

Research

# Efectos del Entrenamiento de los Músculos Respiratorios sobre el VO<sub>2</sub> máx., el Umbral Ventilatorio y la Función Pulmonar

William E Amonette<sup>1</sup> y Terry L Dupler<sup>1</sup><sup>1</sup>*Fitness and Human Performance Laboratory, University of Houston-Clear Lake.*

## RESUMEN

Este estudio evaluó los efectos del entrenamiento de los músculos inspiratorios y espiratorios sobre la función pulmonar y el rendimiento en ejercicio máximo en triatletas de nivel competitivo y corredores de maratón. Los participantes en este estudio (n = 12) poseían un tiempo promedio de entrenamiento semanal de 7.5 horas de ciclismo, nado o carrera. Ocho sujetos fueron asignados al grupo tratamiento de fuerza pulmonar y a los cuatro sujetos del grupo control se les dio una falsa máquina de fuerza pulmonar que permitía una resistencia no mayor al 15% sobre la inspiración o la expiración. Los sujetos realizaron 30 maniobras de inhalaciones/exhalaciones máximas, en sus respectivas máquinas, dos veces al día durante cuatro semanas. Los sujetos fueron evaluados en capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV<sub>1</sub>), cociente FEV<sub>1</sub>/FVC, capacidad vital inspiratoria forzada (FIVC), tasa pico de flujo inspiratorio (PIFR), e índice pico de flujo espiratorio (PEFR). Cada sujeto también fue evaluado en el pico de exhalación forzada (P<sub>EF</sub>), así como en el máximo consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx.), producción de dióxido de carbono (VCO<sub>2</sub>), volumen corriente (V<sub>T</sub>), ventilación (V<sub>E</sub>), umbral ventilatorio (V<sub>T</sub>) y número de respiraciones por minuto (RR). Los datos revelaron que el entrenamiento, utilizando una máquina de fuerza pulmonar, produjo incrementos significativos en el V<sub>E</sub> y V<sub>T</sub> máximo mientras que decreció RR (sin que fuera estadísticamente significativa) en el ejercicio máximo. Sin embargo no fueron observados cambios significativos en el VO<sub>2</sub> o en ninguna función pulmonar medida.

**Palabras Clave:** pulmones, resistencia, respiración, triatletas

## INTRODUCCIÓN

Los efectos del entrenamiento de fuerza sobre el músculo esquelético están bien documentados (1). Cuando se realiza con las repeticiones planificadas correctamente con cargas específicas, el entrenamiento de fuerza puede producir hipertrofia del músculo esquelético, fuerza, o resistencia muscular local. Tradicionalmente los atletas de fuerza y potencia han utilizado el entrenamiento de la fuerza para incrementar el rendimiento deportivo mientras que los atletas de resistencia han desistido de estos entrenamientos creyendo que la hipertrofia del músculo puede disminuir el rendimiento aeróbico. Sin embargo, el músculo esquelético también controla muchos elementos cruciales del acondicionamiento aeróbico incluyendo la ventilación pulmonar. El diafragma, intercostales internos y externos, escalenos y músculos abdominales (o sea músculos respiratorios) ayudan a facilitar el aumento de la ventilación necesaria para mantener la oxigenación

sanguínea durante el ejercicio (2). Si estos músculos juegan un rol crucial durante el ejercicio, lógicamente uno podría pensar que deberíamos entrenarlos como a cualquier otro músculo esquelético.

Han sido fabricadas máquinas para ofrecer resistencia sobre la inhalación y exhalación y por ello causar un incremento en la tensión sobre los músculos respiratorios. Ha sido demostrado que esta resistencia facilita cambios positivos en la función pulmonar en personas con obstrucción pulmonar crónica (COPD). Villafrancia y cols. (3) mostraron incrementos en la presión inspiratoria máxima ( $PI_{m\acute{a}x}$ ) después de diez semanas de entrenamiento de los músculos inspiratorios utilizando un umbral de entrenamiento inspiratorio que otorgaba el 30% de la resistencia. De igual modo, Larson y Kim (4) observaron incrementos en la  $PI_{m\acute{a}x}$  después de un mes de entrenamiento muscular inspiratorio en personas con COPD.

Se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza pulmonar produce cambios sobre los perfiles enzimáticos en ovejas. Akabas y cols. (5) asignaron a nueve ovejas adultas a un grupo de entrenamiento y siete a un grupo control. El grupo experimental entrenó por 20 minutos usando resistencia de flujo inspiratorio (50-100 cm H<sub>2</sub>O) de cinco a seis veces por semana durante tres semanas. Al final se observaron cambios bioquímicos entre el grupo experimental y control. Comparado al grupo control, el diafragma del grupo experimental tenía un 26% de incremento en la citrato sintetasa (CS), un 29% de aumento en  $\beta$ -hidroxiacil-COA deshidrogenasa (BHA), y un 36 % de incremento en la citocromo oxidasa (COX). A partir de este estudio se puede concluir que los perfiles enzimáticos aeróbicos se incrementan significativamente en ovejas cuando son sometidas a stress inspiratorio. Un incremento de las enzimas aeróbicas durante el ejercicio en humanos puede derivar en una mayor eficiencia en la utilización de energía y una menor fatigabilidad en los músculos respiratorios.

Los datos en humanos saludables, que utilizaron entrenamiento de los músculos respiratorios con ejercicios, son limitados. En dos estudios separados, Suzuki y cols. (6,7) observaron cambios en el índice de esfuerzo percibido (RPE) después del entrenamiento de los músculos inspiratorios y espiratorios en adultos saludables. Suzuki concluyó que el entrenamiento muscular espiratorio no disminuyó el RPE a una carga determinada, mientras que el entrenamiento muscular inspiratorio disminuyó el RPE.

Los datos concernientes a atletas que realizaron entrenamiento muscular respiratorio son casi inexistentes. Se reconoce que los músculos respiratorios se adaptan al entrenamiento aeróbico (9, 10). Muchos de los atletas que practican deportes aeróbicos poseen músculos respiratorios muy bien entrenados solamente a causa de su deporte. Sin embargo, no se sabe si el entrenamiento respiratorio muscular adicional puede promover adaptaciones positivas en atletas aeróbicamente entrenados, para que produzcan procesos ventilatorios más eficientes. Durante las competiciones los atletas puedan realizar miles de respiraciones. Como el resto de los músculos esqueléticos, los músculos pulmonares requieren oxígeno, cuando entran en el metabolismo aeróbico. La resistencia a la fatiga de estos procesos está relacionada al estado de entrenamiento del músculo. Si el músculo está más entrenado en resistencia, entonces será menos probable que restrinja la ventilación y el rendimiento durante el ejercicio.

El propósito de nuestro trabajo fue investigar los efectos del entrenamiento de los músculos respiratorios sobre la función pulmonar y el rendimiento, durante el ejercicio en triatletas y corredores de maratón, utilizando una máquina Powerlung. Nosotros hipotetizamos que el grupo experimental podría incrementar la función pulmonar durante el ejercicio e incrementar las funciones pulmonares dinámicas. Nosotros no creíamos que tanto el grupo experimental como control pudieran incrementar el  $VO_2$  máx. o el umbral ventilatorio.

## MÉTODOS

---

### Sujetos

Un total de doce sujetos (9 hombres, 3 mujeres) fueron reclutados desde clubes de maratón y triatlón. Los sujetos poseían un promedio de entrenamiento de 7.5 horas por semana (con un rango de 5 a 10 horas). Cada sujeto fue informado acerca de los riesgos y beneficios del estudio, se les hizo saber de su derecho a retirarse del estudio en cualquier momento, y posteriormente firmaron un consentimiento escrito aprobado por la Universidad de Houston. Ocho sujetos (6 hombres, 2 mujeres) fueron asignados al grupo tratamiento Powerlung (PLT) y cuatro sujetos (3 hombres, 1 mujer) fueron asignados al grupo control (CON). Las características físicas del grupo experimental y control son presentadas en la Tabla 1.

| Grupo      | N | Edad (Años) | Altura (Cm) | Peso (Kg)  |
|------------|---|-------------|-------------|------------|
| <i>Plt</i> | 8 | 36.75±8.83  | 174.5±9.41  | 72.94±7.22 |
| <i>Con</i> | 4 | 34.75±7.05  | 172.8±4.22  | 71.23±3.64 |

**Tabla 1.** Datos en medias  $\pm$  DS de las características del grupo

## Evaluación de Ejercicio Máximo

Se evaluó a cada sujeto en una evaluación máxima en cinta ergómetro, antes y después del entrenamiento con Powerlung. El protocolo de  $VO_2$  máximo consistió en etapas de trabajo de 1.5 minutos, si se completaba exitosamente se pasaba a una mayor dificultad incrementando los grados de la cinta en 1%. La velocidad de la evaluación fue constante, y fue seleccionada basada en el tiempo en el que los sujetos recorrían 5 km. El protocolo tuvo dos etapas de carrera hasta la velocidad seleccionada, para facilitar la transición a la velocidad de la evaluación. Además de las dos etapas de carrera en rampa hechas en el protocolo, se les permitió a los sujetos realizar un calentamiento en la cinta ergométrica tan largo como ellos necesitaran antes de comenzar la evaluación. El protocolo continuó incrementando el ángulo de la cinta en 1% hasta que el sujeto alcanzaba su máximo esfuerzo (o sea pidiendo el detenimiento de la cinta o tirando de la baranda de la cinta). Los datos metabólicos fueron colectados utilizando una carta metabólica Quinton (Modelo QMC). Las muestras del QMC provenían de una cámara mixta, cada 15 segundos y proveían información acerca de consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), ventilación (VE), número de respiraciones por minuto (RR), volumen de dióxido de carbono producido ( $VCO_2$ ), y umbral ventilatorio ( $V_T$ ). El umbral ventilatorio fue derivado del método V-SLOPE de la versión de software 3.3 Quinton Metabolic (8). La frecuencia cardíaca (HR) fue medida usando un electrocardiograma de 5 derivaciones a partir del sistema de evaluación de stress Quinton Q-4500.

## Test de Función Pulmonar

Se evaluó a cada sujeto en una evaluación de espirometría utilizando un espirómetro Chest Test (Vaccumed, Ventura, CA) previo a la evaluación de  $VO_2$  máx, antes y después del entrenamiento. Cada sujeto se colocó de frente al espirómetro y realizó una inhalación máxima, seguida de una exhalación máxima forzada dentro de un tubo, todo el aire fue expulsado. Los sujetos realizaron después una inhalación máxima para completar la maniobra. La evaluación espirométrica Chest, provee información de capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en un segundo ( $FEV_1$ ), cociente  $FEV_1/FVC$ , cociente pico de flujo espiratorio (PEFR), y la tasa pico de flujo inspiratorio (PIFR).

Cada sujeto también realizó una evaluación de fuerza pico de exhalación ( $P_{EF}$ ) para determinar la fuerza de los músculos espiratorios. La fuerza fue medida usando un esfigmomanómetro mercury. Los sujetos realizaron una inhalación máxima y posteriormente exhalaban en contra de una válvula cerrada. Se evaluó la fuerza máxima en mmHg, durante un máximo de tres pruebas. La evaluación  $P_{EX}$  fue realizado antes y después del entrenamiento posterior a la evaluación espirométrica pero antes de la evaluación de  $VO_2$  máx. La confiabilidad test-retest fue realizada en el aparato respiratorio usando a 8 estudiantes graduados ( $r=0.92$ ).

## Entrenamiento

Por la duración del estudio, se les pidió a los sujetos mantener su entrenamiento aeróbico presente y no incrementar o disminuir su tiempo de entrenamiento para eliminar la posibilidad de las adaptaciones producidas por el ejercicio (9, 10). Ambos grupos realizaron 30 ciclos máximos de inhalación/exhalación en la máquina de entrenamiento Powerlung dos veces al día durante cuatro semanas. La máquina permitía variar la resistencia sobre la inhalación y la exhalación a través de un botón de ajuste. Después de la evaluación máxima, se le entregó al grupo experimental una máquina Powerlung y se les pidió a los sujetos que sigan el protocolo anteriormente mencionado como lo sugieren los fabricantes de Powerlung. Se les ordenó a los sujetos ajustar la resistencia para permitir 30 ciclos de inhalación y exhalación cerca de su máximo esfuerzo (o sea 30 MR). Los sujetos controlaron la resistencia vía ensayo y error.

De la misma manera, a los sujetos asignados al grupo control se les dio una falsa máquina después de las evaluaciones máximas. La máquina falsa era idéntica a la Powerlung, pero los mecanismos internos de la máquina eran falsos, contruidos para ofrecer una resistencia no mayor al 15%. A los sujetos control se les dieron las mismas instrucciones que al grupo experimental. Nadie fue informado a que grupo fue asignado hasta que se realizó la última evaluación máxima.

## Análisis Estadístico

Todos los datos se procesaron utilizando un análisis de varianza (ANOVA) con mediciones repetidas. El resumen de los

datos fue procesado en Microsoft Excel con el software estadístico SPSS que derivó todos los cocientes-F. Todos los coeficientes-F significativos fueron analizados utilizando un test post hoc Tukey y los valores p representan ajustes para esfericidad Greenhouse-Geisser. Los datos antropométricos se presentan como medias  $\pm$  desvíos estándar (DS), mientras que todos los ejercicios y variables pulmonares dependientes son expresadas como medias  $\pm$  error estándar de la media (SEM). El porcentaje de cambio fue calculado usando Microsoft Excel con la fórmula de % de cambio  $[(X2-X1)/X1] \times 100$ .

| Variable                               | Media Pre         | Media Pos         | % De Cambio | Valor P/B     |
|--|-------------------|-------------------|-------------|---------------|
| PLT VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)    | 55.35 $\pm$ 2.70  | 55.86 $\pm$ 2.54  | 0.92%       | $\beta = .14$ |
| CON VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)    | 53.45 $\pm$ 3.95  | 52.53 $\pm$ 3.85  | -1.72%      | P =0.36       |
| PLT V <sub>e</sub> max (l/min)         | 138.16 $\pm$ 7.37 | 142.71 $\pm$ 8.29 | 3.29%       | $\beta = .57$ |
| CON V <sub>e</sub> max (l/min)         | 125.60 $\pm$ 8.69 | 125.60 $\pm$ 9.69 | 0.00%       | P =0.04       |
| PLT V <sub>I</sub> max (l/respiración) | 3.03 $\pm$ 0.16   | 3.84 $\pm$ 0.26   | 26.73%      | $\beta = .55$ |
| CON V <sub>I</sub> max (l/respiración) | 3.30 $\pm$ 0.44   | 3.05 $\pm$ 0.45   | -7.58%      | P =0.04       |
| PLT R <sub>max</sub> (respiración/min) | 52.38 $\pm$ 2.40  | 50.50 $\pm$ 1.60  | -3.59%      | $\beta = .84$ |
| CON R <sub>max</sub> (respiración/min) | 47.00 $\pm$ 5.48  | 47.25 $\pm$ 5.84  | 0.53%       | P =0.57       |
| Plt Vt (%Vo <sub>2</sub> máx.)         | 77.13 $\pm$ 7.38  | 74.50 $\pm$ 1.54  | -3.41%      | $\beta = .13$ |
| Con Vt (%Vo <sub>2</sub> máx.)         | 73.25 $\pm$ 5.65  | 75.00 $\pm$ 2.35  | 2.39%       | P =0.34       |

**Tabla 2.** Estadística descriptiva (media  $\pm$  error estándar de la media (SEM)) para los datos de ejercicios a máxima intensidad. PLT = tratamiento; CON = control; VO<sub>2</sub> máx. = máximo consumo de oxígeno; V<sub>e</sub> = ventilación en Lt/min; V<sub>I</sub> = volumen corriente; R = cociente respiratorio; V<sub>T</sub> = Umbral Ventilatorio.

## RESULTADOS

Los resultados están provistos en la Tabla 2 y 3 para todos los ejercicios máximos y los datos de la función pulmonar, respectivamente.

## DISCUSIÓN

### Variabes de Ejercicio

El propósito de este estudio fue determinar si la función pulmonar o el rendimiento durante el ejercicio puede ser cambiado a través de entrenamiento específico de los músculos respiratorios utilizando una máquina de fuerza Powerlung. La respiración es solo un componente de la capacidad aeróbica. El rendimiento cardiaco es generalmente considerado como el principal factor limitante del ejercicio aeróbico. En el ejercicio máximo, el cociente ventilación/perfusión crece 4,0 veces, indicando que ventilamos cuatro veces el volumen de aire que posteriormente es provisto al flujo sanguíneo pulmonar (10). Las investigaciones demuestran que los corredores con menos respuesta a la ventilación durante el ejercicio máximo se encuentran más hipoxémicos y acidóticos (11). Esto puede ser atribuido a una hiperventilación inadecuada, que reduce la exhalación de CO<sub>2</sub> y la remoción de protones sanguíneos.

En un estudio realizado por Boutellier et al. (2) en atletas aeróbicamente entrenados, utilizando una máquina de fuerza respiratoria diferente a la Powerlung, los investigadores no encontraron incrementos significativos en el VO<sub>2</sub> máx. o V<sub>T</sub> durante una evaluación en cicloergómetro. Sin embargo, ellos vieron un incremento en el tiempo de ciclismo submáximo. Como el grupo de Boutellier, nosotros no observamos incrementos en el VO<sub>2</sub> máx. o V<sub>T</sub>. Los sujetos que fueron evaluados en nuestro estudio eran atletas bien entrenados aeróbicamente. Los cambios significativos en el VO<sub>2</sub> máx. en atletas de alto calibre aeróbico son raramente observados en periodos cortos de tiempo, y son usualmente una función de altos niveles de entrenamiento aeróbico durante un largo periodo de tiempo. Por este motivo nosotros no esperábamos cambios en el VO<sub>2</sub>

durante un estudio de cuatro semanas.

| Variable                   | Media Pre  | Media Pos   | % De Cambio | Valor P/B     |
|----------------------------|------------|-------------|-------------|---------------|
| Plt Fvc (L)                | 4.98±0.30  | 5.02±0.27   | 0.80%       | $\beta = .06$ |
| Con Fvc (L)                | 4.69±0.34  | 4.67±0.39   | -0.43%      | P =0.77       |
| Plt Fev <sub>1</sub> (L)   | 3.77±0.16  | 3.77±0.15   | 0.00%       | $\beta = .06$ |
| Con Fev <sub>1</sub> (L)   | 3.68±0.28  | 3.71±0.30   | 0.82%       | P =0.74       |
| PLT P <sub>EF</sub> (mmHg) | 121.0±7.78 | 149.25±9.97 | 23.35%      | $\beta = .28$ |
| CON P <sub>EF</sub> (mmHg) | 143±29.03  | 145.5±25.33 | 1.75%       | P =0.16       |
| Plt Índice                 | 0.77±0.00  | 0.76±0.00   | -1.30%      | $\beta = .13$ |
| Con Índice                 | 0.79±0.00  | 0.8±0.00    | 1.27%       | P =0.38       |
| PLT PEFR (L/s)             | 9.38±0.56  | 9.35±0.53   | -0.32%      | $\beta = .10$ |
| CON PEFR (L/s)             | 7.95±0.46  | 7.87±0.50   | -1.01%      | P =0.49       |
| Plt Fivc (L)               | 4.52±0.30  | 4.51±0.23   | -0.22%      | $\beta = .07$ |
| Con Fivc (L)               | 4.44±0.30  | 4.31±0.38   | -2.93%      | P =0.64       |

**Tabla 3:** Estadística descriptiva (medias  $\pm$  error estándar de la media (SEM)) para las variables pulmonares.

PLT = tratamiento; CON = control; FVC = capacidad vital forzada; FEV<sub>1</sub> = volumen expiratorio forzado en un minuto; P<sub>EF</sub> pico de fuerza de exhalación; Índice es FVC/FEV<sub>1</sub>, PEFR = tasa pico de flujo expiratorio, FIVC = tasa de fluido expiratorio forzada.

Sin embargo, utilizando atletas altamente acondicionados aeróbicamente se crearon las condiciones ideales para controlar la evaluación Powerlung. Debido a que nuestros sujetos han maximizado las adaptaciones pulmonares producidas sólo por el acondicionamiento aeróbico, cualquier cambio observado en el consumo de oxígeno o en la función pulmonar pueden ser atribuidas al entrenamiento mediante la máquina Powerlung.

Nosotros esperábamos ver cambios en la función pulmonar durante el ejercicio. Debido a que los sujetos han entrenado los músculos respiratorios, ellos podrían incrementar la ventilación. El incremento en V<sub>E</sub> y la caída en RR en el grupo experimental indica que la máquina Powerlung incrementó la fuerza de los músculos respiratorios. El incremento de la fuerza de los músculos respiratorios permitió a los sujetos realizar más trabajo (o sea mover mas aire) mientras respiraban menos veces.

Trabajos previos de Hanel y Secher (12) mostraron resultados similares. Estos investigadores estudiaron el entrenamiento de los músculos inspiratorios en 20 estudiantes de educación física. Los estudiantes entrenaron utilizando una máquina similar a la Powerlung, pero que solo permitía resistencia inspiratoria. Los estudiantes entrenaron con la maquina por 10 min dos veces al día con un incremento progresivo de la resistencia por 27.5 días. El VO<sub>2</sub> máx. fue medido en una evaluación en cinta ergométrica antes y después del entrenamiento y se reportó una caída de 3 respiraciones/min durante el ejercicio máximo en el grupo que entrenó, sin cambios en el grupo control. Un pequeño incremento en el VO<sub>2</sub> (~2L/min) fue observado en el grupo experimental y control, desde la pre a la pos-evaluación. De la misma manera, nuestro estudio reveló cambios en RR con una caída promedio de 1.88 respiraciones/minuto en el ejercicio máximo (Tabla 2). Sin embargo, Hanel y Secher (12) vieron una caída en 2L/min en el grupo experimental después de 27.5 días de entrenamiento de los músculos inspiratorios, dónde nosotros observamos un incremento de 4.53 L/min en el V<sub>E</sub> después del entrenamiento con Powerlung.

Mientras que el incremento en la función de los músculos pulmonares no resultó en un incremento en el VO<sub>2</sub>, este aumento podría ser beneficioso en ejercicios de mayor duración. La evaluación máxima en cintaergométrica duró en promedio 9-12 minutos. La evaluación fue diseñada para terminar en periodos relativamente cortos de tiempo, por ello la descarga de oxígeno central y periférica, constituyen los factores limitantes y no la fatiga de las piernas. Si existiera algún cambio relacionado al entrenamiento pulmonar de resistencia, estos posiblemente, serian más potentes si ocurrieran durante un periodo mayor de 9-12 minutos. Durante la duración de una maratón o un triatlón, los atletas toman miles de respiraciones. Esto equipara la gran cantidad de fluido de aire y relaciona la liberación de oxígeno que debe ser distribuido a los músculos pulmonares para facilitar los mecanismos de ventilación. Si el RR puede caer por 2 respiraciones/minuto

como vimos en nuestro estudio, y la  $V_E$  puede incrementarse o mantenerse constante, un atleta puede respirar significativamente menos veces durante la competición. Este oxígeno que se distribuiría a los músculos pulmonares podría ser utilizado por otros músculos en contracción para incrementar o prolongar el rendimiento durante el ejercicio.

## Variables Pulmonares

La lectura de la espirometría no cambió significativamente con el entrenamiento con Powerlung. O' Kroy y Coast (13) examinaron a diecinueve estudiantes desentrenados asignados aleatoriamente a un grupo control, o un grupo de entrenamiento, grupo de entrenamiento inspiratorio, grupo de entrenamiento espiratorio, o un grupo de hiperventilación. Los sujetos entrenaron cuatro días por semana, 20 minutos por día, durante cuatro semanas. Los sujetos que entrenaron con carga inspiratoria mostraron incrementos en MIP y MIF, mientras que el grupo de entrenamiento espiratorio mostró incrementos en la máxima presión de espiración ( $M_{EP}$ ) y fuerza espiratoria ( $M_{EP}$ ). El único otro grupo que mostró cambios significativos, fue el grupo de hiperventilación, el cual exhibió un incremento en  $M_{EP}$ , ventilación máxima voluntaria (MVV), ventilación máxima sostenida por 4 minutos (MSVV), y MIF. Esta investigación sugiere que el entrenamiento de fuerza ofrece algunos beneficios en la resistencia a la fatiga en estudiantes desentrenados. La investigación también sugiere que los músculos inspiratorios, como otros músculos esqueléticos, se adaptan de acuerdo al stress que al que son sometidos (2).

Tzelpis y cols. (14,15) mostraron resultados similares en un estudio con diecinueve estudiantes desentrenados utilizando un entrenamiento de flujo específico. Tzelpis asignó a los estudiantes a tres grupos de entrenamiento: de baja, mediana, y alta presión. El grupo de alta presión realizó 30 contracciones inspiratorias máximas estáticas en contra de una válvula ocluida. El grupo de baja presión realizó 30 inspiraciones máximas en contra de una válvula no ocluida, y el grupo de media presión realizó 30 contracciones máximas a través de un tubo de resistencia de 7 mm. Los resultados fueron específicos al tipo de entrenamiento. El grupo de entrenamiento de alta presión tuvo el más alto incremento en el pico de presión esofágica ( $P_{ES}$  máx.) y la máxima tasa de flujo inspiratorio ( $V_I$  máx.). Tzelpis y col. (14, 15) concluyeron que los grupos que entrenaron utilizando resistencia de alta presión tuvieron el mayor incremento en  $P_{ES}$  máx. mientras que el grupo de entrenamiento con mayores índices de flujo (o sea grupo de baja presión) tuvo un mayor incremento en  $V_I$  máx. comparado a los otros dos grupos que entrenaron con mayor presión.

Se sabe que los músculos pulmonares se adaptaran al entrenamiento aeróbico (9,10), por lo tanto podríamos esperar ver menores cambios en atletas entrenados aeróbicamente, ya que sus músculos pulmonares están muy desarrollados. Hanel y Sechler (12) no observaron cambios en  $FEV_1$ , FVC,  $FEV_1/FVC$ , y el índice del pico del fluido espiratorio después de 27.5 días de entrenamiento. Del mismo modo Boutellier y cols. (2) no encontraron cambios en el índice del pico del fluido espiratorio o  $FEV_1$ .

## CONCLUSIÓN

Puede ser concluido, en general a partir de nuestra investigación que la máquina Powerlung promueve cambios positivos en los músculos pulmonares. La máquina Powerlung incrementó la fuerza de los músculos respiratorios como ha sido visto a través del incremento en  $P_{EX}$ ,  $V_E$ ,  $V_T$  junto a una caída de RR en el ejercicio máximo. La máquina no produjo cambios significativos en el  $VO_2$  máx. Se podría deducir que un periodo mayor de entrenamiento (8-12 semanas) revelaría cambios más significativos. Investigaciones con atletas de nivel intermedio podrían producir mayores cambios.

Cuando se realicen más investigaciones con atletas altamente entrenados, uno también debería intentar considerar diferentes protocolos de entrenamiento. En todas las formas de entrenamiento de fuerza, no solo con intensidades incrementadas, aún cuando el promedio de la duración también sea variado. Tal vez entrenar con mayor volumen (o sea más repeticiones) podría producir cambios metabólicos más favorables en los músculos respiratorios.

Tanto atletas y como científicos hacen lo posible por empujar los límites del rendimiento humano, cada forma de entrenamiento podría ser explorada. El entrenamiento de fuerza pulmonar con atletas es todavía relativamente nuevo, y solo se han hecho muy pocas investigaciones. Como los records siguen cayendo en el mundo atlético, se deberían continuar realizando investigaciones sobre el entrenamiento de la fuerza pulmonar junto con otros aspectos del rendimiento durante el ejercicio.

## AGRADECIMIENTOS

El capital para este estudio fue provisto por Powerlung Inc. Los autores quieren agradecer sinceramente a todos los participantes de este estudio y al Club de Triatlón Bay Area por su publicidad.

## REFERENCIAS

---

1. Baichle TR (1994). Essentials of Strength and Conditioning. *Human Kinetics, Champaign, IL*
2. Boutellier U, Baechel R, Kudent A, & Piwko, R (1992). The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects. *Eur J Appl Physiol*; 65: 347-353
3. Villafranca C, G, Leiva A, & Lisboa C (1998). Effects of inspiratory muscle training with an intermediate load on inspiratory power output in COPD. *Eur J Sports Med*; 10 (8): 542-547
4. Larson M, & Kim MJ (1984). Respiratory muscle training with the incentive resistive breathing device. *Heart Lung*; 13 (4): 341-345
5. Akkbas SR, Bazy AR, Dimauro S, & Haddad GG (1989). Metabolic and Functional adaptation of the diaphragm to training and resistive loads. *J Appl Physiol*; 66 (2): 529-535
6. Suzuki S, Sato M, & Okubo T (1995). Expiratory muscle training and sensation of respiratory effort during exercise in normal subjects. *Thorax*; 50 (4): 537-542
7. Suzuki S, Yoshiike Y, Suzuki M, Akahori T, Hasegawa A., & Okubo T (1993). Expiratory muscle training and respiratory sensation during treadmill exercise. *Chest*; 104 (1): 197-202
8. Maud PJ, and Foster C (1995). Assessment of Human Fitness. *Human Kinetics, Champaign, IL*
9. McArdle WJ, Katch FI, and Katch VL (1996). Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance. 4th ed. *Human Kinetics, Champaign, IL*
10. Power SD, Coombes J, & Dermirel H (1997). Exercise training-induced changes in respiratory muscles. *Sports Med*; 1 (1): 120-131
11. Dempsey J, Hanson P, Pegelow D, Caremont A, & Rankin J (1982). Limitations to exercise capacity and endurance: pulmonary system. *Can J Exerc Physiol*; 7 (1): 4-13
12. Hanel, B., & Secher, N.H (1991). Maximal oxygen uptake and work capacity after inspiratory muscle training: a controlled study. *J Sports Sci*; 9 (1): 43-52
13. Tzelpis GE, Kasas V, and McCool FD (1999). Inspiratory muscle adaptations following pressure or flow training in humans. *Eur J Appl Physiol*; 79 (6): 467-471
14. Tzelpis GE, Vega D, Cohen ME, Fulambarker AM, Kishor KL, and McCool D (1994). Pressure-flow specificity of inspiratory muscle training. *J Appl Physiol*; 77 (2): 795-801

### Cita Original

William E Amonette, Terry L. Dupler. The effects of respiratory muscle training on VO<sub>2</sub> max, the ventilatory threshold and pulmonary function. *JEPonline*; 5 (2): 29-35, 2002.