

## Article

# Efectos de la Secuencia del Entrenamiento Concurrente de Fuerza y Resistencia Dentro de la Sesión Sobre el Rendimiento y la Capacidad Aeróbica

## Effects Of Intra-Session Concurrent Endurance And Strength Training Sequence On Aerobic Performance And Capacity

M. Chtara<sup>1</sup>, K. Chamari<sup>2</sup>, M. Chaouachi<sup>1</sup>, A. Chaouachi<sup>2</sup>, D. Koubaa<sup>2</sup>, Y. Feki<sup>4</sup>, G. P. Millet<sup>3</sup> y M. Amri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physiologie de la Nutrition, Faculté des Sciences de Tunis, El Manar, Tunisia

<sup>2</sup>National Center of Medicine and Sciences in Sports (NCMSS), El Menzah, Tunisia

<sup>3</sup>UPRES 37-59, Faculty of Sports Sciences, University of Montpellier, Montpellier, France

<sup>4</sup>Institut Supérieur du Sport et de l'Education Physique, Ksar Said, Tunisia

### RESUMEN

**Objetivo:** Para examinar los efectos del orden de la secuenciación del entrenamiento de resistencia intermitente individualizado combinado con el fortalecimiento muscular en el rendimiento y la capacidad aeróbica. **Métodos:** Cuarenta y ocho estudiantes de deportes varones (media (SD) edad 21.4 (1.3) años) fueron divididos en cinco grupos homogéneos según sus velocidades aeróbicas máximas ( $VVO_{2máx}$ ). Cuatro grupos participaron en varios programas de entrenamiento durante 12 semanas (dos sesiones por semana) como sigue: E (n = 10), entrenamiento de la resistencia en carrera; S (n = 9), entrenamiento en circuito de fuerza; E+S (n = 10) y S+E (n = 10) combinaron los dos programas en un orden diferente durante la misma sesión de entrenamiento. Grupo C (n = 9) sirvió como control. Todo los sujetos se evaluaron antes (T0) y después (T1) del período de entrenamiento usando cuatro tests: (1) un test de carrera de 4 km por tiempo; (2) un test de pista incremental para estimar el  $VVO_{2máx}$ ; (3) un test de tiempo hasta el agotamiento (tlim) al 100%  $VVO_{2máx}$ ; (4) un test de laboratorio de pedaleo máximo para evaluar el  $VO_{2máx}$ . **Los resultados:** Hubo mejoras significativas producidas por entrenamiento sobre el rendimiento y la capacidad aeróbica en la prueba tiempo de 4 km con el efecto de interacción (p < 0.001). Las mejoras fueron significativamente superiores para el grupo de E+S que para el E, S+F, y grupos F: 8.6%, 5.7%, 4.7%, y 2.5% para el test de 4 km (p < 0.05); 10.4%, 8.3%, 8.2%, y 1.6% para la  $VVO_{2máx}$  (p < 0.01); 13.7%, 10.1%, 11.0%, y 6.4% para el  $VO_{2máx}$  (ml/kg0.75/min) (p < 0.05) respectivamente. Se observaron resultados significativos similares para el tlim y el segundo umbral ventilatorio (%  $VO_{2máx}$ ). **Conclusiones:** El entrenamiento en circuito inmediatamente después del entrenamiento de la resistencia individualizado en la misma sesión (E+S) produjo la mayor mejora en la prueba de tiempo de 4 km y la capacidad aeróbica que el orden opuesto o cada uno de los programas de entrenamiento realizados separadamente.

**Palabras Clave:** Consumo máximo de oxígeno; entrenamiento combinado; rendimiento en la carrera de distancia; entrenamiento en circuito de fuerza

## ABSTRACT

**Aim:** To examine the effects of the sequencing order of individualised intermittent endurance training combined with muscular strengthening on aerobic performance and capacity. **Methods:** Forty eight male sport students (mean (SD) age 21.4 (1.3) years) were divided into five homogeneous groups according to their maximal aerobic speeds ( $vV\dot{O}_2MAX$ ). Four groups participated in various training programmes for 12 weeks (two sessions a week) as follows: E (n = 10), running endurance training; S (n = 9), strength circuit training; E+S (n = 10) and S+E (n = 10) combined the two programmes in a different order during the same training session. Group C (n = 9) served as a control. All the subjects were evaluated before (T0) and after (T1) the training period using four tests: (1) a 4 km time trial running test; (2) an incremental track test to estimate  $vV\dot{O}_2MAX$ ; (3) a time to exhaustion test (tlim) at 100% $vV\dot{O}_2MAX$ ; (4) a maximal cycling laboratory test to assess  $V\dot{O}_2MAX$ . **Results:** Training produced significant improvements in performance and aerobic capacity in the 4 km time trial with interaction effect ( $p < 0.001$ ). The improvements were significantly higher for the E+S group than for the E, S+E, and S groups: 8.6%, 5.7%, 4.7%, and 2.5% for the 4 km test ( $p < 0.05$ ); 10.4%, 8.3%, 8.2%, and 1.6% for  $vV\dot{O}_2MAX$  ( $p < 0.01$ ); 13.7%, 10.1%, 11.0%, and 6.4% for  $V\dot{O}_2MAX$  (ml/kg0.75/min) ( $p < 0.05$ ) respectively. Similar significant results were observed for tlim and the second ventilatory threshold (% $V\dot{O}_2MAX$ ). **Conclusions:** Circuit training immediately after individualised endurance training in the same session (E+S) produced greater improvement in the 4 km time trial and aerobic capacity than the opposite order or each of the training programmes performed separately.

**Keywords:** maximum oxygen consumption; combined training; performance in distance running; circuit training strength

## INTODUCCION

El desarrollo de los distintos componentes de la fuerza muscular es ahora integrado en los programas de entrenamiento de varias disciplinas de resistencia. El nivel alto de velocidad y potencia sostenido y los cambios impuestos en el ritmo requieren un énfasis sobre la preparación muscular. Varios estudios han mostrado el beneficio de agregar el entrenamiento de fuerza para mejorar el rendimiento de resistencia.<sup>1-4</sup>

Teóricamente, las adaptaciones del músculo inducidos por entrenamiento son divergentes e incluso pueden ser antagónicas a las mejoras en la fuerza<sup>5-7</sup> o en la resistencia.<sup>8,9</sup> Se ha reportado que el entrenamiento de la fuerza causa hipertrofia de la fibra muscular, asociado con un aumento en la proteína contráctil, proporcional a un aumento en la fuerza máxima contráctil.<sup>10</sup> También reduce la densidad mitocondrial y disminuye la actividad de las enzimas oxidativas que pueden impedir la capacidad de resistencia pero pueden tener un efecto mínimo en la densidad capilar o la conversión del tipo de fibras de contracción rápida (tipo II) a lenta (tipo I).<sup>8,10</sup> En contraste, el entrenamiento de la resistencia normalmente induce una pequeña o ninguna hipertrofia muscular, pero aumenta el contenido mitocondrial, enzimas del ácido cítrico, capacidad oxidativa, y la posibilidad de conversión de fibras musculares de contracción rápida a lenta.<sup>8,11</sup> La interferencia entre el entrenamiento de la resistencia y de la fuerza puede explicarse por los siguientes factores: (a) la incapacidad del músculo para adaptarse óptimamente a dos estímulos diferentes debido a las demandas simultáneas de vías de energía diferentes durante la misma sesión<sup>7,12</sup>; (b) el cansancio del músculo que es el resultado del entrenamiento precedente<sup>13,14</sup>; (c) el tipo, naturaleza, y modo específico de entrenamiento de la fuerza y de entrenamiento aeróbico<sup>15</sup> así como el buen estado físico y la edad de los atletas<sup>2,3,12</sup>; (d) el volumen, la frecuencia, y la intensidad del entrenamiento también pueden influir en el grado de incompatibilidad observado<sup>9,12</sup>; (e) finalmente, el orden de secuencia - es decir, el orden en que el entrenamiento de la resistencia y de la fuerza se llevan a cabo también puede tener un efecto sobre las adaptaciones inducidas por el entrenamiento.<sup>10,16-18</sup> Sin embargo, sólo unos pocos estudios han reportado si el entrenamiento de la fuerza debe preceder o ser posterior el entrenamiento de la resistencia cuando los dos se realizan en la misma sesión.<sup>17,18</sup> Las investigaciones previas sobre los efectos del entrenamiento concurrente han usado varias secuencias: (a) períodos de varias semanas de entrenamiento de la fuerza antes del entrenamiento de la resistencia o entrenamiento de la resistencia antes del entrenamiento de la fuerza<sup>5,19,20</sup>; (b) alternando días de entrenamiento durante el período de entrenamiento<sup>10,16</sup>; (c) alternando secuencias durante las sesiones de entrenamiento.<sup>17,18</sup> En los últimos estudios, la capacidad aeróbica mejoró. No hay ningún estudio, sin embargo, a nuestro conocimiento, sobre el efecto del orden de la secuencia de entrenamiento concurrente en la misma sesión sobre el rendimiento de resistencia. Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron primeramente examinar los efectos del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia sobre el rendimiento aeróbico, y secundariamente, determinar si el orden del entrenamiento dentro de la misma sesión produce diferentes cambios sobre el rendimiento de resistencia.

# MÉTODOS

## Sujetos

Cuarenta ocho estudiantes varones participaron en el estudio. Ellos no hicieron ninguna actividad física fuera de sus estudios (aproximadamente 15 horas de actividades múltiples por semana). Todos los sujetos dieron el consentimiento escrito después de ser informado sobre el protocolo del estudio, sin estar informado de la meta del estudio. El protocolo del estudio fue aceptado por el comité de ética de la Universitario Nacional. Las características antropométricas eran las siguientes: promedios (SD) de edad 21.4 (1.3) años; altura 178.2 (5.7) cm; masa corporal 72.1 (6.3) kg; porcentaje de grasa corporal 14.7 (3.0) %. El promedio (SD) de la velocidad máxima aeróbica ( $VO_{2\text{máx}}$ ) y del consumo de oxígeno máximo ( $O_{2\text{máx}}$ ) era de 16.16 (0.85) km/h y de 50.60 (4.24) ml/kg/min, respectivamente. Los sujetos fueron divididos en cinco grupos homogéneos según su  $VO_{2\text{máx}}$ .

## Protocolo

Cuatro grupos participaron en los distintos programas de entrenamiento durante 12 semanas (dos sesiones por semana) como sigue: grupo E (n = 10), entrenamiento de carrera de resistencia; grupo S (n = 9), entrenamiento de fuerza en; grupos E+S (n = 10) y S+E (n = 10) combinaron los dos métodos de entrenamiento en diferentes secuencias durante la misma sesión de entrenamiento. El Grupo C (n = 9) sirvió como control. Antes (T0, febrero) y después (T1, mayo) del período de entrenamiento, cada sujeto realizó el mismo protocolo de evaluación incluyendo tests antropométricos, de campo, y de laboratorio. Los sujetos no realizaron ninguna actividad física intensa durante las 24 horas que precedían cada test.

## Mediciones fisiológicas

Los sujetos tenían tests de campo y de laboratorio durante los cuales se los alentó mucho para alcanzar su rendimiento máximo.

## Tests de Campo

1. Una prueba de tiempo de 4 km: esto consistió en cubrir 4 km en el tiempo mínimo en una pista de atletismo 400 m. El test fue precedido por un período estandarizado de entrada en calor de 20 minutos.
2. un test de pista Vam-eval progresivo para la medición de la velocidad aeróbica máxima ( $VO_{2\text{máx}}$ ).<sup>21</sup> Este test consistió en una prueba de carrera alrededor de una pista de carreras de 200 m calibrada por marcas de referencia puestas cada 20 m. Un reproductor emitió señales sonoras que indicaban la velocidad a ser alcanzada. La velocidad era al principio baja (8 km/h) y aumentaba 0.5 km/h cada minuto. La última fase alcanzada y completada por el sujeto correspondía a su velocidad aeróbica máxima ( $VO_{2\text{máx}}$ ), que es considerada un indicador de la potencia aeróbica.<sup>2,21,29</sup>
3. Un test de velocidad constante hasta el agotamiento (tlim) al 100% de la  $VO_{2\text{máx}}$ .<sup>22</sup> Se llevó a cabo en la misma pista de 200 m con marcas de 20 m como referencia. Los sujetos llevaron a cabo un precalentamiento de 15 minutos al 60% de la  $VO_{2\text{máx}}$ . Entonces, en 20 segundos, alcanzaban su  $VO_{2\text{máx}}$  e intentaban mantenerla el mayor tiempo posible. El evaluador emitía señales sonoras que indicaban la velocidad a ser alcanzada gracias a un cronómetro que permitió una cuenta regresiva más ajustable a 1/100 segundos para ser puesto. Estas cuenta regresiva y las señales legítimas correspondientes permitieron al sujeto a mantener la velocidad impuesta alcanzando las marcas sucesivas para cada señal legítima. Durante los últimos dos tests, la frecuencia cardíaca (FC) fue registrada continuamente, usando un monitor de frecuencia cardíaca (Polar Accurex Plus, Kempele, Finlandia) puesto a una frecuencia magnetofónica de 0.2 Hz (intervalos de cinco segundos). En T1, los sujetos realizaron el test de tlim con el mismo  $VVO_{2\text{máx}}$  como en T0. Todos los tests se realizaron por la mañana (9-11 AM). La temperatura externa varió entre 25°C y 30°C.

## Test de Laboratorio

Un test incremental continuo se llevó a cabo en un cicloergómetro (Ergoline teclean 800, Bitz, Alemania). El test de laboratorio se realizó de 2 a 5 PM (temperatura 21 (1)°C). Antes de cada test, los sujetos tuvieron una revisión clínica y un electrocardiograma de reposo para verificar su estado de salud. El protocolo de test fue personalizado por incrementos individualizados.<sup>23</sup> Variables cardiorespiratorias fueron determinadas utilizando un sistema de respiro a respiro (ZAN 680, Oberthulba, Alemania) permitiendo una medición continua de la FC, el consumo de oxígeno, y la ventilación pulmonar. Antes de cada test, los analizadores de gas se calibraron con gases de concentración conocida, y la membrana ventilatoria con una jeringa de 1 litro. La FC fue determinada por un electrocardiógrafo de 6 cables con 12 derivaciones. La FC y los datos respiratorios fueron obtenidos una vez cada 30 segundos, con valores promediados durante los últimos 10 ciclos

respiratorios en una base técnica deslizante.<sup>24</sup> Los criterios clásicos de alcance del  $VO_{2\text{máx}}$  en todo los sujetos fueron observados.<sup>7,8</sup> Se consideraba que la FC más alta lograda en el agotamiento era la  $FC_{\text{máx}}$ . El umbral de la compensación respiratorio ( $Th_{2\text{vent}}$ ) fue calculado por el método de Behaver y cols.<sup>25</sup> El  $O_{2\text{máx}}$  fue expresado clásicamente y según la escala alométrica para evitar la subestimación en los sujetos pesados y la sobrestimación en los sujetos livianos.<sup>26-28</sup>

## **Programas de entrenamiento**

### ***Entrenamiento de la resistencia (E)***

Esto se llevó a cabo en una pista de 200 m calibrada por marcas de referencia cada 20 m. Incluyó cinco fragmentos sucesivos. Cada fragmento consistía de un período de ejercicio al 100% de la  $VO_{2\text{máx}}$  y un período de recuperación activa al 60% de la  $VO_{2\text{máx}}$ . La duración de cada período era igual a la mitad de la duración del tlim individual.<sup>29</sup> Un evaluador emitía señales sonoras que indicaban la velocidad a ser alcanzada. Después de esto, se reajustaron alternativamente las intensidades de los períodos de ejercicio y de recuperación (+5%) cuando las FCS medidas al final del quinto fragmento de una sesión de entrenamiento determinada eran inferiores por 10-12 latidos/min con respecto a la primera sesión realizada a esa intensidad particular.

### ***Entrenamiento de la fuerza (S)***

El programa fue dividido en cuatro períodos de tres semanas cada uno. Durante los primeros dos períodos, el objetivo general fue el desarrollo de la fuerza resistencia. Los ejercicios incluyeron movimientos segmentarios y totales de miembros superiores, tronco y miembros inferiores (fortalecimiento abdominal, extensión de cadera con 15 kg, extensores de la espalda, media sentadillas con 20 kg, flexiones de brazos alternadas por delante con 5-10 kg, apertura de piernas adelante con 20 kg). En cuanto a los períodos 3 y 4, el énfasis particular fue puesto en el desarrollo de la explosividad. La elección de los ejercicios se centró principalmente en las cadenas musculares particularmente involucradas en la carrera - esto es, miembros inferiores (saltos con caída desde un plinto (0.30-0.60 m), saltos en el lugar, saltos por encima de las barreras (0.50-0.70 m), saltos con una pierna, rebotes con una pierna, multi-saltos). Los sujetos fueron entrenados por circuitos de intervalos cortos (30-30 segundos y 40-20 segundos). El precalentamiento duró aproximadamente 15-20 minutos. La recuperación entre los circuitos estaba fija en dos minutos, y la sesión total era de aproximadamente 30 minutos (precalentamiento excluido).

La intensidad del ejercicio era individual, ya que a cada sujeto se le pidió realizar un número óptimo de repeticiones por serie, induciendo la fatiga por un lado, y permitiéndole completar la sesión de entrenamiento completa por el otro. En paralelo, a lo largo del período de entrenamiento, los ejercicios se hacían más duros aumentando las alturas de las vallas y del plinto y la longitud de los saltos y de los rebotes. La Tabla 1 presenta el programa que se llevó a cabo.

El intervalo semanal de la intra-sesión era de tres días. Los grupos E y S se entrenaron los lunes y jueves, y los grupos E+S y S+E se entrenaron los martes y viernes.

## **Análisis estadístico**

Se usaron t-tests emparejados para determinar la significancia de diferencias en las variables medidas después del entrenamiento. Cuando el test de normalidad fallaba, un test de Mann-Whitney se realizó entre las variables pre- y post-entrenamiento. Los datos luego fueron analizados usando un análisis multivariado de variación con medidas repetidas. Debido a las ligeras diferencias en los grupos iniciales, el análisis de covarianza con los valores del pre-test, en tanto la covariante fue usada para determinar las diferencias significativas entre los promedios ajustados del post-test en los grupos. Los resultados se presentan como medias (SD). El valor  $p < 0.05$  se aceptó como significativo.

|                                               | Ciclo 1            | Ciclo 2            | Ciclo 3      | Ciclo 4      |
|-----------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|
| <b>Duración del ciclo (semanas)</b>           | 3                  | 3                  | 3            | 3            |
| <b>Objetivo principal</b>                     | Fuerza resistencia | Fuerza resistencia | Explosividad | Explosividad |
| <b>Numero de ejercicios por circuito</b>      | 6                  | 6                  | 6            | 6            |
| <b>Numero de vueltas al circuito (series)</b> | 4                  | 4                  | 4            | 4            |
| <b>Trabajo/pausa (s)</b>                      | 30/30              | 40/20              | 30/30        | 40/20        |
| <b>Recuperación entre-series (min)</b>        | 2                  | 2                  | 2            | 2            |
| <b>Duración total de la sesión (min)</b>      | 30                 | 30                 | 30           | 30           |

**Tabla 1.** Programa de Entrenamiento de la Fuerza.

## RESULTADOS

### Rendimiento de la prueba de tiempo de 4 km

El rendimiento en los 4 km había mejorado después del entrenamiento significativamente (tabla 2). Las mejoras fueron de la siguiente manera: grupo E+S = 8.57%; grupo E = 5.69%; grupo S+E = 4.66%; grupo S = 2.47%. La comparación entre los grupos demuestra que el grupo E+S tuvo valores ajustados significativamente superiores que los grupos E, S+E, y S ( $p < 0.05$ ) (Fig 1).

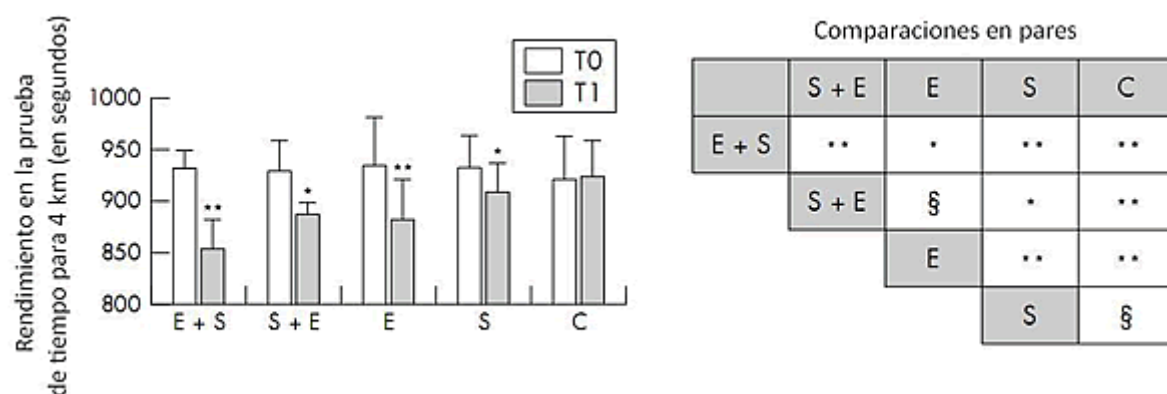
### Variables de la capacidad aeróbica

El análisis multivariado de variación demostró una interacción significativa ( $p < 0.001$ ) entre los dos factores principales (grupo x tiempo) para la velocidad aeróbica máxima, rendimiento del tlim,  $O_{2\text{máx}}$  (l/min, ml/kg/min, y ml/kg0.75/min), y el umbral de la compensación respiratoria (ml/kg/min y el % $O_{2\text{máx}}$ ). Después de las 12 semanas de entrenamiento, todas las variables fisiológicas estudiadas habían mejorado significativamente ( $p < 0.001$ ), excepto la FCmáx. Es más, un efecto significativo del factor de grupo fue observado ( $p < 0.001$ ). Ningún cambio se observó para el grupo de control (tabla 2).

|              |                           |                                  |                     | $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ |                   |                           | $Th_{2\text{vent}}$ |                               |                              |
|--------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------|
|              | Prueba de tiempo 4 km (s) | $v\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (km/h) | $t_{lim}$ (s)       | l/min                    | ml/kg/min         | ml/kg <sup>0.7</sup> /min | ml/kg/min           | %<br>$\dot{V}O_{2\text{máx}}$ | $FC_{\text{máx}}$ (lats/min) |
| E (n = 10)   |                           |                                  |                     |                          |                   |                           |                     |                               |                              |
| Antes        | 934.2<br>(47.0)           | 16.17<br>(1.06)                  | 312.20<br>(68.01)   | 3.80<br>(0.53)           | 49.84<br>(3.06)   | 147.13<br>(10.29)         | 38.90<br>(2.60)     | 78.05<br>(1.87)               | 187.50<br>(6.26)             |
| Después      | 881.0<br>(39.2)**         | 17.52<br>(0.72)*                 | 394.2<br>(53.9)**   | 4.22<br>(0.53)**         | 54.73<br>(3.42)** | 162.03<br>(10.46)**       | 44.71<br>(2.40)**   | 81.78<br>(2.96)**             | 187.88<br>(6.06)             |
| S (n = 9)    |                           |                                  |                     |                          |                   |                           |                     |                               |                              |
| Antes        | 931.1<br>(32.8)           | 16.12<br>(0.50)                  | 280.89<br>(55.58)   | 3.41<br>(0.35)           | 50.08<br>(4.89)   | 143.82<br>(14.18)         | 39.08<br>(3.26)     | 78.15<br>(2.22)               | 190.38<br>(9.10)             |
| Después      | 908.1<br>(29.4)*          | 16.38<br>(0.41)*                 | 326.67<br>(57.88)** | 3.69<br>(0.30)**         | 53.00<br>(4.05)** | 153.09<br>(11.77)**       | 42.33<br>(2.86)**   | 79.92<br>(1.77)*              | 191.25<br>(7.55)             |
| S+E (n = 10) |                           |                                  |                     |                          |                   |                           |                     |                               |                              |
| Antes        | 929.3<br>(30.4)           | 16.16<br>(1.02)                  | 274.90<br>(63.30)   | 3.75<br>(0.24)           | 51.15<br>(3.45)   | 149.58<br>(8.20)          | 39.63<br>(2.34)     | 77.51<br>(1.23)               | 187.75<br>(9.02)             |
| Después      | 886.0<br>(11.3)*          | 17.48<br>(0.79)**                | 346.00<br>(39.50)** | 4.20<br>(0.20)**         | 56.61<br>(2.03)** | 166.05<br>(3.54)**        | 45.96<br>(1.67)**   | 81.19<br>(0.88)**             | 188.75<br>(7.92)             |
| E+S (n = 10) |                           |                                  |                     |                          |                   |                           |                     |                               |                              |
| Antes        | 932.3<br>(17.1)           | 16.18<br>(0.91)                  | 312.70<br>(57.01)   | 3.65<br>(0.42)           | 51.29<br>(1.60)   | 148.83<br>(6.53)          | 40.25<br>(0.93)     | 78.50<br>(1.94)               | 187.13<br>(7.61)             |
| Después      | 852.3<br>(29.5)**         | 17.86<br>(0.45)**                | 417.01<br>(38.02)** | 4.16<br>(0.38)**         | 58.27<br>(1.90)** | 169.24<br>(4.54)**        | 48.92<br>(1.77)**   | 83.97<br>(1.89)**             | 188.25<br>(5.78)             |
| C (n = 9)    |                           |                                  |                     |                          |                   |                           |                     |                               |                              |
| Antes        | 920.8<br>(42.3)           | 16.14<br>(0.78)                  | 253.89<br>(51.01)   | 3.67<br>(0.34)           | 50.65<br>(6.34)   | 147.73<br>(17.22)         | 38.66<br>(4.06)     | 76.49<br>(2.25)               | 191.25<br>(9.59)             |
| Después      | 923.83<br>(35.2)          | 16.18<br>(0.75)                  | 247.56<br>(50.52)   | 3.68<br>(0.28)           | 50.51<br>(4.71)   | 147.51<br>(12.96)         | 38.70<br>(3.68)     | 76.63<br>(1.86)               | 191.63<br>(8.72)             |

**Tabla 2.** Características físicas y fisiológicas antes y después de 12 semanas de entrenamiento \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , significativamente diferente de antes del entrenamiento.

$\dot{V}O_{2\text{máx}}$ , velocidad más baja asociada con  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ;  $t_{lim}$ , tiempo hasta el agotamiento en  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ;  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ , consumo máximo de oxígeno;  $Th_{2\text{vent}}$ , segundo umbral ventilatorio o umbral de compensación respiratoria;  $FC_{\text{máx}}$ , frecuencia cardíaca máxima.



**Figura 1.** Cambios en la prueba de tiempo de 4 km después del entrenamiento. E+S, entrenamiento de la resistencia seguido por fuerza; S+E, entrenamiento de la fuerza seguido por resistencia; E, entrenamiento de la resistencia sólo; S, entrenamiento de fuerza sólo; C, grupo de control. Antes (T0, febrero) y después (T1, mayo) del período de entrenamiento § diferencia no significativa; \* diferencia significativa,  $p < 0.05$ ; \*\* diferencia significativa,  $p < 0.01$ .

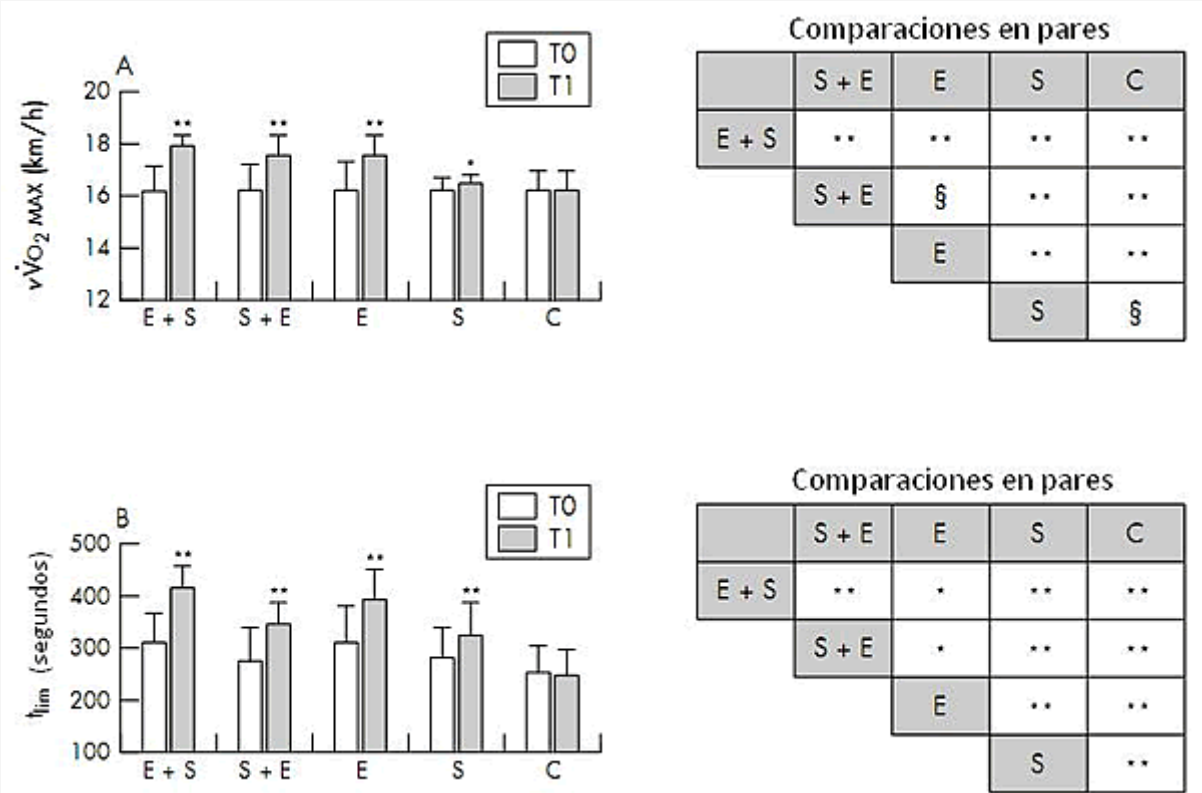
El análisis de una sola variable de variación mostró que el entrenamiento indujo mejoras significativas en la  $VO_{2\text{máx}}$  para los cuatro grupos experimentales: 10.38% para E+S, 8.35% para E, 8.17% para S+E, y 1.61% para S. El grupo E+S tuvo valores ajustados significativamente superiores que los otros grupos ( $p < 0.01$ ) (Fig. 2A).

El entrenamiento indujo mejoras significativas sobre el rendimiento del tlim para los cuatro grupos experimentales: 28.22% para E+S, 21.13% para E, 20.80% para S+E, y 11.28% para S. El grupo E+S tuvo valores promediados ajustados significativamente superiores que los otros grupos ( $p < 0.02$ ) (fig. 2B).

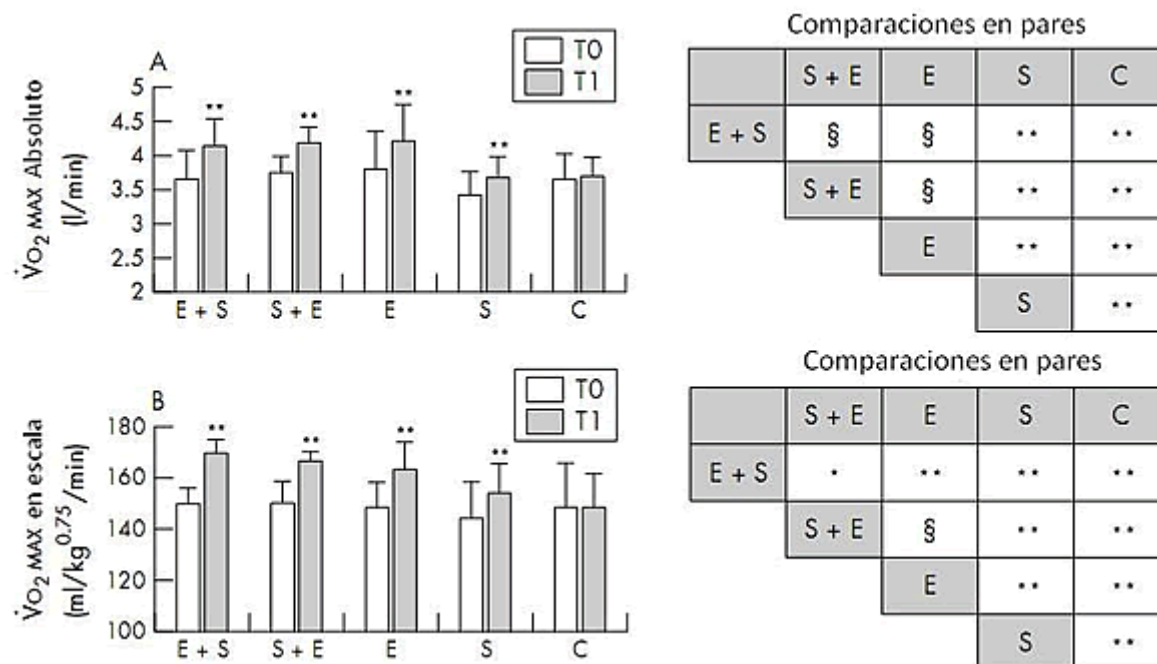
El  $O_{2\text{máx}}$  absoluto (l/min) y ajustado (ml/kg0.75/min) habían mejorado significativamente. Las mejoras en el  $O_{2\text{máx}}$  absoluto (l/min) fueron de 14.05% para E+S, 11.96% para S+E, 11.05% para E, y 8.29% para S. Las mejoras en el  $O_{2\text{máx}}$  ajustado (ml/kg0.75/min) fueron del 13.71% para E+S, 11.01% para S+E, 10.13% para E, y 6.45% para S.

Para el  $O_{2\text{máx}}$  absoluto (l/min), los grupos E+S, E, y S+E mostraron comparables valores promediados ajustados, mientras que para el  $O_{2\text{máx}}$  ajustado (ml/kg0.75/min), el grupo E+S demostró valores promediados ajustados significativamente superiores ( $p < 0.04$ ) (fig. 3).

Th2vent aumentó un 21.54% y 6.96% para el grupo E+S, 14.93% y 4.77% para el grupo E, 15.99% y 4.75% para el grupo S+E, y 8.30% y 2.26% para el grupo S, cuando es expresado en ml/kg/min o en %  $O_{2\text{máx}}$ , respectivamente. El grupo de E+S tuvo valores promediados ajustados significativamente superiores que los grupos E ( $p < 0.001$ ) y S+E ( $p < 0.03$ ).



**Figura 2.** Los cambios en (A) la velocidad asociada con el  $O_{2\text{máx}}$  (km/h) y (B) el tiempo hasta el agotamiento en  $VO_{2\text{máx}}$  (tlim) después del entrenamiento. E+S, entrenamiento de la resistencia seguido por fuerza; S+E, entrenamiento de la fuerza seguido por resistencia; E, entrenamiento de la resistencia sólo; S, entrenamiento de fuerza sólo; C, grupo de control. Antes (T0, febrero) y después (T1, mayo) del período de entrenamiento § diferencia no significativa; \* diferencia significativa,  $p < 0.05$ ; \*\* diferencia significativa,  $p < 0.01$ .



**Figura 3.** Cambios en (A) el  $O_{2\text{máx}}$  absoluto (l/min) y (B) el  $O_{2\text{máx}}$  ajustado (ml/kg<sup>0.75</sup>/min) después del entrenamiento. E+S, entrenamiento de la resistencia seguido por fuerza; S+E, entrenamiento de la fuerza seguido por resistencia; E, entrenamiento de la resistencia sólo; S, entrenamiento de fuerza sólo; C, grupo de control. Antes (T0, febrero) y después (T1, mayo) del período de entrenamiento § diferencia no significativa; \* diferencia significativa,  $p < 0.05$ ; \*\* diferencia significativa,  $p < 0.01$ .

## DISCUSION

Este estudio confirma que el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia produce mejoras en la capacidad aeróbica y en el rendimiento de resistencia. Sin embargo, las mejoras son mayores cuando, en la misma sesión, el entrenamiento de la resistencia precede el entrenamiento de la fuerza.

### Entrenamiento de la Resistencia sólo

Este estudio confirma que sesiones intermitentes que usan la velocidad de carrera cerca de la  $VO_{2\text{máx}}$  son eficaces en el mejoramiento de la potencia aeróbica.<sup>30,31</sup> Estas modificaciones están acompañadas por una mejora en el rendimiento de la prueba de test de 4 km (tabla 2). Este tipo de sesión en que se alternan períodos de intensidad alta y moderada, permite mantener las intensidades altas un tiempo más largo que una sesión de entrenamiento continua.

### Entrenamiento de la fuerza sólo

El uso de ejercicios de fuerza intermitentes cortos fue demostrado de afectar a la capacidad aeróbica: el aumento en el  $O_{2\text{máx}}$  observado durante este estudio estuvo cerca de lo visto previamente (8-10%)<sup>10,12</sup>, pero es mayor que lo encontrado en otros estudios.<sup>5,32,33</sup> La magnitud de la adaptación cardiorespiratoria depende principalmente de la intensidad, duración, y frecuencia del ejercicio.<sup>11</sup> Si la intensidad del trabajo durante el entrenamiento de fuerza no es suficiente, el consumo de oxígeno permanece muy bajo - esto es, sólo el 45%  $O_{2\text{máx}}$ .<sup>32</sup> Para alcanzar un efecto positivo, parece ser que un nivel mínimo de intensidad del 50%  $O_{2\text{máx}}$  tiene que ser alcanzado.<sup>34</sup> Es más, la duración del entrenamiento era sólo 15 minutos tres veces por semana. De los otros estudios que no mostraron la mejora cardiorespiratoria con el entrenamiento de fuerza, el de Hickson<sup>5</sup> estaba compuesto de ejercicios de fuerza tradicionales incluyendo series cortas (cinco repeticiones, con cargas pesadas >80% del máximo) y pausas largas (tres minutos). Está claro que este tipo de entrenamiento no cumple los requisitos normalmente reconocidos de duración e intensidad para el trabajo de resistencia. En este contexto, este estudio de entrenamiento de fuerza permitió ejercicios de duración larga que ciertamente ayudó a mejorar la capacidad aeróbica. Por último, se ha reportado que la duración óptima para las mejoras en el  $O_{2\text{máx}}$  con el entrenamiento de la fuerza de 10-12 5,<sup>10,12,32</sup> pero la mejora significativa también ha sido notada con un período más corto - esto es, siete semanas.<sup>33</sup>

## Entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia

El entrenamiento concurrente en este estudio produjo mejoras significativas en el rendimiento en los 4 km así como en la capacidad aeróbica (tabla 2). Esto confirma la eficiencia de este método en sujetos no entrenados.<sup>1-4,12,33,35</sup> Tanaka y Swensen<sup>1</sup> indicaron que los corredores y los ciclistas pueden mejorar el rendimiento de resistencia por el entrenamiento con pesas resistivo, debido a los aumentos en el tamaño de fibras tipo I y cambios en las proporciones de los subtipos del tipo II y en las propiedades contráctiles de las miofibrillas. Estos cambios pueden permitirle a un sujeto ejercitarse durante mucho más tiempo a una tasa de trabajo submáxima determinada reduciendo la contribución de fuerza de cada miofibra activa o usando menos miofibrillas. En conjunto, los cambios de la miofibra pueden permitir también el reclutamiento de fibras tipo II menos eficientes al ser demoradas.<sup>1</sup> Hoff y cols.<sup>4</sup> reportaron un aumento considerable en el rendimiento de resistencia como resultado del entrenamiento de fuerza en esquiadores cross-country, que se hicieron más fuertes, más potentes y, sobre todo, más económicos. Paavola<sup>2</sup> demostraron que el rendimiento de resistencia puede aumentarse agregando el entrenamiento de fuerza explosiva (33% del tiempo de entrenamiento) al entrenamiento de la resistencia clásico. Balabinis y cols.<sup>33</sup> concluyeron que el entrenamiento concurrente era más eficaz en términos de aumento del rendimiento que el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia exclusivamente. Por último, McCarthy y cols.<sup>12</sup> y Marcinik y cols.<sup>35</sup> demostraron que el entrenamiento de fuerza resistencia pesada llevó a bajar la lactacidemia a una intensidad determinada, debido a una reducción en la presión intrafibra, explicando en parte el mejoramiento en el rendimiento de resistencia submáxima.

## Entrenamiento concurrente versus entrenamiento de la fuerza o de la resistencia

El  $O_{2\text{máx}}$  absoluto (l/min) y relativo (ml/kg0.75/min) habían mejorado considerablemente después de los distintos programas de entrenamiento (tabla 2). Para el  $O_{2\text{máx}}$  absoluto, los grupos E+S, E, y S+E, mostraron valores promedio ajustados comparables, mientras que para el  $O_{2\text{máx}}$  relativo había aumentado más en el grupo E+S que en los otros grupos (fig. 3). Esto demuestra que expresando el  $O_{2\text{máx}}$  apropiadamente es más importante ya que se pueden observar cambios menores. Las mejoras en los grupos combinados fueron ligeramente superiores que aquellos observados en estudios previos que usaron un entrenamiento concurrente similar.<sup>7,10,14,17</sup> En contraste con nuestro estudio, ningún cambio en el  $O_{2\text{máx}}$  se observó en los estudios previos.<sup>2,3,5,9,32</sup> Estas diferencias pueden explicarse por los programas de entrenamiento (forma, intensidad, frecuencia, y duración), nivel inicial, y edad y sexo de los sujetos. Pueden ser involucrados otros mecanismos, incluyendo particularmente el conflicto entre las adaptaciones fisiológicas, además de la hipertrofia muscular que produce un aumento en la masa corporal.<sup>6</sup>

La  $VO_{2\text{máx}}$  había mejorado notablemente más para el grupo E+S que para los grupos E y S+E (fig. 2A). Millet y cols.<sup>3</sup> demostraron que, en triatletas, la  $VO_{2\text{máx}}$  aumentaba un 6.7% ( $p < 0.01$ ) en un grupo combinado y sin cambios en un grupo de resistencia (2.6%). Paavola<sup>2</sup> también reportaron un aumento en la  $VO_{2\text{máx}}$  ( $p < 0.05$ ) en un grupo combinado y no en un grupo de resistencia e indicaron que era principalmente debido a un cambio en la fuerza y en la potencia de los miembros inferiores.

## Secuencia de entrenamiento de la Resistencia y de la fuerza

El hallazgo más importante de este estudio fue que el orden de la intra-sesión del entrenamiento de la fuerza y de la resistencia influencia las adaptaciones inducidas por el entrenamiento. La mejora en el  $O_{2\text{máx}}$  (ml/kg/min) fue mayor en el grupo E+S que en el grupo S+E (13.6% v 10.7%) (tabla 2). Estudios previos han examinado los efectos del orden de secuencia de intra-sesión del entrenamiento de la fuerza y de la resistencia en las adaptaciones aeróbicas. Collins y Snow<sup>17</sup> demostraron que la secuencia de entrenamiento no tenía efecto sobre el cambio en el  $O_{2\text{máx}}$ . Gravelle y Blessing<sup>18</sup> reportaron que el entrenamiento concurrente limitó el aumento en el  $O_{2\text{máx}}$  cuando el entrenamiento de la resistencia era precedido por el entrenamiento de fuerza comparado con el entrenamiento de la fuerza antes del entrenamiento de la resistencia (5.3% v 8.0%) en estudiantes mujeres. Se argumentó que, cuando el entrenamiento de la fuerza era precedido por turnos agudos de resistencia y ejercicio dinámico exhaustivo con resistencias, la intensidad del entrenamiento de la fuerza subsecuente era anormal, produciendo menos mejoras de la fuerza. Los autores enfatizaron el hecho de que todavía no se conoce si al inverso era verdad. Nuestros resultados pueden explicarse en parte por la fatiga que es el resultado del entrenamiento de la fuerza a pesar de que puede haber influido al menos en las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento de resistencia<sup>18</sup> el hecho de que, a partir de los registros de entrenamiento, la intensidad del entrenamiento de la resistencia no fue modificada. Cualquier posible efecto de fatiga probablemente se ha compensado por los efectos positivos del entrenamiento de la fuerza concurrente,<sup>2,3</sup> como el grupo S+E mostró una mejora similar en la capacidad aeróbica y rendimiento al grupo de E. Sin embargo, aparentemente la mejor secuencia para las adaptaciones aeróbicas consiste en el entrenamiento de la resistencia sin la fatiga que precede después del entrenamiento en circuito de fuerza con sus efectos bien conocidos sobre el rendimiento y capacidad de resistencia.

## Qué es lo ya conocido en el tema

Recientes estudios han demostrado que agregar el entrenamiento de fuerza al entrenamiento de la resistencia mejora tanto la capacidad aeróbica como el rendimiento de resistencia. Sin embargo, los efectos sobre el rendimiento de resistencia del orden en que los dos tipos de entrenamientos se realizan en la misma sesión no han sido estudiados.

### Qué agrega este estudio

El entrenamiento de la resistencia seguido por el entrenamiento de la fuerza produjo mayores mejoras en el rendimiento de resistencia y en la capacidad aeróbica que el orden inverso o si los métodos de entrenamiento fueran realizados separadamente.

A nuestro conocimiento, este estudio es el primero en mostrar los efectos de la secuencia dentro de la sesión de entrenamiento sobre el rendimiento de resistencia. Ya que el grupo S+E mejoró todos los aspectos del fitness aeróbico, nosotros podemos suponer que la primera actividad (el entrenamiento de fuerza) produjo fatiga muscular, lo que redujo la efectividad y/o adaptaciones fisiológicas a la segunda actividad (el entrenamiento de la resistencia). Otros factores como los cambios endócrinos o alteraciones en el reclutamiento de las unidades motoras también pueden ser el origen de las diferencias observadas.<sup>6</sup>

## CONCLUSION

El orden de la intra-sesión de entrenamiento de la fuerza y de la resistencia influyó en las respuestas adaptativas a ellos. La mejora en el rendimiento de resistencia y capacidad aeróbica fue significativamente mayor cuando, en la misma sesión, el entrenamiento de la resistencia precedió al entrenamiento de la fuerza en lugar de al revés o si cada uno de los métodos de entrenamiento fuera realizado separadamente.

### Agradecimientos

Nosotros agradecemos al Dr Zakia Bartagi, al Dr Ali Ben Khedher, y al Dr Mourad Hambli por la ayuda inestimable.

Este estudio fue financieramente soportado por el Ministère de la Recherche Scientifique, Technologie et du développement des Compétences, Túnez.

Correspondence to: K Chamari, National Center of Medicine and Sciences in Sports, Physiology Department, Unité de Recherche "Evaluation, Sport, Santé", BP 263, Ave Mohamed Ali Akid, El Menzah 1004, Tunisia; karimchamari@gmx.net

## REFERENCIAS

1. Tanaka H, Swensen T (1998). Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross training?. *Sports Med*; 25:191-200
2. Paavola L, Häkkinen K, Hämaläinen I, et al (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*; 86:1527-33
3. Millet GP, Jaouen B, Borrani F, et al (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and V•O2 kinetics. *Med Sci Sports Exerc*; 34:1351-9
4. Hoff J, Gran A, Helgerud J (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports*; 12:288-95
5. Hickson RC (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol*; 45:255-63
6. Leveritt M, Abernethy PJ, Barry BK, et al (1999). Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Med*; 28:413-27
7. Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, et al (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol*; 81:418-27
8. Nelson AG, Arnall DA, Loy SF, et al (1990). Consequences of combining strength and endurance regimens. *Phys Ther*; 70:287-94
9. Bishop D, Jenkins DG (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exerc*; 31:886-91
10. Sale DS, MacDougall JD, Jacobs I, et al (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol*; 68:260-70
11. Åstrand P-O, Rodahl K (1986). Physiological bases of exercise. *Textbook of work physiology*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill
12. McCarthy JP, Agre JC, Graf BK, et al (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*; 27:429-36

13. Craig BW, Lucus J, Pohlman R, et al (1991). Effects of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *J Appl Sports Sci Res*; 5:198-203
14. Hennessy LC, Watson AWS (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J Strength Cond Res*; 8:12-19
15. Häkkinen K, Komi PV, Alen M (1985). Effects of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand*; 125:587-600
16. Bell GJ, Petersen SR, Quinney HA, et al (1988). Sequencing of endurance and high-velocity strength training. *Can J Sports Sci*; 13:214-19
17. Collins MA, Snow TK (1993). Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training?. *J Sports Sci*; 11:485-91
18. Gravelle BL, Blessing DL (2000). Physiological adaptation in women concurrently training for strength and endurance. *J Strength Cond Res*; 14:5-13
19. Hunter G, Demment R, Miller D (1987). Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *J Sports Med Phys Fitness*; 27:269-75
20. Lee A, Craig BW, Lucas J, et al (1990). The effect of endurance training, weight training, and a combination of endurance and weight training upon the blood lipid profile of young male subjects. *J Appl Sports Sci Res*; 4:68-75
21. Cazorla G (1990). Tests de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse maximale aérobie. In: Cazorla G, Robert et G. L'évaluation en activité physique et en sport. *Cestas: AREAPS*; 151-74
22. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, et al (1994). Reproducibility of running time to exhaustion at V•O<sub>2</sub>max in sub-elite runners. *Med Sci Sports Exerc*; 26:254-7
23. Hansen JE, Sue DY, Oren A, et al (1987). Relation of oxygen uptake to work rate in normal men and men with circulatory disorders. *Am J Cardiol*; 59:669-74
24. Whipp BJ, Ward SA, Lamarra N, et al (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol*; 52:1506-13
25. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*; 60:2020-7
26. Wisløff U, Helgerud J, Hoff J (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc*; 30:462-7
27. Bergh U, Sjødin B, Forsberg A, et al (1991). The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc*; 23:205-11
28. Chamari K, Hachana Y, Ben Ahmed Y, et al (2004). Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br J Sports Med*; 38:191-6
29. Billat V, Flechet B, Petit B, et al (1999). Interval training at V•O<sub>2</sub>max: effects on aerobic performance and over training markers. *Med Sci Sports Exerc*; 31:156-63
30. Billat LV, Slavinski J, Bocquet V, et al (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than submaximal runs. *Eur J Appl Physiol*; 81:188-96
31. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, et al (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc*; 34:1801-7
32. Hurley BF, Seals DR, Eshani AA, et al (1984). Effects of high intensity strength training on cardiovascular functions. *Med Sci Sports Exerc*; 16:483-8
33. Balabinis CP, Psarakis CH, Moukas M, et al (2003). Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *J Strength Cond Res*; 17:393-401
34. Davies CT, Knibbs AV (1971). The training stimulus: the effect of intensity duration and frequency of effort on aerobic power output. *Int Z Angew Physiol*; 29:299-305
35. Marcinik EJ, Potts J, Schlabach G, et al (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci Sports Exerc*; 23:739-43

## Cita Original

M Chtara, K Chamari, M Chaouachi, A Chaouachi, D Koubaa, Y Feki, G P Millet, and M Amri; Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity; *Br. J. Sports Med.*, Aug 2005; 39: 555 – 560