

Monograph

Efectos de 15 días de Interrupción del Entrenamiento sobre Variables Selectas Fisiológicas y de Rendimiento en Corredoras

Roisheen A Doherty¹, J P Neary², Yagesh N Bhambhani³ y Howard A Wenger⁴

¹Clinical Research Coordinator, Carol Frank Breast Care Center, University of California at San Francisco, San Francisco, California 94115, Estados Unidos.

²Faculty of Kinesiology, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada E3B5A3, Canadá.

³Department of Occupational Therapy, Faculty of Rehabilitation Medicine, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada T6G2H9, Canadá.

⁴School of Physical Education, University of Victoria, Victoria, British Columbia, Canada V8V2Y2, Canadá.

RESUMEN

Este trabajo estudió los efectos de 15 días de interrupción del entrenamiento sobre el máximo consumo de oxígeno y variables fisiológicas selectas [frecuencia cardíaca máxima, gasto cardíaco (Q), volumen sistólico (SV), diferencia arteriovenosa de oxígeno [(a-v)O₂ diff], concentración del plasma sanguíneo] en 15 corredoras de media distancia de nivel competitivo (VO₂ máx.: 49,8±1,1 mL.kg⁻¹.min⁻¹). Los sujetos fueron asignados aleatoriamente al grupo de interrupción del entrenamiento (CT, n=7) o al de mantenimiento del entrenamiento (MT, n=8) y fueron evaluados cada 5 días. El Q fue medido por medio de la reinhalación de CO₂, a partir de la cual fueron calculados el SV y la (a-v)O₂ diff. No fueron encontrados cambios significativos en el día 5. Luego de 10 días hubo una disminución significativa en el VO₂ máx. (3,8 mL.kg⁻¹.min⁻¹) en el grupo CT, siendo significativamente menor que en el grupo MT, pero no fueron observados cambios posteriores en ninguna variable fisiológica. Los tiempos de rendimiento (2400 m) no cambiaron para el grupo MT, pero fueron significativamente menores (21,5±7,1 segundos) para el grupo CT luego de 15 días, lo cual correspondió a una disminución de 7,8% en el VO₂ máx. Estos hallazgos sugieren que en corredoras de media distancia de nivel competitivo, fue encontrada una disminución real en el rendimiento luego de 15 días de CT, lo cual fue causado más probablemente por la disminución del VO₂ máx.

Palabras Clave: desentrenamiento, corredoras, VO₂ máx., gasto cardíaco, test de rendimiento

INTRODUCCION

Las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento de resistencia están bien documentadas. Las mismas incluyen tanto a los cambios cardiovasculares centrales reflejados en un incremento en el máximo consumo de oxígeno (VO₂ máx.), en el gasto cardíaco (Q), en el volumen sistólico (SV), en la reducción en la frecuencia cardíaca máxima de reposo (4, 7, 14, 16, 24, 40, 42, 49) y en las adaptaciones periféricas incluyendo al incremento en la diferencia arteriovenosa de oxígeno [(a-v)O₂ diff],

capilarización, actividad enzimática y desoxigenación muscular (17, 26, 34, 36, 45). Estos incrementos contribuyen a incrementar el rendimiento a través del aumento del transporte y utilización de oxígeno por parte de los músculos que trabajan. Los programas de entrenamiento de resistencia están diseñados para promover cambios en el sistema energético aeróbico que van a mejorar el rendimiento en el ejercicio de larga duración. Factores tales como lesiones, enfermedades menores, viajes y horarios y circunstancias climáticas pueden causar interrupciones con una duración desde algunos días hasta algunas semanas en los regímenes de entrenamiento de los atletas. La mejora de las funciones fisiológicas como respuesta al entrenamiento no es permanente y si el estímulo de entrenamiento se interrumpe (i.e., cesación del entrenamiento), la función y el rendimiento disminuyen.

Las investigaciones que tratan los efectos de las interrupciones cortas en el entrenamiento (i.e., 2 semanas o menos) sobre las respuestas fisiológicas, son equívocas. Esto se debe principalmente a las variaciones de los sujetos implicados en estos estudios (i.e., elite vs. altamente entrenados vs. previamente sedentarios, moderadamente entrenados). Los atletas de elite con una base de entrenamiento de hasta 10 años pueden experimentar cierta disminución en diferentes variables fisiológicas (i.e., enzimas oxidativas, volumen plasmático, cinética del lactato sanguíneo, VO_2 máx., frecuencia cardíaca máxima [HR máx.]) en un período tan corto como 5 días sin entrenamiento (11, 20, 23, 35, 37, 39, 40), y algunas variables (i.e., dimensión cardíaca, [(a-v) O_2 diff], capilarización) permanecen por encima de los valores pre-entrenamiento por períodos que exceden las 3 semanas (6, 20, 21, 48). Los cambios fisiológicos que acompañan al entrenamiento a corto plazo (menos de 3 semanas) en hombres entrenados incluyen a la disminución en el VO_2 máx., Q, HR máx., SV, volumen sanguíneo (8-10, 37) y actividad enzimática muscular (10, 21). Sin embargo, hay información limitada acerca del efecto del desentrenamiento sobre la función fisiológica y el rendimiento en corredoras de nivel competitivo (32, 43). La disminución cuantitativa en la función fisiológica durante la cesación del entrenamiento es importante tanto para el entrenador como para la atleta. La ausencia de cambios luego de un período corto de cesación del entrenamiento, sería beneficiosa para la atleta que cesa el entrenamiento desde unos pocos días hasta una semana para evitar la fatiga y ayudar a la recuperación de lesiones menores.

De este modo, el propósito de este estudio fue doble: (a) estudiar los efectos de 15 días de interrupción del entrenamiento sobre la magnitud del cambio en el VO_2 máx. y las variables fisiológicas selectas que están relacionadas al VO_2 máx. en corredoras de medias distancia con una base de entrenamiento de al menos 2 años; y (b) determinar los efectos del período de cesación del entrenamiento sobre el rendimiento de carrera subsiguiente. Identificando los efectos, es de este modo posible estudiar lo (s) mecanismo (s) para prevenir la pérdida de la adaptación. Para este estudio fueron seleccionados 15 días de interrupción del entrenamiento, debido a que este es el período de tiempo durante el cual los corredores bien entrenados y de elite han exhibido disminuciones en la función fisiológica.

METODOS

Enfoque Experimental al Problema

En base a investigaciones que implicaron a atletas bien entrenados y de elite, fue planteada la hipótesis que señala que el grupo homogéneo de corredoras de media distancia de nivel competitivo de este estudio experimentaría disminuciones en las variables cardiovasculares dentro del mismo período o en un período más corto. De este modo, fue seleccionada una interrupción de 15 días del período de entrenamiento, debido a que esta es la línea de tiempo de cambio encontrada en hombres bien entrenados y de elite. Así, este diseño experimental hizo posible estudiar los cambios fisiológicos en corredoras de nivel competitivo y comparar estas diferencias (transversal) con corredores bien entrenados.

Sujetos

Quince corredoras de media distancia de nivel competitivo (media \pm DS, edad: 20 \pm 3 años; VO_2 máx. inicial: 49,7 \pm 1,1 ml.kg⁻¹.min⁻¹; 2,84 \pm 0,11 L.min⁻¹; Tabla 1) se ofrecieron voluntariamente a participar en este estudio. De las 15 corredoras, 8 eran corredoras del equipo de competición de la universidad, y las 7 restantes eran corredoras de nivel competitivo que asistían a la universidad o a la escuela militar. Todas habían estado entrenando regularmente durante 2-6 años, y eran eumenorreicas en el momento del estudio. Además, en base a los diarios de entrenamiento, todas las mujeres confirmaron realizar una ingesta calórica de carbohidratos, grasas y proteínas, balanceada y mantener su nivel de entrenamiento (o interrupción luego). Antes del estudio, el entrenamiento semanal promedió 5-6 días por semana y aproximadamente 50-80 km por semana por al menos 18 semanas. Los regímenes de entrenamiento combinaron programas continuos (60-70% de la carga de trabajo total) y programas intervalados a una intensidad de ejercicio del 70-90 del VO_2 máx.

Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a uno de dos grupos; un grupo de mantenimiento (MT, n=8) que mantuvo su entrenamiento por 15 días, y un grupo de interrupción del entrenamiento (CT, n=7), el cual cesó completamente su

programa de entrenamiento por 15 días. Antes de las evaluaciones, todos los sujetos fueron orientados al laboratorio, donde se les dio información verbal y escrita acerca de las demandas, requerimientos y beneficios, y los protocolos de los tests antes de acceder a participar; y firmaron un consentimiento informado de acuerdo a un comité de ética institucional.

| | CT | MT |
|--|-----------|-----------|
| Edad (años) | 21±1,0 | 19±1,0 |
| Talla (cm) | 162,9±1,1 | 164,3±1,7 |
| Masa corporal (kg) | 57,5±1,5 | 57,1±2,3 |
| SOS (mm) | 89,4±6,2 | 80,8±5,7 |
| <i>VO₂ máx. inicial</i> | | |
| mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹ | 49,8±1,1 | 49,5±1,2 |
| L.min ⁻¹ | 2,85±0,09 | 2,83±0,14 |
| <i>VO₂ máx. final</i> | | |
| mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹ | 48,8±1,3 | 55,0±1,5 |
| L.min ⁻¹ | 2,81±1,0 | 3,14±0,15 |

Tabla 1. Características fisiológicas de las corredoras de media distancia a través del período de 15 días. Los datos se presentan como medias (DS). CT: interrupción del entrenamiento (n=7); MT: mantenimiento del entrenamiento (n=8); SOS: suma de (8) pliegues cutáneos.

Evaluaciones

Todos los sujetos se reportaron al laboratorio de ciencias del ejercicio 5 veces durante el transcurso del estudio a lo largo de un período de 24 días (Figura 1). La primera sesión fue una familiarización en el laboratorio y un test en cinta rodante para la evaluación de las cargas submáximas para el uso en el estudio del VO₂ máx.-Q. Todos los sujetos estaban familiarizados con la carrera en cinta rodante antes del comienzo del estudio. La segunda sesión de evaluación fue la primera de 4 evaluaciones de variables hematológicas, VO₂ máx., y Q. Las sesiones de evaluación fueron realizadas cada 5 días (día 0, 5, 10 y 15). Al grupo CT se le pidió abstenerse de cualquier actividad física durante el protocolo de 15 días durante el estudio. En los diarios de entrenamiento se verificó este requerimiento para el estudio. Sin embargo, el grupo MT continuó sus programas de entrenamiento bajo la supervisión de sus entrenadores.

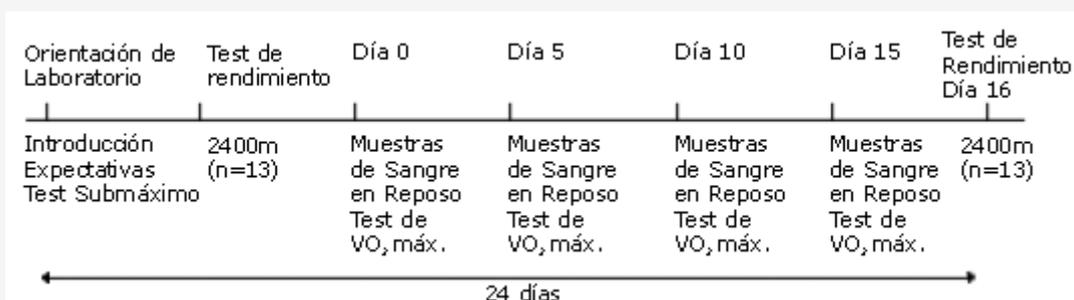


Figura 1. Línea de tiempo de la recolección de datos para los grupos de interrupción del entrenamiento (CT) y mantenimiento del entrenamiento (MT).

Los sujetos se reportaron al laboratorio de ciencias del ejercicio entre las 6:00 am y las 9:00 am en un estado descansado (i.e., sin haber realizado un gran desayuno, arribaron en vehículo). Fueron realizadas mediciones antropométricas de talla (cm), masa corporal (cm), y suma (mm) de 8 pliegues cutáneos (SOS; tríceps, bíceps, subescapular, supraíliaco, supraespinal, abdomen, muslo y pantorrilla) (41) en los días 0 y 15 por el mismo investigador certificado. Luego de que fueran tomadas las mediciones antropométricas, cada sujeto descansó sentado por 15 minutos, período después del cual fueron extraídos 2 ml de sangre a través de una punción venosa de la vena antecubital. Luego las muestras sanguíneas (Figura 1) fueron analizadas para hemoglobina y hematocrito (*SM analyser, Beckman Coulter, Miami, FL*), a partir de las cuales fue calculada la concentración plasmática (PC) usando la metodología descrita por Dill y Costill (12).

Una semana antes del estudio y en el día 16 luego del comienzo del mismo, fue realizada una prueba por tiempo (*time trial*) de 2400 m, supervisada por un entrenador, en una pista descubierta de 400 m, para estudiar cualquier cambio en el rendimiento específico del deporte.

Evaluación de Ejercicio

El gasto cardíaco y el VO_2 máx. fueron determinados en una cinta rodante utilizando un protocolo continuo e incremental (47). Luego de una entrada en calor de 2 minutos a una carga de trabajo submáxima determinada durante la primera sesión del laboratorio (9,66-12,88 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), la velocidad de la cinta fue luego incrementada en 0,79 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, y mantenida durante 4-6 minutos para obtener el estado estable requerido para el procedimiento de reinhalación de CO_2 (ver más abajo). Una vez que el proceso de reinhalación era completado, el sujeto continuaba corriendo a la velocidad de estado estable durante 1 minuto. La velocidad de la cinta era luego incrementada (en aproximadamente 1,58 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) hasta alcanzar un ritmo que aproximara a la del test de rendimiento de 2400 m del sujeto. Esta velocidad de evaluación fue usada durante el test incremental de VO_2 máx. para determinar la potencia aeróbica máxima. Cada sujeto corrió durante 1 minuto a esta velocidad de evaluación, después de lo cual la velocidad era mantenida, pero la graduación porcentual de la cinta rodante era incrementada en 2% cada minuto hasta que fuera obtenido el VO_2 máx. (10-14 minutos). Se estableció que el VO_2 máx. era alcanzado cuando se cumplían los siguientes criterios: un plateau o disminución en el consumo de oxígeno a pesar de producirse un incremento en la graduación porcentual de la cinta rodante; un cociente respiratorio que excediera 1,1; alcanzar la frecuencia cardíaca máxima estimada; o la fatiga volitiva (1). Todos los sujetos alcanzaron los criterios establecidos y alcanzaron el VO_2 máx.

Durante el test de ejercicio, fue usada una válvula de dos vías Hans-Rudolph para recolectar los gases espirados. Los gases espirados fueron analizados cada 15 segundos mediante un dispositivo de medición metabólica Horizon (Sensormedics, Yorba Linda, CA). El dispositivo fue calibrado antes y después de cada test usando gases estándar (16% O_2 , 5% CO_2 , N_2). El volumen de ventilación fue calibrado antes de cada test usando una jeringa de 1,89 L a tres velocidades de flujo diferentes, como ha sido recomendado por el fabricante. La frecuencia cardíaca fue monitoreada en forma continua y registrada cada 30 segundos a través de todo el test usando un monitor de la frecuencia cardíaca Polar Vantage XL (Polar, Kempele, Finlandia).

Gasto Cardíaco

El gasto cardíaco fue determinado a través de la reinhalación de CO_2 durante un estado estable submáximo en el minuto 4 y 6 (aproximadamente el 60% del VO_2 máx.) del protocolo de VO_2 máx. (3). Esta carga fue elegida debido a que se sabe que el volumen sistólico se incrementa durante el ejercicio submáximo y hace un plateau aproximadamente al 40-50% de la HR máx. (10, 22). Una vez que el estado estable es alcanzado, tal como es indicado por una V_E constante ($\pm 1,0 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$), un VO_2 ($\pm 0,1 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) y un CO_2 corriente final (PETCO_2), que fue $\leq 1,0 \text{ mmHg}$ con respecto a la lectura anterior, se iniciaba el procedimiento de reinhalación (todos los sujetos alcanzaron un estado estable). Cada sujeto hiperventiló durante 20 segundos desde una bolsa de 5 L que contenía una mezcla con 11-13% de CO_2 (3, 22). La mezcla de CO_2 usada fue determinada a partir de una tabla de valores de PETCO_2 y VO_2 ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$), tal como fue descrito por Jones (22).

El Programa Avanzado de Evaluación de Ejercicio proporcionado con el Horizon MMC fue usado para calcular el gasto cardíaco a partir de los datos recolectados durante el procedimiento de reinhalación. Los valores fueron aplicados a la ecuación indirecta de Fick, $Q = V \text{CO}_2 / [\text{Cv CO}_2 - \text{Ca CO}_2]$, donde Q es el gasto cardíaco ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$), VCO_2 es el contenido de CO_2 espirado ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$, STPD); CvCO_2 es el contenido de CO_2 de la sangre venosa mezclada; y CaCO_2 es el contenido de de la sangre arterial. El VCO_2 fue medido durante el estado estable antes del procedimiento de rinhalación. El PETCO_2 (a partir del $F_E\text{CO}_2$ corriente final) fue medido y luego fue calculado el PaCO_2 (presión de CO_2 alveolar, mmHg). A partir del PaCO_2 , fue derivado el PvCO_2 a partir de la ecuación $\log_e \text{CCO}_2 = [0,396 \times \log_e \text{PCO}_2]$ (22).

El CvCO_2 es derivado a partir del PvCO_2 , el cual fue estimado por extrapolación del aumento en PETCO_2 durante el procedimiento de reinhalación. A medida que el gas de la bolsa de respiración se mezclaba con el gas alveolar, el PCO_2 alcanzó un plateau (una diferencia de $<1 \text{ mmHg}$ en los primeros 8 segundos) indicando que el PaCO_2 igualó al PvCO_2 . La presión (mmHg) de este equilibrio fue tomada como PvCO_2 y el CvCO_2 fue calculado a partir de la ecuación usada para el CaCO_2 (22). Cuando las concentraciones de gas son aplicadas a la ecuación de Fick para derivar el Q de la carga de trabajo, el *software* incorpora correcciones para el pH sanguíneo y la hemoglobina, tal como fue descrito por Jones (22) y Bhambhani et al. (3). El volumen sistólico fue calculado a partir del cociente del Q y la HR, y la $(a-v) \text{O}_2$ diff fue calculada a partir del cociente del VO_2 y el Q (3).

Una revisión de Marks et al. (30) acerca de la validez y confiabilidad del gasto cardíaco medido por la respiración de CO_2 reportó un coeficiente de validez que estuvo entre 0,86-0,96, con respecto al método directo de Fick. Bhambhani et al. (3), usando el mismo método presentado en este estudio, encontraron un coeficiente de confiabilidad de 0,89. En el presente

estudio fueron encontrados valores similares. EL VO_2 máx. y el Q fueron estudiados durante la misma sesión de ejercicio para reducir el número de tests de ejercicio que realizaban los sujetos. Teniendo solo un test de ejercicio de 10-14 minutos de duración, la posibilidad de que ocurriera un efecto de entrenamiento de la evaluación para el grupo CT fue mínima.

Análisis Estadísticos

Todos los análisis fueron realizados usando el programa SPSS-PC (SPSS Inc. Chicago, IL) para computadoras IBM (IBM Canada, Markham, ON), estando todos los valores expresados en media \pm DS. Un análisis de varianza factorial 2 x 4 (ANOVA) con mediciones repetidas fue usado para estudiar la diferencia entre grupos a través del tiempo. Fue usado un análisis pos hoc de Tukey para identificar las diferencias significativas entre valores medios. La significancia fue establecida a un nivel $p \leq 0,05$. Los análisis estadísticos revelaron que no hubo violaciones a las suposiciones del ANOVA (i.e., datos normalmente distribuidos, homogeneidad de la varianza).

RESULTADOS

La masa corporal media (kg) y la composición corporal (SOS, mm) no cambiaron a través de los 15 días tanto para el grupo CT o MT. La interrupción del entrenamiento no produjo ningún cambio significativo después de 5 días en el VO_2 máx. ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) promedio, pero si ocurrió una disminución significativa de 7,8% ($3,8 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) después de 10 días en el grupo CT (Figura 2). También ocurrió una interacción significativa entre los grupos para el VO_2 máx., y después de 15 días de CT, el VO_2 máx. todavía era menor que el del grupo MT ($48,8 \pm 1,3$ vs. $55,0 \pm 1,5 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente, Figura 2). El grupo MT también presentó un incremento en el VO_2 máx. a través de la duración del estudio (Figura 2).

Tanto para el grupo CT como MT, no fueron encontrados cambios significativos desde el día 0 al 5, 10 y 15 para el Q máx. (Figura 3), SV máx. (Figura 4), HR máx. (Figura 5), y (a-v) O_2 diff máxima (Figura 6). Estas variables, incluyendo la concentración plasmática (Figura 7), no cambiaron significativamente a través del período de 15 días para ninguno de los grupos.

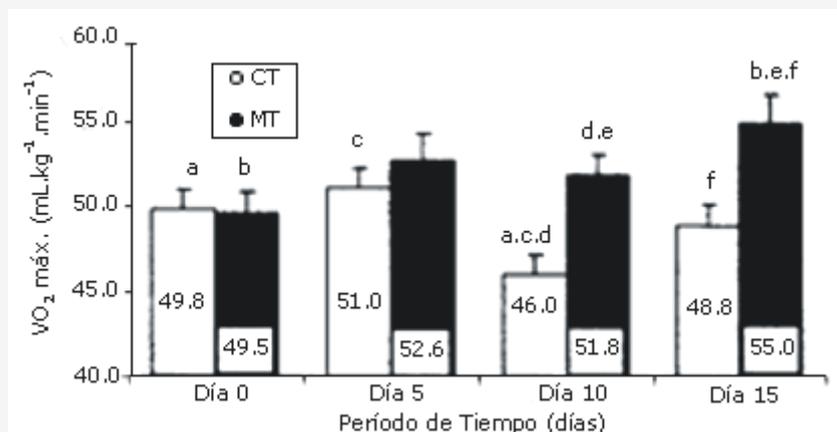


Figura 2. Máximo consumo de oxígeno ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) promedio (DS) para los grupos de interrupción del entrenamiento (CT) y mantenimiento del entrenamiento (MT) en los días 0, 5, 10 y 15. Las letras que aparecen por pares (a, a; b, b; c, c; d, d; e, e; f, f) indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

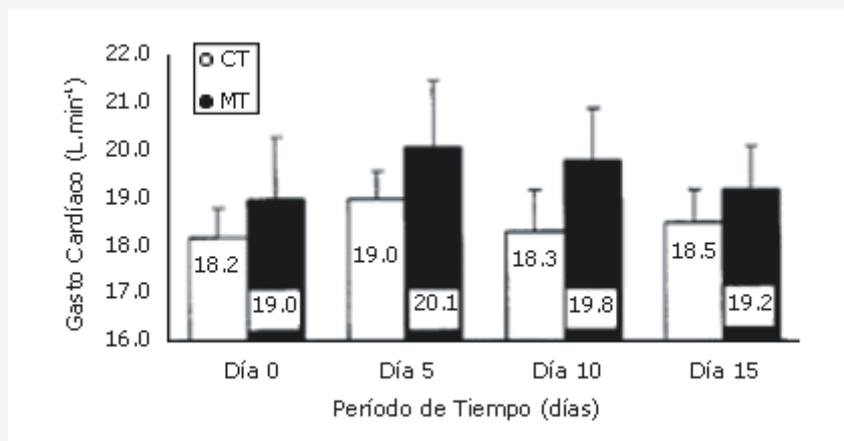


Figura 3. Gasto cardíaco (L.min⁻¹) máximo promedio (DS) para los grupos de interrupción del entrenamiento (CT) y mantenimiento del entrenamiento (MT) en los días 0, 5, 10 y 15.

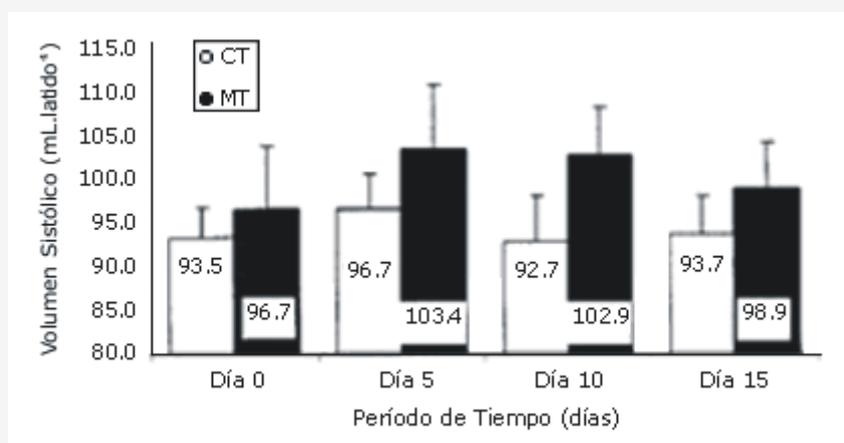


Figura 4. Volumen sistólico (mL.latido⁻¹) máximo promedio (DS) para los grupos de interrupción del entrenamiento (CT) y mantenimiento del entrenamiento (MT) en los días 0, 5, 10 y 15.

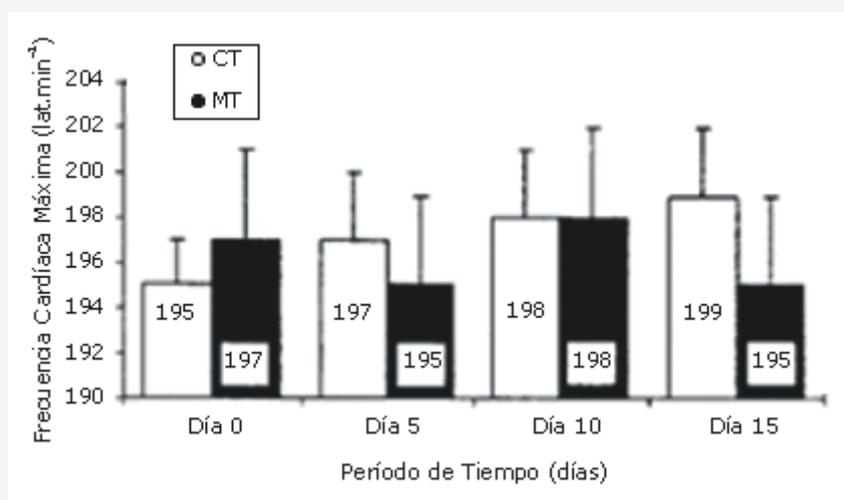


Figura 5. Frecuencia cardíaca (lat.min⁻¹) máxima promedio (DS) para los grupos de interrupción del entrenamiento (CT) y

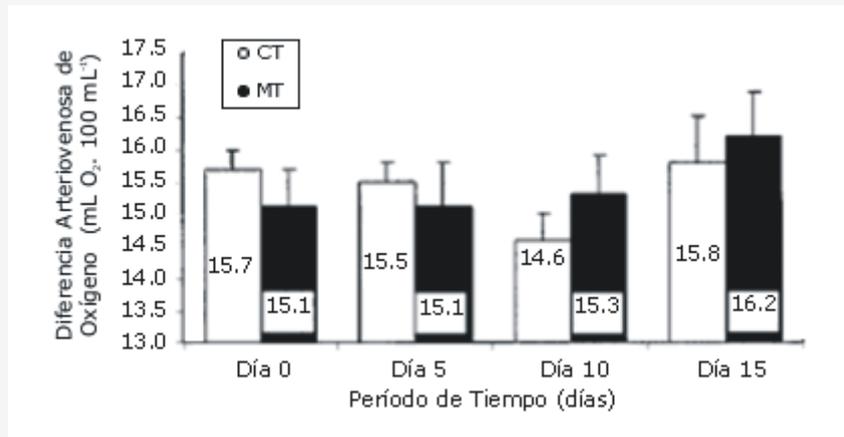


Figura 6. Diferencia arteriovenosa de oxígeno (mL O₂ · 100 mL⁻¹) máxima promedio (DS) para los grupos de interrupción del entrenamiento (CT) y mantenimiento del entrenamiento (MT) en los días 0, 5, 10 y 15.

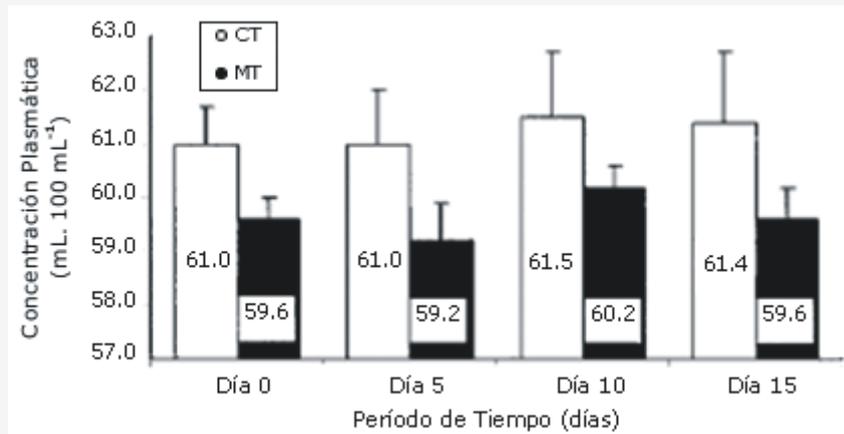


Figura 7. Concentración plasmática (mL · 100 mL⁻¹) promedio (DS) para los grupos de interrupción del entrenamiento (CT) y mantenimiento del entrenamiento (MT) en los días 0, 5, 10 y 15.

Los tiempos de rendimiento promedio de la carrera fueron significativamente más lentos luego de 15 días de ausencia de entrenamiento en el grupo CT (541,5±9,4 a 563,0±6,9 segundos). Este tiempo de rendimiento de carrera un 4% más lento coincidió con una disminución del 7,8% en el VO₂ máx. (mL.kg⁻¹.min⁻¹). El tiempo de carrera en el grupo MT no fue diferente después del estudio (553,7±15,2 a 551,5±12,8 segundos).

DISCUSION

Para el presente estudio, corredoras de media distancia de edad universitaria participaron para investigar los efectos de la interrupción del entrenamiento para 15 días sobre: (a) la magnitud de cambio en el VO₂ máx. y las variables fisiológicas que contribuyen al VO₂ máx.; (b) si las disminuciones en estas variables ocurrieron central o periféricamente, y (c) como afecta la interrupción del entrenamiento al rendimiento de carrera (2400 m) y si cualquier cambio en las tareas de entrenamiento estuvo asociado con cambios en las variables fisiológicas estudiadas. Los resultados demostraron que

ocurrieron disminuciones significativas en el VO_2 máx. (7,8%) dentro de 10 días y en el rendimiento de carrera (4%) después de 15 días de interrupción del entrenamiento.

Las investigaciones han estudiado los efectos de la interrupción del entrenamiento sobre variables fisiológicas relacionadas al VO_2 máx. y al rendimiento. La interrupción del entrenamiento a corto plazo (i.e., 2-3 semanas) resulta en disminuciones en el VO_2 máx. y las variables fisiológicas que contribuyen al VO_2 máx. La mayor parte de los trabajos han estudiado a corredores entrenados en resistencia (media y larga distancia), ciclistas, y nadadores con bases de entrenamiento en un intervalo de 2 a 10 años y frecuentemente unen datos de diferentes eventos atléticos y sexos (8-10, 15-20, 31, 38, 48). Sin embargo, pocos estudios han investigado los efectos de la interrupción del entrenamiento a corto plazo (menos de 3 semanas) en corredoras competitivas (32, 44).

El presente estudio investigó a corredoras de media distancia con 2-6 años de experiencia que tenían valores de VO_2 máx. promedio en un intervalo de 46,0 a 55,0 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (Figura 2). Luego del período de interrupción del entrenamiento de 15 días no ocurrieron cambios significativos en la masa corporal (kg) y composición corporal (SOS, mm), promedio. Sin embargo, el VO_2 máx. disminuyó significativamente ($p \leq 0,05$) en 3,8 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ (disminución de 7,8%) en el día 10 (a pesar de que no fueron observados cambios en la composición corporal) en el grupo CT y todavía era significativamente menor que los valores del grupo MT en el día 15 (Figura 2). Houmard et al. (20) encontraron resultados similares cuando estudiaron datos unidos de hombres ($n=9$) y mujeres ($n=3$) del mismo grupo de edad con 2-8 años de experiencia de entrenamiento.

Los valores iniciales de VO_2 máx. fueron mayores que en el presente estudio ($61,6 \pm 2,0$ vs. $49,8 \pm 1,1$ $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente, lo cual se debió al mayor VO_2 máx. de los sujetos de sexo masculino), pero disminuyeron significativamente en aproximadamente el mismo valor relativo (2,9 vs. 3,8 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente) tal como en el presente estudio luego de 14 días de ausencia de entrenamiento. Coyle et al. (10) también unieron los resultados de 6 atletas de sexo masculino y 1 de sexo femenino y encontraron una disminución en el VO_2 máx. de aproximadamente 5 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ después de 12 días de ausencia de entrenamiento. Cuando los hombres y mujeres que eran sujetos fueron analizados en forma separada, los resultados fueron similares a los del presente estudio (i.e., el valor más alto para la mujer fue de 54 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ vs. 56,3 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ en el presente estudio). Moore et al. (32) también estudiaron un grupo combinado de sujetos (4 hombres, 4 mujeres) haciendo que los resultados sean difíciles de comparar con los del presente estudio. Sin embargo, las mujeres que eran sujetos de este estudio (sujetos entrenados y moderadamente entrenados, previamente sedentarios, combinados) presentaron una disminución de 6,5% en el VO_2 máx. ($p > 0,05$) después de 3 semanas de desentrenamiento. Drinkwater y Horvath (13) encontraron disminuciones de aproximadamente 7 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ en atletas (14-17 días) después de 3 meses de interrupción del entrenamiento y así estos resultados no se pueden comparar con los presentes hallazgos. Su mayor disminución muy probablemente se debe a la mayor duración de la interrupción del ejercicio. Sin embargo, Smith y Stransky (44) encontraron que el VO_2 máx. se acercó a valores pre-entrenamiento en mujeres de 18-25 años después de 3 semanas de interrupción del entrenamiento. Así, los presentes resultados son consistentes con el estudio arriba mencionado.

Existen algunas discrepancias acerca de cómo ocurren las disminuciones después del inicio de la interrupción del entrenamiento. Se encuentran resultados equívocos especialmente cuando el análisis se centra sobre atletas bien entrenados (una base de entrenamiento de 2-10 años) que interrumpen su entrenamiento por 1-2 semanas (1-15 días). En el presente estudio aunque el grupo CT presentó una disminución significativa en el VO_2 máx. relativo después de 10 días, la interrupción del entrenamiento no resultó en ningún cambio significativo posterior después de 15 días en las variables fisiológicas que contribuyen al VO_2 máx., i.e., Q, SV, HR máx., PC y (a-v) O_2 diff. Ha sido documentado que se encuentran disminuciones rápidas en el VO_2 máx. en los sujetos de sexo masculino con antecedentes de entrenamiento extensos (> 2 años) y altos valores iniciales antes de la interrupción del entrenamiento. Se ha observado que en los sujetos de sexo masculino con valores de VO_2 máx. mayores a 63,4 $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, la disminución porcentual en el VO_2 máx. está inversamente relacionada a la cantidad de inactividad, $r=0,93$ (10). Coyle et al. (10) también encontraron cambios significativos en el VO_2 máx., SV, y HR máx. luego de 12 días de ausencia de entrenamiento en sus sujetos de sexo masculino. Ellos sugirieron que las disminuciones en SV y (a-v) O_2 diff contribuyeron a las disminuciones en el VO_2 máx. halladas luego de la interrupción del entrenamiento. La falta de cambios significativos en estas variables que contribuyen al VO_2 máx. en el presente estudio fue sorprendente. Sin embargo, los sujetos de sexo femenino en el presente estudio tenían valores relativamente bajos, en comparación con los sujetos de sexo masculino en el estudio de Coyle et al. (10). Esto podría explicar, en parte, la falta de cambio significativo en las variables fisiológicas que contribuyen al VO_2 máx., pero esta hipótesis garantiza la realización de futuras investigaciones en atletas de sexo femenino.

La concentración plasmática (Figura 7) no fue diferente después de la interrupción del entrenamiento. La disponibilidad de literatura acerca de la mujer corredora de distancia no incluye mediciones de la concentración o volumen plasmático. Sin embargo, han sido documentados cambios significativos en la PC en sujetos de sexo masculino (8, 11, 19, 20). Los cálculos de PC para el presente estudio fueron los mismos que los de los estudios arriba mencionados (12), por lo que la

discrepancia entre los resultados es desconocida en este momento, pero muy probablemente está relacionada a la diferencia fisiológica entre los sujetos (mujeres vs. hombres).

Con respecto a los cambios de corta duración, el presente estudio no encontró cambios significativos en las variables medidas después de solo 5 días de interrupción del entrenamiento. Cuando se estudiaron los efectos del *tapering* o puesta a punto sobre el rendimiento de ciclistas entrenados en resistencia, un grupo control interrumpió el entrenamiento por 4 días, y no fueron hallados cambios significativos en el rendimiento en el umbral ventilatorio (34). Los estudios de Cullinane et al. (11) y Koutedakis et al. (28) sugirieron que en 5 días de interrupción del entrenamiento, es evidente un cambio pequeño o ningún cambio en las variables cardiovasculares centrales. Sin embargo, si la interrupción del entrenamiento continua, por ejemplo, hasta 10 días, las variables fisiológicas como el VO_2 máx., y aquellas variables que contribuyen al mismo están en riesgo de sufrir una disminución. La adaptación a la falta de un estímulo de entrenamiento finalmente resulta en disminuciones en la función fisiológica a expensas del rendimiento de los atletas. Así, el presente estudio y la literatura de apoyo al mismo sugieren que la función fisiológica comienza a declinar dentro de los 10 días de la interrupción del entrenamiento, y la magnitud de la disminución en el VO_2 máx. es de aproximadamente $4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (6, 10). Aunque el VO_2 máx. pareció incrementarse entre los días 10 y 15 en el grupo CT (Figura 2), este incremento no fue significativo. Sin embargo, el grupo MT presentó un incremento en el VO_2 máx. desde la condición inicial hasta el día 15. Este incremento es difícil de explicar en este momento, debido a que este grupo estuvo estrictamente manteniendo su nivel de entrenamiento. Es posible que debido a que esta fue la última serie de evaluación y estas mujeres sujetos sabían que el estudio de entrenamiento había terminado, esto puede haber proporcionado un estímulo fisiológico para completar su test final con un esfuerzo máximo. De manera alternativa, esto puede ser atribuido a variabilidad biológica (25).

Las variables centrales y periféricas que contribuyen al VO_2 máx. medido en este estudio son comparables a los valores de los sujetos de sexo femenino en la literatura. Los valores medios iniciales tanto para el grupo CT como MT en este estudio, no fueron significativamente diferentes, $49,8\pm 1,1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y $49,5\pm 1,2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente. El valor máximo más alto en este estudio fue de $56,3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y es comparable al de las atletas de resistencia en la literatura (2, 10, 32). El intervalo de valores para las variables fisiológicas centrales (Q, SV, HR máx.) fue también comparable al de otros estudios en la literatura (2, 27, 46). El único valor periférico calculado en este estudio fue la (a-v) O_2 diff, y también estuvo dentro de los intervalos reportados en la literatura, $14,3\text{-}15,4 \text{ mL}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ (Figura 6) (10, 27, 46). Tal como fue previamente mencionado, luego de 10 días de interrupción del entrenamiento, el VO_2 máx. disminuyó aproximadamente $3,8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, y debido al efecto de interacción entre grupos, todavía era significativamente diferente en el día 15 (Figura 2). Aunque no fueron encontrados cambios significativos para ninguna de las variables centrales que contribuyen al VO_2 máx. luego de 15 días de interrupción del entrenamiento, el único cambio asociado con la disminución en el VO_2 máx. fue un cambio concurrente (7,5%, $p<0,05$) en la (a-v) O_2 diff (Figura 6).

Las variables periféricas que se ha hallado que disminuyen como resultado de la interrupción del entrenamiento son las enzimas mitocondriales del músculo esquelético. Aunque las adaptaciones de las enzimas oxidativas están correlacionadas tanto a incrementos como disminuciones del VO_2 máx., el mismo no depende enteramente de estas adaptaciones (21). Ha sido encontrado que la capacidad oxidativa del músculo esquelético disminuye dentro de las primeras 2 semanas de interrupción del entrenamiento (5, 9, 10, 17, 21, 33, 35). Coyle et al. (10) estudió la actividad de la citrato sintetasa y la succinato deshidrogenasa a los 0, 6, 12, 21, 56 y 86 días de ausencia de entrenamiento. Ellos observaron disminuciones significativas de ambas enzimas a los 12 días de ausencia de entrenamiento. Una disminución de 40% en la actividad de las enzimas mitocondriales coincidió con una disminución de 7% en la (a-v) O_2 diff y de 14% en el VO_2 máx., lo cual sugiere que la disminución asociada en el VO_2 máx. fue atribuible a la disminución en la actividad de las enzimas oxidativas. Costill et al. (6) encontraron que la capacidad respiratoria del músculo deltoides en nadadores cayó en un 50% en la primera semana de interrupción del entrenamiento. Moore et al. (32) también encontraron que la actividad de la citrato sintetasa cayó con 3 semanas de interrupción del entrenamiento, sin embargo, estas disminuciones no estuvieron relacionadas a cambios en el VO_2 máx. Las comparaciones entre los valores obtenidos en el estudio de Costill et al. (10), las del presente estudio, y las de Costill et al. (6), implican que esta disminución en el VO_2 máx. a los 10 días de interrupción del entrenamiento se debe muy probablemente en parte a las disminuciones en la capacidad oxidativa de los músculos. También es especulativo establecer que la disminución significativa de 7,8% ($p\leq 0,05$) en el VO_2 máx. está posiblemente relacionada al porcentaje de cambio similar (7,5%) en (a-v) O_2 diff ($p<0,05$), pero están garantizadas más investigaciones en mujeres atletas, para clarificar esta hipótesis.

La capacidad de retener altos niveles de (a-v) O_2 diff y capacidad muscular oxidativa por encima de la de los controles sedentarios parece ser una consecuencia del entrenamiento a largo plazo (años) (10, 11, 20). Los sujetos en el presente estudio tenían una experiencia de entrenamiento similar a la de los sujetos de los estudios citados en la literatura. La interrupción del entrenamiento parece afectar periféricamente a los sujetos en este estudio, sin embargo, se esperaba que ocurrieran cambios centrales a partir de la evidencia presentada en la literatura.

Aunque hay mucha literatura acerca de los efectos de la interrupción del entrenamiento sobre la potencia aeróbica máxima

y las variables fisiológicas que contribuyen para que esto ocurra, los efectos de cambio sobre el rendimiento deportivo real son solo supuestos. Para nuestro conocimiento solo un número limitado de estudios ha demostrado que la fuerza (18) y potencia (38) muscular y el rendimiento en una prueba por tiempo o contrarreloj (20) está comprometido con la interrupción del entrenamiento, pero ningún estudio fue realizado sobre el rendimiento específico del deporte en corredoras de media distancia. Las mediciones de rendimiento también han sido analizadas en la forma de un tiempo de carrera hasta el agotamiento en cinta rodante, y tales estudios han encontrado que con la interrupción del entrenamiento, el tiempo hasta el agotamiento disminuye, indicando una disminución en el rendimiento (8, 20, 21, 29, 32). Cada trabajo estudió atletas de sexo masculino entrenados en resistencia en los cuales la mayor parte de las disminuciones en el rendimiento estuvieron asociadas con una caída en el VO_2 máx. En el presente estudio, fue realizada una carrera de 2400 m ($n=13$), antes y después de 15 días de interrupción del entrenamiento. El tiempo de carrera del grupo MT no cambió ($553,7 \pm 15,2$ hasta $551,5 \pm 12,8$ segundos), pero el grupo CT registró un tiempo de rendimiento significativamente menor ($541,5 \pm 9,4$ hasta $563,0 \pm 6,9$ segundos). La disminución en el rendimiento en este estudio ocurrió concomitantemente con una disminución en el VO_2 máx. Si el VO_2 máx. es indicativo del rendimiento tal como lo describe el tiempo de carrera, entonces estos resultados sugieren que el rendimiento va a disminuir en un período tan temprano como 10 días luego de la interrupción del entrenamiento en corredoras de media distancia. Houmard et al. (20) encontraron que 14 días de interrupción del entrenamiento resultaron en disminuciones en el VO_2 máx. y en el tiempo hasta el agotamiento en un test en cinta rodante, en corredores de distancia, tanto hombres ($n=9$) como mujeres ($n=3$). Coyle et al. (8) encontraron resultados similares en un grupo de ciclistas de resistencia luego de 2-4 semanas de interrupción del entrenamiento. En el presente estudio, no fueron encontrados cambios en ninguna de las variables medidas luego de 5 días de interrupción del entrenamiento. Estos resultados y aquellos citados en la literatura, sugieren que este tipo de rendimiento no es afectado por hasta 5 días de interrupción del entrenamiento.

En conclusión, el presente estudio mostró que el máximo consumo de oxígeno disminuyó significativamente en $3,8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en el día 10 de interrupción del entrenamiento en un grupo de corredoras de media distancia. No fueron encontrados cambios significativos en las variables fisiológicas que contribuyen al VO_2 máx. (i.e., Q, SV, HR máx.). Fue encontrada una disminución significativa en el rendimiento (i.e., tiempo de carrera en 2400 m) luego de 15 días de interrupción del entrenamiento. Esta disminución ocurrió concomitantemente con disminuciones en el VO_2 máx. Estos resultados también proporcionan datos transversales para apoyar que las corredoras de media distancia de edad universitaria y nivel competitivo responden de manera similar que los corredores de sexo masculino a un período de interrupción del entrenamiento de 2 semanas.

Aplicaciones Prácticas

Los resultados de este estudio demuestran claramente que las corredoras de media distancia podrían experimentar cortos períodos de interrupción del entrenamiento sin experimentar efectos perjudiciales desde una perspectiva fisiológica. Esto significa que ellas pueden realizar de manera segura interrupciones por períodos cortos (hasta 5 días) para la rehabilitación de lesiones, viajes a y desde competiciones, y períodos de enfermedad menores. Sin embargo, en 10 días de interrupción del entrenamiento, las adaptaciones fisiológicas se pierden, y en 15 días, el rendimiento puede estar comprometido.

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a todos los sujetos que participaron en este estudio, así como a sus técnicos por permitirles participar. El *Sport Fitness Centre* y un subsidio de *President's Research Fund* en la Universidad de Victoria dieron apoyo económico a este proyecto.

Dirección Para Envío de Correspondencia

Howard A. Wenger, correo electrónico: hwenger@uvic.ca

REFERENCIAS

1. American College of Sports Medicine (1995). ACSMs Guidelines for Exercise Testing and Prescription (5th ed) . *W.L. Kenney, ed. Baltimore: Williams & Wilkins*
2. Astrand, P.O., T.E. Cuddy, B. Saltin, and L. Stenberg (1964). Cardiac output during submaximal and maximal work. *J. Appl. Physiol.* 19:268-274
3. Bhambhani, Y.N., S. Norris, and G.J. Bell (1994). Prediction of stroke volume from oxygen pulse measurements in untrained and trained men. *Can. J. Appl. Physiol.* 19:49-59

4. Blomqvist, C.G (1983). Cardiovascular adaptations to physical training. *Ann. Rev. Physiol.* 45:169-189
5. Chi, M.M., C.S. Hintz, E.F. Coyle, W.H. Martin, J.L. Ivy, P.M. Nemmeth, J.O. Holloszy, and O.H. Lowry (1983). Effects of detraining on enzymes of energy metabolism in individual human muscle fibers. *Am. J. Physiol.* 244:C276-C287
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. *Sci. Sports Exerc.* 17:339-343
7. Costill, D.L., M.G. Flynn, J.P. Kirwin, J. Houmard, J.B. Mitchell, R. Thomas, and S.H. Parks (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20:249-254
8. Coyle, E.F., M.K. Hemmert, and A.R. Coggan (1986). Effects of detraining on the cardiovascular responses to exercise: Role of blood volume. *J. Appl. Physiol.* 60:95-99
9. Coyle, E.F., W.H. Martin III, S.A. Bloomfield, O.H. Lowry, and J.O. Holloszy (1985). Effects of detraining responses to submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 59:853-859
10. Coyle, E.F., W.H. Martin III, D. Sinacore, M. Joyner, J.M. Hagberg, and J.O. Holloszy (1984). Time course changes of loss of adaptations after stopping prolonged intense exercise training. *J. Appl. Physiol.* 57:1857-1846
11. Cullinane, E.M., S.P. Sady, L. Vadeboncoeur, M. Burke, and P.D. Thompson (1986). Cardiac size and VO₂max do not decrease after short-term exercise cessation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18:420-424
12. Dill, D.B., and D.L. Costill (1974). Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma and red cells in dehydration. *J. Appl. Physiol.* 37:247-248
13. Drinkwater, B.L., and S.M. Horvath (1972). Detraining effects on young women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 4:91-95
14. Ekblom, B., P.O. Astrand, B. Saltin, L. Stenberg, and B. Wallstrom (1968). Effect of training on circulatory response to exercise. *J. Appl. Physiol.* 24:518-528
15. Fringer, M.N., and G.A. Stull (1974). Changes in cardiorespiratory parameters during periods of training and detraining in young adult women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 6:20-25
16. Green, H.J., S. Jones, M. Ball-Burnett, E. Smith, D. Livesey, and B.W. Farrant (1991). Early muscular and metabolic adaptations to prolonged exercise training in man. *J. Appl. Physiol.* 70:2032-2038
17. Henriksson, L., and J.S. Reitman (1977). Time course changes in human muscle succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activities and maximal oxygen uptake with physical activity and inactivity. *Acta Physiol. Scand.* 99:91-97
18. Hortobagyi, T., J.A. Houmard, J.R. Steveson, D.D. Fraser, R.A. Johns, and R.G. Israel (1993). The effects of detraining on power athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:929-935
19. Houmard, J.A., D.L. Costill, L. Mitchell, S.H. Park, R.C. Hickner, and J.N. Roemmich (1990). Reduced training maintains performance in distance runners. *Int. J. Sports Med.* 11:46-52
20. Houmard, J.A., T. Hortobagyi, R.A. Johns, N.J. Bruno, C.C. Nute, M.H. Shinebarger, and L.W. Wellborn (1992). Effect of short-term training cessation on performance measures in distance runners. *Int. J. Sports Med.* 13:572-576
21. 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
22. Jones, N.L (1988). *Clinical Exercise Testing* (3rd ed). Toronto, ON: W.B. Saunders Company
23. Kanstrup, I.L., and B. Ekblom (1984). Blood volume and hemoglobin concentration as determinants of maximal aerobic power. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16:256-262
24. Karpman, V.L (1983). Optimization mechanisms of cardiorespiration system at maximal exercise in athletes. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 23:393-398
25. Katch, V.L., S.S. Sady, and P. Freedson (1982). Biological variability in maximum aerobic power. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14:21-25
26. Klausen, K., L.B. Anderson, 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
27. Kollais, J., H.L. Barlett, J. Mendez, and B. Franklin (1978). Hemodynamic responses of well-trained women athletes to graded treadmill exercise. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 18:365-372
28. Koutedakis, Y., R. Budgett, and L. Faulmann (1990). Rest in underperforming elite TW competitors. *Br. J. Sports Med.* 24:248-252
29. Madsen, K., P.B. Pedersen, M.S. Djurhuus, and N. Klitgaard (1993). Effects of detraining on endurance capacity and metabolic changes during prolonged exhaustive exercise. *J. Appl. Physiol.* 75:1444-1451
30. Marks, C., V.L. Katch, A. Rocchini, and A. Rosenthal (1985). Validity and reliability of cardiac output by CO₂ rebreathing. *Sports Med.* 2:432-446
31. McConell, G.K., D.L. Costill, J. Widrick, M.S. Hickey, H. Tanaka, and P.B. Gastin (1993). Reduced training volume and intensity maintain aerobic capacity but not performance in distance runners. *Int. J. Sports Med.* 14:33-37
32. Moore, R.L., E.M. Thacker, G.A. Kelley, T. Musch, L. Sinoway, V.L. Foster, and A.L. Dickson (1987). Effect of training/detraining on submaximal exercise responses in humans. *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. *Med.* 30:79-87

Cita Original

Doherty, R.A., J.P. Neary, Y.N. Bhambhani, and H.A. Wenger. Fifteen-day cessation of training on selected physiological and performance variables in women runners. *J. Strength Cond. Res.*; 17 (3): 599-607, 2003