

Cambios fisiológicos debidos al desentrenamiento

MAURO RONCONI Y JOSÉ RAMÓN ALVERO-CRUZ

Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte. Departamento de Fisiología Humana y Educación Física y Deportiva. Facultad de Medicina. Universidad de Málaga. Málaga. España.

RESUMEN

En la literatura científica el desentrenamiento se define como una interrupción parcial o total del entrenamiento. Se diferencian dos tipos: el desentrenamiento de corta duración (DCD), inferior a 4 semanas, y el desentrenamiento de larga duración (DLD), superior a 4 semanas. El tipo de desentrenamiento y el nivel de rendimiento caracterizan los cambios cardiorrespiratorios, musculares y metabólicos. El $\text{VO}_{2\text{máx}}$ disminuye de un porcentaje del 4 al 14% durante un DCD y entre el 6 y el 20% durante un DLD en atletas bien entrenados; en individuos con pocas semanas de entrenamiento se observan reducciones del 3 al 6%. El DCD se caracteriza por la reducción del volumen de la sangre de hasta el 12% en atletas bien entrenados y del 4,7% en individuos poco entrenados; la menor cantidad de sangre provoca una pérdida de hasta un 12% de la sangre expulsada por el ventrículo izquierdo (gasto cardíaco) y un aumento de la frecuencia cardíaca que llega hasta un 10% más en el DCD y a un 5% más en el DLD, en esfuerzo máximo y submáximo. También las funciones respiratorias experimentan un deterioro, con disminución del volumen respiratorio de hasta el 10 al 12% en atletas muy entrenados, durante un DLD. Un período de DCD no influye sobre la fuerza muscular y la sección del músculo, mientras que períodos de DLD producen hasta una disminución del 12 al 14% de la fuerza muscular en atletas bien entrenados. La edad y el nivel de rendimiento también influyen sobre la disminución de la fuerza y la sección muscular durante un DLD. Las alteraciones de los valores del cociente respiratorio (CR) en períodos de DCD, como queda demostrado en varios estudios, traducen una más alta dependencia de los hidratos de carbono como fuente de energía utilizada en el metabolismo muscular. Las concentraciones de lactato en la sangre, en esfuerzo submáximo, aumentan con pocos días de desentrenamiento, y existe también una disminución del umbral láctico en atletas, durante un esfuerzo máximo y submáximo, en largos períodos de desentrenamiento.

PALABRAS CLAVE: Desentrenamiento. Desentrenamiento de corta duración. Desentrenamiento de larga duración.

ABSTRACT

According to the scientific literature, detraining is defined as a partial or total interruption of training due to several causes. Two types of detraining are defined: short-term detraining (STD) when the period of detraining lasts less than 4 weeks, and long-term detraining (LTD) marked by a period of more than 4 weeks. The kind of detraining and the level of performance determine the cardiorespiratory, muscle and metabolic changes. $\text{VO}_{2\text{max}}$ declines by a rate of 4%-14% in STD and by up to 6-20% in LTD in well-trained athletes; a reduction of 3%-6% is evident in individuals with a few weeks of training. STD is characterized by a reduction in blood volume of up to 12% in well-trained athletes and by a reduction of 4.7% in recently trained individuals; the lower blood volume causes a loss of up to 12% in stroke volume and heart rate increases by up to 10% in STD and by 5% in LTD during maximal and submaximal intensities. Ventilatory function also deteriorates with a reduction in ventilatory volume of up to 10%-12% in well-trained athletes during LTD. A period of STD does not influence muscle strength or muscle section, while periods of LTD reduce muscle strength by up to 12-14% in trained athletes. Age and the level of pre-detraining performance also influence the decrease in muscle section and muscle strength during LTD. Alterations in the values of the respiratory exchange ratio (RER) during periods of STD, as demonstrated in several studies, show a higher dependence on carbohydrate as a source of energy used in muscle metabolism. Blood lactate concentrations, at submaximal intensities, rise after a few days of detraining. A decrease in lactate threshold occurs in endurance athletes at maximal and submaximal intensities during LTD.

KEY WORDS: Detraining. Short-term detraining. Long-term detraining.

Correspondencia: Dr. José Ramón Alvero Cruz. Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte. Edificio López de Peñalver. Campus de Teatinos s/n. 29071 Málaga. España.
Correo electrónico: alvero@uma.es

INTRODUCCIÓN

El desentrenamiento ha sido recientemente definido como la pérdida parcial o completa de las adaptaciones fisiológicas, anatómicas y del rendimiento conseguido con el proceso de entrenamiento y como una consecuencia de la reducción o la suspensión del proceso de entrenamiento¹. El concepto de desentrenamiento no debe confundirse con el síndrome de desentrenamiento, término clínico que se refiere a atletas con un largo historial de entrenamiento y que presentan sensaciones de arritmia cardíaca, palpitaciones, pérdida de apetito, insomnio, ansiedad y depresión¹. Muchos factores, como las lesiones más o menos graves, el trabajo físico o el momento de conclusión de la temporada, pueden influir en la duración y los efectos de un período de desentrenamiento. De acuerdo con la literatura científica^{2,3}, lo hay de dos tipos: el desentrenamiento de corta duración (DCD), de menos de 4 semanas de duración, y el desentrenamiento de larga duración (DLD), con un período superior a las 4 semanas. La duración del período de desentrenamiento y el nivel de entrenamiento previo de los individuos caracterizan los cambios fisiológicos en los ámbitos cardiorrespiratorio, muscular o metabólico.

CAMBIOS CARDIORRESPIRATORIOS

Consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$)

La mayoría de estudios han demostrado que el $VO_{2\text{máx}}$ experimental, con el desentrenamiento, una disminución de entre el 4 y el 14%⁴⁻⁶ durante un período inferior a la 4 semanas y entre el 6 y el 20% durante un período de más de 4 semanas^{7,8}, en individuos con nivel muy alto de entrenamiento aeróbico. Godfrey et al⁹ estudiaron un atleta de remo de muy alto nivel después de 8 semanas de desentrenamiento, y los resultados se cifraron en una pérdida del 8% del $VO_{2\text{máx}}$ en una prueba incremental en cicloergómetro. En un estudio de Coyle et al¹⁰ resultó que cuanto más alto era el nivel de entrenamiento y rendimiento, mayor el empeoramiento del valor de $VO_{2\text{máx}}$ durante un período de desentrenamiento.

De forma contradictoria, Cullinane et al¹¹ encontraron que el valor de $VO_{2\text{máx}}$ fue mantenido durante el período de desentrenamiento de corta duración debido muy probablemente al nivel de rendimiento y a la cantidad de entrenamiento de los individuos estudiados: $< 56 \text{ ml/kg/min}$ de $VO_{2\text{máx}}$ y < 1 año de entrenamiento. En otro estudio, Pivarnik y Senay¹² demostraron que en individuos con un período de entrenamiento de sólo 4-8 semanas los valores de $VO_{2\text{máx}}$, después de un período de DCD, bajaron entre el 3 y el 6%. Klausen et al¹³ también estu-

diaron individuos con sólo 8 semanas de entrenamiento, y después de un DLD se observaron caídas de los valores de $VO_{2\text{máx}}$ hasta los valores basales o de pre-entrenamiento. En un estudio de Marles et al¹⁴ se observó que en un grupo de 9 jóvenes sometidos a entrenamiento de alta intensidad de 6 semanas, un período de DLD determinó una significativa reducción de los valores de $VO_{2\text{máx}}$ (reducción del 8%), del 12% en el umbral ventilatorio aeróbico (VT1) y del 8% en el umbral anaeróbico (VT2), durante una prueba incremental en cicloergómetro.

Cambios en el volumen de sangre

Está demostrado que una de las causas de la reducción de las funciones cardiovasculares durante un DCD se debe a la reducción del volumen de la sangre¹⁰. Según Thompson et al¹⁵, el volumen del plasma se reduce sólo con 2 días de inactividad. Coyle et al¹⁰ demostraron que el DCD determina una reducción del volumen de la sangre hasta del 12%, en gran parte debido a la reducción del 9% del volumen plasmático. Parece que el 3% de la reducción de volumen de la sangre se podría atribuir a la reducción de la masa de las células rojas que contribuyen a la disminución de $VO_{2\text{máx}}$ ¹⁰. También Pivarnik y Senay¹² observaron que en individuos recién entrenados el volumen de sangre disminuyó después de 4 semanas de desentrenamiento hasta valores del 4,7%. Los efectos de un período de DLD no han sido todavía estudiados, pero como indican Mujika y Padilla^{2,3}, sólo unos pocos días de desentrenamiento parecen ser suficientes para mostrar una reducción de los volúmenes de plasma y sangre.

Cambios en el volumen sistólico

Estudios de Coyle et al^{4,10} demostraron que la reducción de $VO_{2\text{máx}}$ después de períodos de corto y largo desentrenamiento es consiguiente a la reducción de la cantidad de sangre expulsada en cada latido, reducción debida al menor volumen sistólico característico del período de desentrenamiento. Estos autores observaron en un grupo de atletas de resistencia muy entrenados que después de un período de 4 semanas sin entrenamiento, la disminución de $VO_{2\text{máx}}$ en los primeros 21 días estaba relacionada con la disminución del volumen sistólico, y que en el mismo período hubo una reducción de hasta el 12%. Una reducción del 3 al 4% en el índice del volumen sistólico fue estudiada por Miyashita et al¹⁶ en un grupo de individuos de 45 años de edad y con sólo 15 semanas de entrenamiento. Este reducido tiempo de entrenamiento probablemente fue responsable de la disminución del 7% del $VO_{2\text{máx}}$ del mismo grupo de estudio.

Cambios en las dimensiones cardíacas

La reducción del $VO_{2\text{máx}}$ consiguiente a la pérdida del volumen de sangre y a la disminución del volumen sistólico, durante un período de desentrenamiento, parece estar relacionada con los cambios en las dimensiones cardíacas¹⁷.

Maron et al¹⁸ observaron una importante reducción de entre el 15 y el 33% en el espesor del ventrículo izquierdo (VI) en 6 atletas olímpicos de remo después de un período de DLD (6-34 semanas).

En otro reciente estudio de Pelliccia et al¹⁹ con 40 atletas de alto rendimiento, sometidos a un período de DLD, se demostró una significativa reducción de la cavidad del VI hasta del 7%. Giada et al²⁰, también en un interesante estudio, observaron la influencia de la edad en las adaptaciones cardiovasculares con 2 grupos de ciclistas (19-25 y 50-65 años). Después de 2 meses de desentrenamiento (DLD) se detectaron modificaciones en la morfología ventricular en ambos grupos, con una pérdida mayor en la masa y volumen del VI en el grupo de mayores (50-65 años). Obert et al²¹ observaron cambios en la dimensión interna del VI (más del 4%) en un grupo de 29 niños (10-11 años) sometidos a un entrenamiento de carrera de 13 semanas; pero después de un DLD de 2 meses, todos los parámetros de la morfología cardíaca volvieron al período de pre-entrenamiento. Contrariamente a cuanto se ha demostrado en varios estudios, Cullinane et al¹¹ no pudieron comprobar cambios en las dimensiones cardíacas en 15 corredores tras un DCD de 10 días; también Pavlik et al²², al estudiar a un grupo de ciclistas y corredores, no observaron cambios significativos de la dimensión del VI tras 60 días de desentrenamiento.

Cambios en la frecuencia cardíaca

Como resultado de una reducción del volumen de sangre, la frecuencia cardíaca (FC) aumenta durante un esfuerzo de intensidad máxima y submáxima en atletas durante un período de desentrenamiento². Coyle et al¹⁰, al estudiar atletas de deportes aeróbicos notaron un aumento en la FC del 11% en el transcurso de ejercicios submáximos después de 2-4 semanas de desentrenamiento. Según un estudio de Houmard et al²³, en un grupo de corredores con 14 días sin entrenamiento la FC aumentó en 11 y 9 latidos/min en ejercicios de intensidades submáxima y máxima, respectivamente. Coyle et al⁴ vieron que la FC también aumenta durante un DLD, y en un grupo de atletas bien entrenados en modalidades aeróbicas el aumento de la FC fue del 5% después de un período de desentrenamiento de 84 días. Un estudio con resultados contradictorios a

los anteriores es el presentado por Cullinane et al¹¹, que informa de la no presencia de cambios significativos en la FC de los atletas después de 10 días de desentrenamiento. Los mismos resultados, según estudios de otros autores, se confirman en individuos poco entrenados. Según Wibom et al²⁴, un corto período sin entrenamiento no parece afectar a la FC durante ejercicios a intensidad submáxima. También un estudio de Fringer y Stull²⁵ confirmó que la FC no aumenta durante ejercicios máximos y submáximos, después de un largo período sin entrenamiento, en individuos poco entrenados.

Cambios en la ventilación

En cuanto a la función respiratoria, el entrenamiento provoca cambios significativos en la ventilación pulmonar durante el ejercicio de intensidad submáxima y máxima. El incremento de las necesidades de consumo de oxígeno en un deportista durante el ejercicio se traduce en una mayor producción de CO_2 (VCO_2), que debe eliminarse mediante un incremento de la ventilación. Las funciones respiratorias experimentan un deterioro¹ en atletas muy entrenados, después de un período de desentrenamiento. Como han demostrado varios autores, la ventilación (VE) se afecta tras un largo período de desentrenamiento. Drinkwater y Horvath²⁶ observaron una pérdida del 10,3% de la VE en jóvenes atletas tras 12 semanas de desentrenamiento; Fardy⁷ demostró una pérdida del 10% del VE en jugadores de fútbol tras 5 semanas sin entrenamiento, y Miyamura e Ishida⁸ observaron un VE hasta del 14% inferior en jugadores de bádminton con 2 años de desentrenamiento. Períodos de desentrenamiento afectan también la VE de individuos recientemente entrenados, como demostró en un estudio Miyashita et al¹⁶, en el que un grupo de individuos redujeron hasta un 7% los valores de VE después de 6 meses sin entrenamiento.

CAMBIOS MUSCULARES

Durante un período de desentrenamiento existen múltiples cambios musculares, caracterizados por la pérdida de fuerza y la disminución del tamaño y la distribución de las fibras.

Cambios sobre la fuerza

De acuerdo con lo publicado en la literatura científica²⁷, la fuerza muscular puede mantener su estado o experimentar una leve disminución después de períodos de DCD. Un estudio de Hortobagyi et al²⁸ demostró que después de 14 días de desen-

trenamiento sólo se afectó la fuerza excéntrica, mientras que los aspectos neuromusculares no se alteraron. Períodos mayores a 8-12 semanas sin entrenamiento se caracterizan por una pérdida de fuerza del 7 al 12%²⁷. Hakkinen et al²⁹ confirmaron en atletas muy entrenados una pérdida de fuerza del 12% en los ejercicios de sentadilla y extensión de piernas después de 8 semanas de desentrenamiento. Neufer et al³⁰ demostraron que la pérdida de fuerza específica para nadar en jóvenes nadadores llegó hasta un 14% menos después de un período de DLD de más de 4 semanas. Un interesante trabajo de Lemmer et al³¹ estudió los efectos y los cambios de fuerza máxima en grupos de individuos de diferente edad y sexo; tras un período de 31 semanas de DLD, el grupo de jóvenes (20-30 años), independientemente del sexo, perdió un 8% de fuerza (1 RM), mientras que el grupo de mayores (65-75 años) perdió el 14% de la fuerza (1 RM); el estudio demostró que la edad influye sobre la pérdida de fuerza máxima durante un período de desentrenamiento. En otro reciente estudio de Toreman y Ayceman³² se demostró que, con 2 grupos de mayores (60-73 y 74-86 años), un desentrenamiento de 6 semanas afectaba más al rendimiento y a la flexibilidad muscular en el grupo de mayor edad (74-86 años). Un trabajo de Fatouros et al³³ estudió 2 grupos de individuos sometidos a un entrenamiento al 55 y al 82% de 1RM, respectivamente; el grupo entrenado a baja intensidad (55%) perdió más fuerza (20-25%) respecto al otro grupo después de un período de desentrenamiento de 48 semanas, demostrando que también la intensidad del entrenamiento influye sobre la pérdida de fuerza durante un desentrenamiento de larga duración. En un reciente estudio, Harris et al³⁴ entrenaron a 3 grupos de ancianos (mayores de 71 años) con 3 diferentes intensidades de ejercicio (2×15 RM, 3×9 RM y 4×6 RM) durante 18 semanas; sucesivamente divididos en dos grupos, independientemente de la intensidad del entrenamiento anterior, y sometidos a períodos sin entrenamiento de 6 semanas (1.º grupo) y 20 semanas (2.º grupo), ambos grupos evidenciaron una pérdida de fuerza muscular del 4,5 y del 13,5%, respectivamente, demostrando que la disminución de fuerza muscular en individuos ancianos parece ser independiente de la intensidad del ejercicio.

Interesante es el estudio de Gondin et al³⁵, en el que investigaron el efecto de un DCD sobre los cambios neuromusculares con electroestimulación después de un período de entrenamiento de 8 semanas; los cuádriceps de 9 individuos fueron sometidos a 32 sesiones de electroestimulación y los efectos fueron controlados con electromiografía. Tras un período de desentrenamiento de 4 semanas, resultó que la pérdida de fuerza se acompañó de alteraciones nerviosas, y que los cambios

musculares fueron más lentos que las modificaciones relativas al aspecto nervioso.

Cambios en las fibras musculares

Según Coyle et al³⁶, un período de DCD no influye significativamente sobre cambios en la sección y la distribución de la fibra muscular; al contrario, un período de desentrenamiento más largo induce una pérdida de sección de las fibras y de la masa muscular. Hakkinen et al²⁹ informaron de una reducción de porcentaje de fibra rápida (FT) hasta del 60% en culturistas de alto nivel después de 13 meses de DLD, y Coyle et al³⁶, de un cambio progresivo de fibras FTa a FTb, hasta del 19%, en ciclistas de alto nivel después de 56 días sin entrenamiento. Andersen et al³⁷ demostraron, en un grupo de 13 jóvenes (23-25 años), que un DLD de 3 meses se asocia a la pérdida de la fuerza máxima, a atrofia muscular y a pérdida de propiedades contráctiles de las fibras rápidas; también en un trabajo de Kadi et al³⁸ se demostró una disminución significativa de la sección de fibra muscular después de un período de desentrenamiento de 30 días.

CAMBIOS METABÓLICOS

Otro cambio producido durante un período de desentrenamiento es la disminución del volumen mitocondrial^{39,40}. Atletas muy entrenados mostraron una rápida disminución de la actividad enzimática oxidativa en las primeras 8 semanas de desentrenamiento, seguida de un nivel enzimático estabilizado sobre un 50% del valor inicial durante las últimas 4 semanas^{13,41,42}. Períodos de DCD y DLD parecen no afectar, según un estudio de Chi et al³⁹, la concentración de mioglobina, y tampoco las actividades de las enzimas glucolíticas.

Cambios en el cociente respiratorio

El incremento del cociente respiratorio (CR) durante un ejercicio de intensidad submáxima y máxima es una de las consecuencias metabólicas de un período de DCD¹. El aumento del CR significa que existe una dependencia mayor de los hidratos de carbono como fuente de energía utilizada en el metabolismo muscular, con una disminución de la utilización de los lípidos¹. En un estudio de Houmard et al²³, un grupo de corredores presentó un aumento del CR de 1,03 a 1,06 después de 2 semanas de desentrenamiento; Madsen et al⁴² investigaron un grupo de atletas que pedaleando a un 75% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ incrementaron el CR de 0,89 a 0,91 después de un DCD de 4

semanas. También Moore et al⁶ confirmaron que después de 3 semanas sin entrenamiento, un grupo de atletas aumentó el CR de 0,89 a 0,95 en un ejercicio a una intensidad del 60% del $VO_{2\text{máx}}$.

Alteraciones de los valores del CR han quedado demostradas en estudios de varios autores, y se manifiestan también en individuos recientemente entrenados. En un estudio de Moore et al⁶ el CR se incrementó del 0,87 al 0,96 después de 3 semanas de desentrenamiento en individuos con sólo 7 semanas de entrenamiento aeróbico. También otros estudios^{25,26} confirmaron que períodos de DCD produjeron cambios del CR en jóvenes mujeres recientemente entrenadas.

Cambios en el lactato

La concentración de ácido láctico es una de las variables fisiológicas más sensibles tanto al entrenamiento como al desentrenamiento. La concentración de lactato en la sangre durante un ejercicio submáximo se incrementa en atletas de muy alto nivel tan sólo con 7 días de descanso^{39,41,42}.

Según estudios de Coyle et al³⁶, el umbral de lactato disminuye progresivamente durante 3 meses de DLD, en atletas muy entrenados, del 79 al 74% del $VO_{2\text{máx}}$. En estudios de Ready et al⁴³ y de Wibom et al²⁴ resulta que la disminución del umbral no se manifestaría con un desentrenamiento de menos de 4 semanas. Resultados de estudios³⁶ con ciclistas y corredores de alto nivel mostraron un cambio de concentración en la sangre de lactato de 1,9 a 3,2 mM después de 84 días sin entrenamiento. En un reciente trabajo, Godfry et al⁹ han estudiado los efectos de 8 semanas de DLD sobre un atleta olímpico de remo; la curva lactato/vatios a 2 y a 4 mM fue más baja del 27 y del 22%, respectivamente, de los valores usuales. La concentración de lactato en la sangre parece no estar afectada, con períodos de breve desentrenamiento, en individuos recientemente entrenados, y un estudio de Wibom et al²⁴ indicó que 3 semanas de desentrenamiento, sucesivas a 6 semanas de entrenamiento aeró-

Tabla I Cambios fisiológicos con el desentrenamiento

Variables	Disminución	Aumento
$VO_{2\text{máx}}$	↓	–
Volumen sangre	↓	–
Volumen sistólico	↓	–
Dimensiones cardíacas	↓	–
FC máxima	–	↑
FC submáxima	–	↑
VE	↓	–
Cociente respiratorio	–	↑
Lactato	–	↑
Umbral láctico	↓	–
Fuerza	↓	–

bico, no produjeron cambios en la concentración de lactato en la sangre en un grupo de 9 jóvenes de 20 años.

La tabla I presenta un resumen de las modificaciones que produce el desentrenamiento.

CONCLUSIONES

Quedan ampliamente demostrados los cambios fisiológicos que se manifiestan con un período de desentrenamiento tanto a nivel cardíaco como cardiovascular, con disminución del $VO_{2\text{máx}}$, del gasto cardíaco y de la FC.

En cuanto a la fuerza, el desentrenamiento produce pérdidas de la fuerza y modificaciones en las características de la fibra muscular.

Los cambios metabólicos del desentrenamiento se caracterizan por una utilización mayor del metabolismo anaeróbico, con aumentos del CR y en la producción de lactato.

Bibliografía

- Mujika I, Padilla S. Cardiorespiratory and metabolic characteristics of detraining in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:413-21.
- Mujika I, Padilla S. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I. Short term insufficient training stimulus. *Sports Med.* 2000;30:79-87.
- Mujika I, Padilla S. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part II. Long term insufficient training stimulus. *Sports Med.* 2000;30:145-54.
- Coyle E, Martin III W, Sinacore DR, Joyner MJ, Hgberg JM, Hollosky JO. Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *J Appl Physiol.* 1984;57:1857-64.
- Martin WH, Coyle EF, Bloomfield SA, Ehasani AA. Effects of physical deconditioning after endurance training on left ventricular dimensions and stroke volume. *J Am Coll Cardiol.* 1986;7:982-9.
- Moore RL, Thacker EM, Kelley GA, Musch TI, Sinoway LI, Foster VL, et al. Effect of training/detraining on submaximal exercise responses in humans. *J Appl Physiol.* 1987;63:1719-24.
- Fardy P. Effects of soccer training and detraining upon selected cardiac and metabolic measures. *Res Q.* 1969;40:502-8.
- Miyamura M, Ishida K. Adaptive changes in hypercapnic ventilatory response during training and detraining. *Eur J Appl Physiol.* 1990;60:353-9.
- Godfrey RS, Ingham SA, Pedlar C, White G. The detraining and retraining of an elite rower: a case study. *J Sci Med Sport.* 2005;8:314-20.
- Coyle EF, Hemmert MK, Coggan AR. Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: role of blood volume. *J Appl Physiol.* 1986;60:95-9.
- Cullinane EM, Sady SP, Vadeboncoeur L, Burke M, Thompson PD. Cardiac size and VO_2 max do not decrease alter short-term exercise cessation. *Med Sci Sports Exerc.* 1986;18:420-4.
- Pivarnik J, Senay L. Effects of exercise detraining and deacclimation to the heat on plasma volume dynamics. *Eur J Appl Physiol.* 1986;55:222-8.
- Klausen K, Andersen L, Pelle I. Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiol Scand.* 1981;113:9-16.
- Marles A, Legrand R, Blondel N, Mucci P, Betbeder D, Prieur F. Effect of high-intensity interval training and detraining on extra VO_2 and on the VO_2 slow component. *Eur J Appl Physiol.* 2007;99:633-40.
- Thompson PD, Cullinane EM, Eshleman R, Sady SP, Herbert PN. The effects of caloric restriction or exercise cessation on the serum lipid and lipoprotein concentration of endurance athletes. *Metabolism.* 1984;33:943-50.
- Miyashita M, Haga S, Mizuta T. Training and detraining effects on aerobic power in middle-aged and older men. *J Sports Med.* 1978;18:131-7.
- Neufer PD. The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. *Sports Med.* 1989;8:302-21.
- Maron BJ, Pelliccia A, Spataro A, Granata M. Reduction in left ventricular wall thickness after deconditioning in highly trained Olympic athletes. *Br Heart J.* 1993;69:125-8.
- Pelliccia A, Maron BJ, De Luca R, Di Paolo FM, Spataro A, Culasso F. Remodeling of left ventricular hypertrophy in elite athletes after long-term deconditioning. *Circulation.* 2002;105:944-9.
- Giada F, Bertaglia E, De Piccoli B, Franceschi M, Sartori F, Raviele A, et al. Cardiovascular adaptations to endurance training and detraining in young and older athletes. *Int J Cardiol.* 1998;65:149-55.
- Obert P, Mandigout S, Vinet A, N'Guyen LD, Stecken F, Courteix D. Effect of aerobic training and detraining on left ventricular dimensions and diastolic function in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med.* 2001;22:90-6.
- Pavlik G, Bachl N, Wollein W, Langfy GY, Prokop L. Effect of training and detraining on the resting echocardiographic parameters in runners and cyclists. *J Sports Cardiol.* 1986;3:35-45.
- Houmard JA, Hortobagyi T, Johns RA, Bruno NJ, Nute CC, Shinebayer MH, et al. Effect of short-term training cessation on performance measures in distance runners. *Int J Sports Med.* 1992;13:572-6.
- Wibom R, Hultman E, Johansson M, Matherei K, Constantin D, Schantz PG. Adaptation of mitochondrial ATP production in human skeletal muscle to endurance training and detraining. *J Appl Physiol.* 1992;73:2004-10.
- Fringer MN, Stull GA. Changes in cardiorespiratory parameters during periods of training and detraining in young adult females. *Med Sci Sports.* 1974;6:20-5.
- Drinkwater BL, Horvath SM. Detraining effects on young women. *Med Sci Sports.* 1972;4:91-5.
- Mujika I, Padilla S. Muscular characteristics of detraining in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1297-303.
- Hortobagyi T, Houmard JA, Stevenson JR, Fraser DD, Johns RA, Israel RG. The effects of detraining on power athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:929-35.
- Hakkinen K, Komi P, Tesch P. Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on forcetime, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscle. *Scand J Sports Sci.* 1981;3:50-8.

30. Neufer PD, Costill DL, Fielding R, Flynn MG, Kirwan JP. Effect of reduced training on muscular strength and endurance in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19:486-90.
31. Lemmer J, Hurlburt D, Martel G, Tracy B, Ivey F, Metter J, et al. Age and gender responses to strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1505-12.
32. Toremán NF, Ayceman N. Effects of six weeks of detraining on retention of functional fitness of old people after nine weeks of multicomponent training. *Br J Sports Med.* 2005;39:565-8.
33. Fatouros IG, Kambas A, Katrabasas I, Nikolaidis K, Chatzinikolaou A, Leontsini D, et al. Strength training and detraining effects on muscular strength, anaerobic power and mobility of inactive older men are intensity dependent. *Br J Sports Med.* 2005;39:776-80.
34. Harris C, Debeliso M, Adams KJ, Irmischer B, Spitzer Gibson T. Detraining in the older adult: effects of prior training intensity on strength retention. *J Strength Cond Res.* 2007;21:813-8.
35. Gondin J, Guette M, Ballay Y, Marti A. Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol.* 2006;97:165-73.
36. Coyle EF, Martin III W, Bloomfield SA, Lowry OH, Holloszy JO. Effects of detraining on response to submaximal exercise. *J Appl Physiol.* 1985;59:853-9.
37. Andersen LL, Andersen JL, Magnusson SP, Suetta C, Madsen JL, Christensen LR, et al. Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J Appl Physiol.* 2005;99:87-94.
38. Kadi F, Schjerling P, Andersen LL, Charifin N, Madsen JL, Christensen LR, et al. The effects of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. *J Physiol.* 2004;558:1005-12.
39. Chi MM, Hintz CS, Coyle EF, Martin WH, Ivy JL, Nemeth PM, et al. Effects of detraining on enzymes of energy metabolism in individual human muscle fibers. *Am J Physiol.* 1983;244:276-87.
40. Costill DL, Fink WJ, Hargreaves M, King DS, Thomas R, Fielding R. Metabolic characteristics of skeletal muscle during detraining from competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17:339-43.
41. Bergman BC, Wolfel EE, Butterfield GE, Lopaschuk GD, Cassazza GA, Horning MA, et al. Active muscle and whole body lactate kinetics alter endurance training in men. *J Appl Physiol.* 1999;87:1684-96.
42. Madsen K, Pedersen P, Djurhuus M, Klitgaard N. Effects of detraining on endurance capacity and metabolic changes during prolonged exhaustive exercise. *J Appl Physiol.* 1993;75:1444-51.
43. Ready AE, Eynon R, Cunningham D. Effect of interval training and detraining on anaerobic fitness in women. *Can J Appl Sport Sci.* 1981;6:114-8.