

Article

Efecto del Entrenamiento sobre La Capacidad Anaeróbica (I)

Effect of Training on The Anaerobic Capacity(I)

Jon Ingulf Medbø y Simone Burgers

Departamento de Fisiología, Instituto Nacional de Terapia Ocupacional, Oslo (Noruega).

RESUMEN

El ejercicio intenso de corta duración depende en gran medida de la energía de las fuentes anaeróbicas, y los sujetos con éxito en los tipos anaeróbicos de deportes, pueden tener, por tanto, una capacidad anaeróbica mayor y ser capaces de liberar energía en una mayor proporción. Los rendimientos en estos tipos de deportes mejoran con el entrenamiento, lo que sugiere que la capacidad anaeróbica es entrenable. El propósito de esta investigación era estudiar el efecto del entrenamiento en la capacidad anaeróbica. Por tanto determinamos la capacidad anaeróbica, expresada como el máximo déficit acumulado de O₂ durante la carrera en una cinta andadora, de jóvenes sin entrenamiento, entrenados en resistencia, y entrenados en sprint. Además, siete mujeres y cinco hombres se entrenaron durante 6 semanas, y su capacidad anaeróbica se comparó antes y después del período de entrenamiento. No existían diferencias en la capacidad anaeróbica entre los sujetos sin entrenamiento y los entrenados en resistencia, mientras que la capacidad anaeróbica de los velocistas era un 30% mayor ($P < 0.001$). La capacidad anaeróbica de las mujeres era un 17% menor que la de los hombres ($P = 0.03$). Seis semanas de entrenamiento aumentaron la capacidad anaeróbica en un 10%. Concluimos que la capacidad anaeróbica varía significativamente entre los sujetos y que puede mejorarse dentro de las 6 semanas. Además, había una estrecha relación entre una gran capacidad anaeróbica y una gran tasa máxima de descarga de energía anaeróbica.

Palabras Clave: concentración de lactato en la sangre, estimaciones de borg, interval training, diferencias de sexo, sprint.

ABSTRACT

Intense exercise of short duration is heavily dependent on energy from anaerobic sources, and subjects successful in anaerobic types of sports may therefore have a larger anaerobic capacity and be able to release energy at a higher rate. Performances in these kinds of sports are improved by training, suggesting that the anaerobic capacity is trainable. The purpose of this investigation was to study the effect of training on anaerobic capacity. We therefore determined the anaerobic capacity, expressed as the maximal accumulated O₂ deficit during treadmill running, of untrained, endurance-trained, and sprint-trained young men. In addition, seven women and five men trained for 6 wk, and their anaerobic capacity was compared before and after the training period. There was no difference in anaerobic capacity between the untrained and endurance-trained subjects, whereas the sprinters' anaerobic capacity was 30% larger ($P < 0.001$). The women's anaerobic capacity was 17% less than the men's ($P = 0.03$). Six weeks of training increased the anaerobic capacity by 10%. We conclude that the anaerobic capacity varies significantly between subjects and that it can be improved within 6 wk. Moreover, there was a close relationship between a high anaerobic capacity and a high peak rate of anaerobic energy release.

Keywords: blood lactate concentration, borg ratings, interval training, sex differences, sprint

INTRODUCCIÓN

El ejercicio intenso que dura pocos minutos depende en gran medida de la energía liberada tanto de procesos aeróbicos como de procesos anaeróbicos (16,18). Una gran capacidad anaeróbica es, por consiguiente, beneficiosa para este tipo de ejercicio. Es una experiencia corriente en varios deportes, que una aplicación apropiada de tipos de entrenamiento anaeróbico incrementa el rendimiento en el intenso ejercicio de corta duración, y después de 8 semanas de entrenamiento el músculo puede producir más lactato durante un sprint de 30 s (19). El entrenamiento puede aumentar tanto la potencia máxima, como la media durante una prueba de Wingate de 30 s (2,19). Sin embargo, también se han indicado efectos insignificantes del entrenamiento (10). Por eso, la capacidad anaeróbica se puede entrenar, pero los resultados contradictorios obtenidos en los estudios citados anteriormente sugieren que se deben realizar más investigaciones. En este artículo, aprovechamos un método recientemente desarrollado (16) para investigar la entrenabilidad de la capacidad anaeróbica (la cantidad máxima de energía disponible a partir de fuentes anaeróbicas).

Si el entrenamiento puede incrementar la capacidad anaeróbica, esperamos que los sujetos entrenados en velocidad, que realizan regularmente tipos de entrenamiento anaeróbico, logren una mayor capacidad anaeróbica que los sujetos que sin entrenamiento. Por tanto, emprendimos una investigación transversal, en la que se determinó la capacidad anaeróbica de sujetos no entrenados, entrenados en resistencia, y entrenados en velocidad. Además, realizamos un estudio longitudinal para examinar si 6 semanas de entrenamiento podrían incrementar la capacidad anaeróbica.

Pueden bastar 2 minutos para agotar la capacidad anaeróbica (16), y en este agotamiento la concentración de lactato en el músculo ronda los 30 mmol·kg⁻¹ de masa húmeda (21). Esto corresponde a una tasa media de formación de lactato de 0.25 mmol·s⁻¹·kg⁻¹ del peso muscular húmedo. Sin embargo, el músculo humano puede producir lactato al menos 2-3 veces más rápido (11,19) y, dado que la producción de lactato es el principal componente de la capacidad anaeróbica (21), la máxima tasa de energía anaeróbica liberada no puede mantenerse durante más de 2 minutos. Por tanto se supone que una elevada tasa de producción de lactato y una gran capacidad anaeróbica pueden ser dos entidades diferentes (20). Si esto es correcto, sería posible aumentar la capacidad anaeróbica con el entrenamiento, manteniendo inalterada la máxima tasa de energía liberada. Examinábamos primero esto, determinando la energía anaeróbica liberada tanto durante 30 s como durante 2-3 min de carrera exhaustiva para sujetos con diferentes niveles de entrenamiento. Además, dos grupos de sujetos seguían dos programas de entrenamiento diseñados para mejorar la máxima tasa de energía anaeróbica liberada o de la capacidad anaeróbica.

MÉTODOS

Este estudio se compone de dos partes. En la serie 1, una investigación transversal, (ver más adelante), comparamos la capacidad anaeróbica entre sujetos con diferentes niveles de entrenamiento. En la serie 2, un estudio longitudinal de 6 semanas, examinamos el efecto del entrenamiento sobre la capacidad anaeróbica.

Sujetos

En la serie 1 participaron seis varones sin entrenamiento, seis entrenados en resistencia, y ocho entrenados en velocidad (Tabla 1). Los tres grupos diferían en el máximo consumo de O₂ ($P < 0.001$). Los sujetos no entrenados no practicaban deportes, pero estaban cumpliendo su servicio militar, en el que hacían diversos ejercicios físicos que implicaban la resistencia, y su potencia aeróbica era normal para varones nórdicos sin entrenamiento con 15-30 años (8). Los sujetos del grupo "entrenados en resistencia" eran esquiadores de campo a través o corredores de fondo, y habían entrenado normalmente durante 5 años o más. Su entrenamiento incluía "el interval training" aeróbico, además del entrenamiento de la carrera de fondo, comunes a todo entrenamiento moderno de resistencia. Sin embargo, ningún sujeto de los entrenados en resistencia tenía historial de haber realizado algún tipo de entrenamiento anaeróbico regular. Los sujetos entrenados en velocidad eran, principalmente, corredores de pista (400 m: 47-53 s; 800 m: 1,55 a 1,80 m). Ellos habían entrenado y competido regularmente durante varios años, y con una excepción, su entrenamiento incluía entrenamiento regular de la fuerza con pesas.

	Edad (años)	Estadura (m)	Peso (kg)	VO ₂ max (μmol·kg ⁻¹ ·s ⁻¹)
Serie 1				
Sin entrenamiento (N= 6)	20 ± 1 (18-27)	1.82 ± 0.04 (1.66-1.89)	76 ± 4 (64-87)	38.2 ± 0.8 (35.6-40.4)
Entrenados en resistencia (N = 6)	27 ± 3 (20-38)	1.80 ± 0.03 (1.70-1.90)	69 ± 3 (60-80)	51.8 ± 1.3 (47.1-56.5)
Entrenados en sprint (N = 8)	24 ± 1 (21-26)	1.85 ± 0.02 (1.80-1.97)	76 ± 3 (69-94)	48.1 ± 0.5 (45.3-49.9)
Serie 2				
Hombres (N = 5)	35 ± 4 (21-42)	1.81 ± 0.02 (1.75-1.85)	79 ± 4 (65-88)	38.0 ± 0.4 (37.0-38.9)
Mujeres (N=7)	29 ± 2 (23-40)	1.74 ± 0.02 (1.68-1.80)	66 ± 3 (57-80)	36.1 ± 1.8 (30.0-45.3)

Tabla 1. Principales características de los sujetos. Los datos son media ± SEM (rango).

Doce sujetos, cinco hombres y siete mujeres, tomaron parte en la serie 2 (Tabla 1). La mayoría de los sujetos en la serie 2 eran físicamente activos (ej., hacían footing 2-4 veces por semana), aunque ninguno de ellos había realizado ningún tipo de entrenamiento regular anaeróbico el último año. No había diferencias en ninguna característica entre los sujetos asignados a los Grupos A y B (ver más adelante). Las mujeres tenían menos estatura y peso que los hombres ($P = 0.02$).

Todos los sujetos eran informados sobre los experimentos antes de que dieran su consentimiento escrito para servir como sujetos.

Experimentos

Todos los experimentos se hicieron sobre una cinta andadora con motor y una inclinación de 6° (10.5%, serie 1) o 3° (5.2%, serie 2). La velocidad de la cinta andadora se variaba entre las diferentes carreras, aunque se mantenía constante durante cada carrera (pre-test y experimentos). Pintes de cada prueba los sujetos debían familiarizarse con la carrera en la cinta andadora (incluyendo incorporarse y abandonar la cinta a gran velocidad), con el equipo, y con los procedimientos experimentales. Todas las sesiones de experimentación y entrenamiento estaban precedidas por 10 min de calentamiento al 50% del máximo consumo de O₂.

Pre-tests. Cada sujeto realizó los siguientes procedimientos. El máximo consumo de O₂ se estableció estabilizando el criterio, usando un intermitente protocolo de la prueba (8,22). Además, el consumo de O₂ era medido de 8 a 10 min de carrera a velocidad constante dado que este valor representa un ritmo constante (6,12,14). Esto se realizó al menos para cuatro carreras a unas intensidades que requieren el 70-95% del máximo consumo de O₂. Estas mediciones se usaron para calcular el déficit acumulado de O₂ (ver más adelante).

Pruebas. La capacidad anaeróbica se determinó en todos los casos mediante el máximo déficit acumulado de O₂ durante una carrera de 2-3 min hasta el agotamiento. Además, el déficit acumulado de O₂ durante un sprint agotador de 30 s se determinó para todos los sujetos, excepto un sprinter en la serie 1, y el orden de estas dos determinaciones era aleatorio. En la serie 2, la máxima concentración post- ejercicio de lactato en la sangre se estableció después de ambos experimentos de muestras de sangres tomadas 1-2, 4, y 7 min después del ejercicio.

Los sujetos en la serie 2 fueron asignados al Grupo A (tres hombres, tres mujeres) o al Grupo B (dos hombres, cuatro mujeres), y en la medida de lo posible los sujetos estaban emparejados por edad, sexo, y nivel de entrenamiento. Ambos grupos entrenaron tres veces por semana.

Entrenamiento. Los sujetos del grupo A corrieron tres veces 2 min durante cada sesión de entrenamiento, y la velocidad se seleccionó individualmente de forma que el sujeto se agotaría en 3-3.5 min si corría continuamente a esta velocidad. Cada una de las tres turnos estaba separada por una pausa de 8 min, y los sujetos caminaron o trotaron lentamente durante la pausa dado que este tipo de recuperación elimina el lactato más rápido que el reposo completo (9). Este programa de entrenamiento se diseñó para generar una gran energía anaeróbica liberada a una cadencia baja, recalando por tanto la capacidad anaeróbica aunque no la máxima tasa de energía liberada.

Los sujetos del grupo B corrieron ocho veces 20 s durante cada sesión de entrenamiento, y la velocidad se seleccionó individualmente hasta causar el agotamiento en 35-40 s si corrían continuamente a esta velocidad. Cada sprint estaba separado por una pausa de 4.5-5 min, y los sujetos caminaron o trotaron durante la pausa. Este programa de entrenamiento se diseñó para recalcar un gran ritmo de energía liberada, entrenando así posiblemente la máxima cadencia de liberación de la energía anaeróbica. Las intensidades, duraciones, longitud de las pausas, y número de carreras para los Grupos A y B fueron establecidos por ensayo y error en los pre-tests de los sujetos separados. Las características de los dos programas de entrenamiento se indican en la Figura 2.

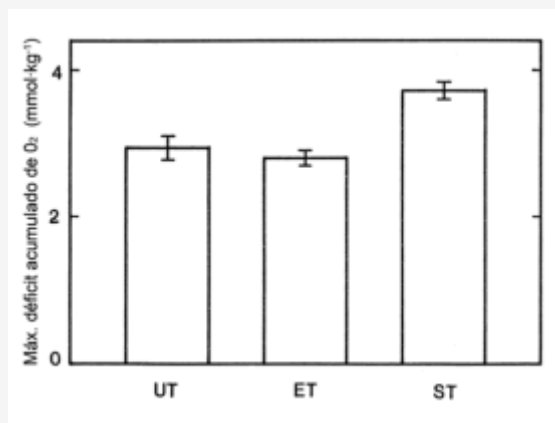


Figura 1. El máximo déficit acumulado de O₂ (capacidad anaeróbica) para los sujetos sin entrenamiento (UT; N = 6), los entrenados en la resistencia (ET; N = 6), y los entrenados en el sprint (ST; N = 8). Los valores son media ± SEM.

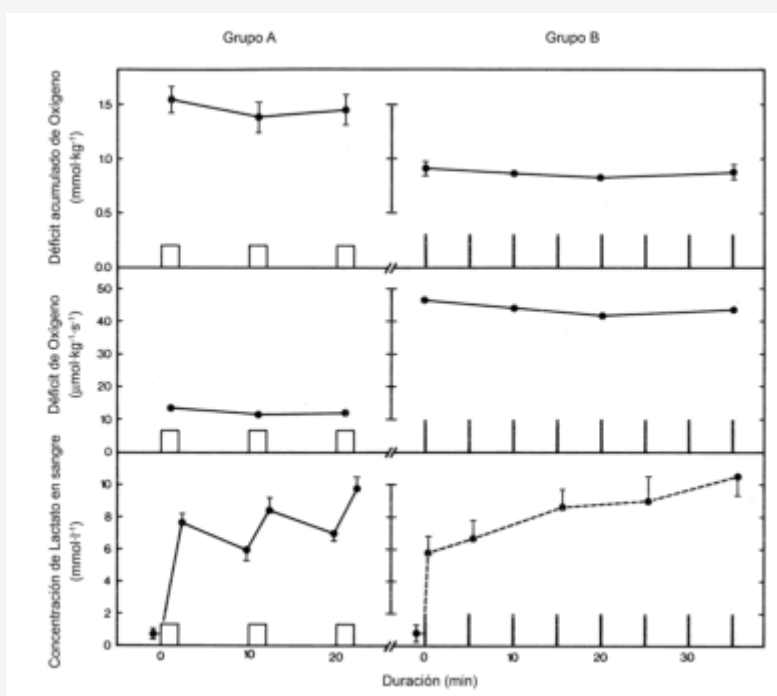


Figura 2. El déficit acumulado de O₂ (paneles superiores), el déficit de O₂ (paneles medios), y la concentración del lactato en la sangre (paneles inferiores) durante el entrenamiento para el Grupo A (carrera de 3.2 min; paneles izquierdos) y el Grupo B (carrera de 8.20 s; paneles derechos). Los valores son media ± SEM.

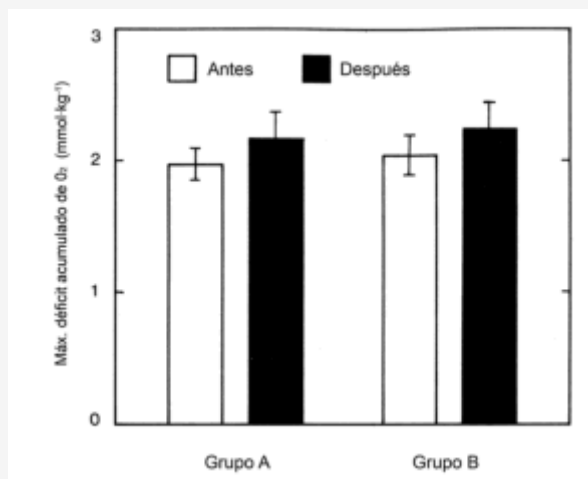


Figura 3. El máximo déficit acumulado de O₂ (capacidad anaeróbica) antes y después de 6 semanas de entrenamiento para el Grupo A (N = 6) y el Grupo B (N 6) . Los valores son media ± S EM.

Después de 2-4 semanas de entrenamiento diez sujetos (cinco de cada de grupo) rindieron cuentas al laboratorio. El déficit acumulado de O₂ y la concentración de lactato en la sangre eran determinados durante una sesión de entrenamiento para obtener una medición fisiológica de la carga de entrenamiento. Además, después de cada sesión de entrenamiento, los sujetos anotaron su evaluación personal de la tensión del entrenamiento.

El máximo consumo de O₂ y el consumo de O₂ con ritmo constante a intensidades submáximas así como las carreras agotadoras de 2-3 min y 30 s fueron repetidos después de 6 semanas de entrenamiento para determinar el déficit acumulado de O₂.

Métodos analíticos

Las fracciones de CO₂ y O₂ en el aire expirado se midieron en el equipo electrónico (CO₂: analizador del CO₂, Simrad Optronics, Oslo, Noruega; O₂: S3A/1 Ametek, Pittsburgh, PA), y los volúmenes se midieron en un espirómetro húmedo.

La concentración de lactato en la sangre se midió enzimáticamente (15).

La evaluación hecha por los sujetos de la tensión del entrenamiento del cuerpo entero era expresado mediante la estimación de Borg de la escala del ejercicio percibido (RPE) (3). La escala RPE original se usó más que una más nueva escala de la proporción, de acuerdo con las recomendaciones de Borg para estos tipos de experimentos (4).

Cálculos

La capacidad anaeróbica se calculó mediante el máximo déficit acumulado de O₂ y la tasa media de la energía anaeróbica liberada fue cuantificada con el déficit medio del O₂. El principio tras estas determinaciones estriba en que para cada sujeto se establece una relación lineal entre la velocidad de la cinta andadora y el consumo de O₂ con ritmo constante, a moderadas velocidades de la cinta andadora (16). El consumo de O₂ medido es igual a la demanda de O₂ con estas intensidades (6,12,14), y por tanto se halla una relación lineal entre la velocidad de la cinta andadora y la demanda de O₂ (tasa de energía total liberada). Esta relación puede extrapolarse a la velocidad de la cinta andadora usada durante las carreras exhaustivas para obtener una estimación precisa de la tasa total de energía liberada durante la carrera intensa (16). La demanda acumulada de O₂ se encuentra integrando la demanda de O₂ durante la duración del ejercicio. Restar el consumo acumulado de O₂, medido a lo largo del ejercicio, presenta el déficit acumulado de O₂ que se usa como una medición de la cantidad de energía anaeróbica liberada. El déficit medio de O₂ es el déficit acumulado de O₂ dividido por la duración del ejercicio y se usa como una medición de la tasa media de energía anaeróbica liberada.

Dado que ninguno de los sujetos de la serie 2 mostró cambios significativos en la economía de la carrera (consumo de O₂ a ritmo constante con una velocidad dada; 5) durante las 6 semanas de entrenamiento, se usó la misma relación entre la velocidad y la demanda de O₂ antes y después del entrenamiento para cada sujeto.

Estadística

Los resultados se presentan como media ± SEN. Las pruebas para la significación estadística eran los testst de Student

para dos muestras o una muestra emparejada (con una o dos colas según sea adecuado), con el ANOVA para las repetidas comparaciones, y con un test χ^2 para las diferencias en la puntuación de la RPE. Los niveles de significación estadística eran calculados por Asyst (McMillan Software Company, Rochester, NY).

RESULTADOS

Series 1

El máximo déficit acumulado de O₂ de los sujetos sin entrenar y entrenados en resistencia (durante una carrera agotadora de 2-3 min) era 2.86 ± 0.10 mmol·kg⁻¹, y no había ninguna diferencia entre los dos grupos ($P = 0.5$). Los sujetos entrenados en el sprint tenían un máximo déficit acumulado de O₂ un 30% mayor ($P < 0.001$; Fig. 1). Por eso, la capacidad anaeróbica para los velocistas que habían realizado tipos anaeróbicos de entrenamiento regularmente durante varios años, era mayor que para los sujetos sin entrenamiento, mientras que el entrenamiento regular de resistencia no parecían influir en la capacidad anaeróbica.

El déficit acumulado de O₂ durante un sprint de 30 s era 1.46 ± 0.07 mmol·kg⁻¹ para los sujetos sin entrenamiento y los entrenados en resistencia y un 30% más para los velocistas ($P < 0.001$). Esto significa que el déficit acumulado de O₂ durante un sprint de 30-s con una inclinación de 6° era $51 \pm 1\%$ de la capacidad anaeróbica para los tres grupos.

Series 2

Los sujetos en esta serie entrenaron durante 40 ± 2 días. Durante una típica sesión de entrenamiento para el Grupo A, la intensidad del ejercicio era $116 \pm 3\%$ del máximo consumo de O₂. El déficit acumulado de O₂ era 1.47 ± 0.08 mmol·kg⁻¹ (74% de la capacidad anaeróbica antes del entrenamiento) durante cada uno de los tres turnos de 2 min. El déficit medio de O₂ era 12.2 ± 0.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, y la concentración del lactato en la sangre aumentaba durante cada carrera y alcanzaba un máximo a 9.8 ± 0.7 mmol·l⁻¹ (68% del máximo encontrado después de la carrera de 2 min hasta el agotamiento; Fig. 2).

Para el Grupo B, que corre con una intensidad de $165 \pm 2\%$ del máximo consumo de O₂ el déficit acumulado de O₂ era 0.88 ± 0.03 mmol·kg⁻¹ (43% de la capacidad anaeróbica y 76% del valor durante 30 s de carrera agotadora) durante cada uno de los ocho sprints de 20 s. La concentración de lactato en la sangre aumentaba a velocidad constante y alcanzaba un máximo a 10.6 ± 1.2 mmol·l⁻¹ (69% del máximo durante la carrera de 2 min hasta el agotamiento). Por tanto la máxima concentración de lactato en la sangre para los Grupos A y B era similar ($P = 0.6$). El déficit medio de O₂ para el Grupo B era 40.2 ± 0.7 mmol·l·kg⁻¹. Esta tasa es similar al máximo consumo de O₂ y es 3.3 veces el déficit medio de O₂ durante el entrenamiento del Grupo A. Esto significa que para el Grupo A cada turno daba lugar a una gran producción de energía liberada anaeróbicamente con una tasa mediana. Para el Grupo B una cantidad de energía de tamaño mediano se liberaba anaeróbicamente con una tasa elevada.

La valoración de los sujetos del ejercicio percibido (RPE) durante estas pruebas oscilaba entre 13 y 15. No había ninguna diferencia entre los Grupos A y B o entre hombres y mujeres. Las evaluaciones de todas las sesiones de entrenamiento separadas durante 6 semanas nunca eran menos de 12, y las máximas valoraciones durante unos pocos "días difíciles" eran 16 y 17.

Grupo A vs Grupo B. El máximo déficit acumulado de O₂ era 2.00 ± 0.09 mmol·kg⁻¹ antes del entrenamiento, y no había ninguna diferencia entre los Grupos A y B ($P = 0.7$). Seis semanas de entrenamiento fomentaban el máximo déficit acumulado de O₂ por 0.20 ± 0.07 mmol·kg⁻¹ o el 10% para ambos grupos ($P = 0.008$; Fig. 3). Por tanto existía el mismo efecto de 6 semanas de entrenamiento para los dos grupos.