resultados del mismo grupo han demostrado que tanto la atrofia muscular como la menor activación nerviosa, son responsables de la disminución en fuerza máxima que se produce durante 12 semanas de interrupción del entrenamiento, ya que se ha observado que el área de las fibras FT y ST, la masa muscular y la actividad eléctrica máxima integrada, disminuyen con la interrupción del entrenamiento (19-21).

Los aumentos de fuerza recientemente adquiridos parecen perderse en diferentes proporciones dependiendo del tipo de medición de rendimiento de fuerza. De hecho, Shaver (45) informó que no se perdieron de manera significativa los aumentos de fuerza isométrica recientemente adquiridos, luego de 1 semana de interrupción del entrenamiento después de 6 semanas de entrenamiento de fuerza de alta intensidad, ni en el brazo entrenado (0,8%) ni en el brazo del lado contrario (0,5%). Por otra parte, se observaron pérdidas significativas en ambos brazos después de 4 semanas (2,0% y 1,3%), 6 semanas (3,1% y 2,0%) y 8 semanas (3,2% y 2,1%) de inactividad. Sin embargo, es necesario destacar que la fuerza se mantuvo elevada por encima de los niveles pre-acondicionamiento. Un estudio donde se realizó entrenamiento de fuerza dinámica para una pierna, compuesto por 10 semanas de entrenamiento /12 semanas de desentrenamiento, demostró que los aumentos en el torque máximo de la pierna entrenada (39-60%) y de la pierna no entrenada (12-37%), podían mantenerse durante 4 semanas de interrupción del entrenamiento, y que la producción de torque máximo permanecía por encima de los niveles previos al entrenamiento después de 12 semanas de inactividad, a pesar de que se observaron disminuciones de 16-21% y 10-15%, en la pierna entrenada y en la no entrenada respectivamente. Estos cambios de fuerza se asociaron con cambios en el tamaño del músculo y cambios en factores nerviosos (32). Se ha observado que se producen cinéticas similares en el área transversal del músculo extensor de rodilla, en la contracción voluntaria máxima y en la EMG integrada, siendo $0{,}10\%.d^{-1}$, $0{,}32\%.d^{-1}$, y $0{,}7\%.d^{-1}$ la evolución del aumento para el entrenamiento y la evolución de la disminución durante la interrupción del entrenamiento respectivamente Nuevamente, estosresultados indican que las contribuciones hipertróficas y nerviosas para el desarrollo de la fuerza, parecen ejercer el mismo peso durante el entrenamiento y durante la interrupción del mismo (42). Se ha demostrado que los niveles de resistencia muscular isocinética recientemente adquiridos de los flexores del codo, disminuyen a una velocidad mucho mayor durante la interrupción del entrenamiento, alcanzando una pérdida de fuerza de7% en 1 semana, 24% en 3 semanas y 27% en 5 semanas (51). Un estudio con un programa de 8-semanas de entrenamiento de fuerza /8-semanas sin entrenamiento, realizado con niños de edades comprendidas entre 7 y 12 años, demostró que los aumentos en la fuerza inducidos por el entrenamiento eran transitorios y reversibles, dado que la pérdida de fuerza semanal durante la interrupción del entrenamiento era en promedio 3%, y los valores de los chicos previamente entrenados se asemejaban a los valores del grupo control que no realizó entrenamiento, después de 8 semanas de inactividad. Estas observaciones llevaron a los autores a sugerir que se necesitan programas de entrenamiento para mantenimiento que sean específicos para niños, para mantener los aumentos de fuerza inducidos por el entrenamiento (13).

Colliander y Tesch (5) informaron que la fuerza funcional (3 RM en media sentadilla) se mantuvo mejor durante 12 semanas de inactividad, después de 12 semanas de entrenamiento conjunto para la fuerza concéntrica y excéntrica (18%), que después del mismo período de entrenamiento concéntrico solo (12%). Esto se debía básicamente al hecho que el primer tipo de entrenamiento produjo mayores aumentos en la fuerza que el último. Los autores concluyeron que el rendimiento de acciones musculares excéntricas es esencial para promover adaptaciones nerviosas mayores y más duraderas al entrenamiento. De conformidad con esta conclusión, se ha observado que los aumentos de fuerza alcanzados a través de 8 semanas de entrenamiento de resistencia excéntrico solo, se mantienen un 100% en el miembro entrenado y 81% en el miembro del lado contrario durante un período de interrupción del entrenamiento de 8-semanas (29). Además,

un grupo de estudiantes universitarios mantuvieron sus cualidades físicas para la velocidad-fuerza durante un descanso de entrenamiento de 1,5 meses, pero las mismas disminuyeron 15,8% después de 3 meses de interrupción del entrenamiento. Notablemente, se demostró que el mantenimiento de estas características dependía del método de entrenamiento utilizado durante el período de entrenamiento anterior. De hecho, la velocidad-fuerza se mantenía mejor durante la interrupción del entrenamiento, si el método de entrenamiento previo se había centrado en desarrollar la fuerza explosiva (24). Finalmente, es importante destacar que en sujetos habituados al entrenamiento de la fuerza sin un objetivo competitivo, se observó una leve disminución en la fuerza de contracción isométrica y un gran (22,5%) aumento en la tasa máxima de desarrollo de torque después de 8 semanas de inactividad posteriores a 8 semanas de entrenamiento de la fuerza isotónica de los músculos de las pantorrillas, lo que indica que, durante la interrupción del entrenamiento, el músculo mismo se puede contraer más rápido que durante el entrenamiento, muy probablemente a causa de un efecto de recuperación de la fatiga (33).

CONCLUSIONES

El tejido del músculo esquelético tiene una plasticidad que le permite adaptarse a diferentes niveles de demandas funcionales. Durante periodos de marcada disminución de la actividad física o de interrupción del entrenamiento, se produce el desentrenamiento muscular. Esto a menudo se caracteriza por una menor densidad capilar en el músculo, que en los atletas podría presentarse dentro de las 2-3 semanas de interrupción del entrenamiento. La diferencia de oxígeno arterial-venoso, que no se altera en interrupciones del entrenamiento de corto plazo, disminuye si la inactividad continúa. Por otra parte, la concentración de mioglobina, se vería afectada por la interrupción del entrenamiento. La reducción rápida y progresiva de las actividades de las enzimas oxidativas produce una menor producción de ATP mitocondrial que, junto con la menor diferencia arterio-venosa de oxígeno están directamente relacionados con la reducción en VO_{2max} que se observa en individuos que interrumpen el entrenamiento a largo plazo. Aunque en los atletas desentrenados estas características musculares permanecen por encima de los valores observados en condiciones sedentarias, las adaptaciones musculares inducidas por el entrenamiento en individuos recientemente entrenados, a menudo regresan a los valores pre-entrenamiento. La actividad de las enzimas glucolíticas muestran cambios no sistemáticos durante los períodos de interrupción del entrenamiento. La distribución de las fibras musculares no cambia durante las primeras semanas de inactividad, pero puede haber una menor proporción de fibras ST y un gran cambio de fibras FTa a FTb en atletas de resistencia y una mayor población de fibras oxidativas en los atletas entrenados en fuerza dentro de las 8 semanas de interrupción del entrenamiento. Una disminución general en el área transversal de las fibras musculares se observa rápidamente en atletas de fuerza y de esprint inactivos, y en sujetos recientemente entrenados en resistencia, mientras que el área de las fibras puede aumentar ligeramente en atletas de resistencia. La producción de fuerza disminuye lentamente y junto con una menor actividad EMG. En general el rendimiento de fuerza se mantiene hasta por 4 semanas de inactividad, pero la fuerza excéntrica de atletas altamente entrenados y la potencia específica del deporte pueden sufrir disminuciones significativas. Los mismo se produce en la fuerza isocinética recientemente adquirida.

REFERENCIAS

1. ALLEN, G. D (1989). Physiological and metabolic changes with six weeks detraining. *Aust. J. Sci. Med. Sport. 21:4-9*
2. BANGSBO, J., and M. MIZUNO (1988). Morphological and metabolic alter-ations in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. *T. Reilly, et al. (Eds.). New York: E. & F.N. Spon, pp. 114124*
3. CHI, M. M.-Y., C. S. HINTZ, E. F. COYLE, et al (1983). Effects of detraining on enzymes of energy metabolism in individual human muscle fibers. *Am. J. Physiol. 244:C276C287*
4. COLLIANDER, E. B., and P. A. TESCH (1992). Effects of detraining follow-ing short term resistance training on eccentric and

concentric muscle strength. *Acta Physiol. Scand. 144:23 29*
5. COSTILL, D. L (1988). Detraining: loss of muscular strength and power. *Sports Med. Digest 10:4*
6. COSTILL, D. L., W. J. FINK, M. HARGREAVES, D. S. KING, R. THOMAS, and R. FIELDING (1985). Metabolic characteristics of skeletal muscle during detraining from competitive swimming. *Med. Sci. Sports Exerc. 17:339 343*
7. COYLE, E. F (1988). Detraining and retention of training-induced adapta-tions. In: Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription. *S. N. Blair, et al. (Eds.). Philadelphia: Lea & Febiger, pp. 83 89*
8. COYLE, E. F (1990). Detraining and retention of training-induced adapta-tions. *Sports Sci. Exchange 2:1 5*
9. COYLE, E. F., W. H. MARTIN III, S. A. BLOOMFIELD, O. H. LOWRY and J. O. HOLLOSZY (1985). Effects of detraining on responses to sub-maximal exercise. *J. Appl. Physiol. 59:853 859,*
10. COYLE, E. F., W. H. MARTIN III, D. R. SINACORE, M. J. JOYNER, J. M. HAGBERG, and J. O. HOLLOSZY (1984). Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *J. Appl. Physiol. 57:1857 1864*
11. FAIGENBAUM, A. D., W. L. WESTCOTT, L. J. MICHELI, et al (1996). The effects of strength training and detraining on children. *J. Strength Cond. Res. 10:109 114*
12. FLECK, S. J (1994). Detraining: its effects on endurance and strength. *Strength Cond. 16:22 28*
13. FOURNIER, M., J. RICCI, A. W. TAYLOR, R. J. FERGUSON, R. R. MONTPETIT, and B. R. CHAITMAN (1982). Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: sprint and endurance training and detraining. *Med. Sci. Sports Exerc. 14:453 456*
14. GOLLNICK, P. D., R. L. MOORE, M. RIEDY and J. J. QUINTINSKIE, JR (1984). Significance of skeletal muscle oxidative enzyme changes with endurance training and detraining. *Med. Sport Sci. 17:215 229*
15. GORDON, T., and M. C. PATTULLO (1993). Plasticity of muscle fiber and motor unit types. *Exerc. Sports Sci. Rev. 21:331 362*
16. HAKKINEN, K., and P. V. KOMI (1983). Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med. Sci. Sports Exerc. 15:455 460*
17. HAKKINEN, K., P. V. KOMI and P. A. TESCH (1981). Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand. J. Sports Sci. 3:50 58*
18. HAWLEY, J. A (1987). Physiological responses to detraining in endurance-trained subjects. *Aust. J. Sci. Med. Sport. 19:17 20*
19. HAWLEY, J., and L. BURKE (1998). Peak Performance: Training and Nutritional Strategies for Sport. *St. Leonards, NSW (Australia): Allen & Unwin, pp. 29 31*
20. HODIKIN, A. V (1982). Maintaining the training effect during work stop-page. *Teoriya i Praktika Fiziocheskoi Kultury. 3:45 48*
21. HOPPELER, H (1986). Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle. *Int. J. Sports Med. 7:187 204*
22. HOUSH, T. J., D. J. HOUSH, J. P. WEIR and L. L. WEIR (1996). Effects of eccentric-only resistance training and detraining. *Int. J. Sports Med. 17:145 148*
23. HOUSTON, M. E (1986). Adaptations in skeletal muscle to training and detraining: the role of protein synthesis and degradation. *In: Bio-chemistry of Exercise VI, B. Saltin (Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, 1986, pp. 63 74*
24. HOUSTON, M. E., H. BENTZEN, and H. LARSEN (1979). Interrelationships between skeletal muscle adaptations and performance as studied by detraining and retraining. *Acta Physiol. Scand. 105:163 170*
25. HOUSTON, M. E., E. A. FROESE, ST. P. VALERIOTE, H. J. GREEN and D. A. RANNEY (1983). Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: a one-leg model. *Eur. J. Appl. Physiol. 51:25 35*
26. ISHIDA, K., T. MORITANI, and K. ITOH (1990). Changes in voluntary and electrically induced contractions during strength training and de-training. *Eur. J. Appl. Physiol. 60:244 248*
27. KLAUSEN, K., L. B. ANDERSEN, and I. PELLE (1981). Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiol. Scand. 113:9 16*
28. LARSSON, L., and T. ANSVED (1985). Effects of long-term physical training and detraining on enzyme histochemical and functional skeletal muscle characteristics in man. *Muscle Nerve 8:714 722*
29. MADSEN, K., P. K. PEDERSEN, M. S. DJURHUUS, and N. A. KLIT-GAARD (1993). Effects of detraining on endurance capacity and metabolic changes during prolonged exhaustive exercise. *J. Appl. Physiol. 75:1444 1451*
30. MCCOY, M., J. PROIETTO, and M. HARGREAVES (1994). Effect of detraining on GLUT-4 protein in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol. 77:1532 1536*
31. MIKINES, K. J., B. SONNE, B. TRONIER, and H. GALBO (1989). Effects of acute exercise and detraining on insulin action in trained men. *J. Appl. Physiol. 66:704 711*
32. MOORE, R. L., E. M. THACKER, G. A. KELLEY, et al (1987). Effect of training/detraining on submaximal exercise responses in humans. *J. Appl. Physiol. 63:1719 1724*
33. MUJIKA, I., and S. PADILLA (2000). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I. Short-term insufficient training stimulus. *Sports Med. 30:79 87*
34. NARICI, M. V., G. S. ROI, L. LANDONI, A. E. MINETTI, and P. CERRETELLI (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur. J. Appl. Physiol. 59:310 319*
35. NEUFER, P. D., D. L. COSTILL, R. A. FIELDING, M. G. FLYNN and J. P. KIRWAN (1987). Effect of reduced training on muscular strength and endurance in competitive swimmers. *Med. Sci. Sports Exerc. 19: 486 490*
36. SALTIN, B., and P. D. GOLLNICK (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. *In: Handbook of Physiology: Skeletal Muscle, Bethesda, MD: American Physiol-ogy Society, pp. 555 631*
37. SHAVER, L. G (1975). Cross-transfer effects of conditioning and decon-ditioning on muscular strength. *Ergonomics 18:9 16*
38. SIMONEAU, J.-A., G. LORTIE, M. R. BOULAY, M. MARCOTTE, M.-C. THIBAULT, and C. BOUCHARD (1987). Effects of two high-intensity inter-mittent training programs interspaced by detraining on human skeletal muscle and performance. *Eur. J. Appl. Physiol. 56:516 521*
39. SIMSOLO, R. B., J. M. ONG and P. A. KERN (1993). The regulation of adipose tissue and muscle lipoprotein lipase in runners by detrain-ing. *J. Clin. Invest. 92:2124-2130*
40. SJ0GAARD, G (1984). Changes in skeletal muscles capillarity and enzyme activity with training and detraining. *Medi Sport Sci. 17:202-214*

41. SMITH, D. P., and F. W. STRANSKY (1976). The effect of training and de-training on the body composition and cardiovascular response of young women to exercise. *J. SportsMed. 16:112-120*
42. STARON, R. S., F. C. HAGERMAN, and R. S. HIKIDA (1981). The effects of detraining on an élite power lifter: a case study. *J. Neurol. Sci. 51:247-257*
43. SYSLER, B. L., and G. A. STULL (1970). Muscular endurance retention as a function of length of detraining. *Res. Q. 41:105109*
44. TIDOW, G (1995). Muscular adaptations induced by training and de-training. A review of biopsy studies. *New Studies in Athletics 10:4756*
45. WIBOM, R., E. HULTMAN, M. JOHANSSON, et al (1992). Adaptation of mito-chondrial ATP production in human skeletal muscle to endurance training and detraining. *J. Appl. Physiol. 73:2004 2010*
46. WILBER, R. L., and R. J. MOFFATT (1994). Physiological and biochemical consequences of detraining in aerobically trained individuals. *J. Strength Cond. Res. 8:110 124*

Cita Original

Mujika, I., and S. Padilla. Muscular characteristics of detraining in humans. Med. Sci. Sports Exerc., Vol. 33, No. 8, pp. 1297 1303, 2001