

Monograph

# El Ejercicio Abdominal Repetido Induce la Fatiga Muscular Respiratoria

Christopher L Gómez, Lisa M Strongoli y Richard Coast

*SA Rasmussen Exercise Physiology Laboratory, Department of Biological Sciences, Northern Arizona University, Flagstaff, AZ, USA.*

## RESUMEN

Se sabe que los períodos prolongados de hiperpnea o respiración forzada dan como resultado la fatiga de los músculos respiratorios, pues son ejercicios principalmente no respiratorios, como la carrera máxima o el ciclismo máximo. Sin embargo, estos ejercicios tienen un gran componente ventilatorio y aún puede discutirse si son actividades respiratorias. El entrenamiento de los abdominales se ha utilizado para incrementar la fuerza muscular respiratoria pero no se han realizado estudios para determinar si este tipo de actividad no respiratoria puede causar fatiga respiratoria. El propósito de este estudio fue analizar el efecto que tienen los ejercicios abdominales sobre diferentes parámetros de la fuerza y la resistencia muscular respiratoria. Se realizaron mediciones de la función pulmonar, la presión máxima de inspiración (MIP), la presión máxima de espiración (MEP) y un test de respiración incremental en ocho individuos antes y después de completar una agotadora serie ininterrumpida de ejercicios abdominales. Cada sujeto actuó como su propio control tomando las mismas mediciones de 3 a 5 días luego de la serie de ejercicios, sustituyendo descanso por ejercicio. Luego de la fatiga inducida por los ejercicios abdominales, se observaron disminuciones significativas en la MIP [de  $121.6 \pm 26$  a  $113.8 \pm 23$  cm H<sub>2</sub>O ( $p < 0.025$ )], y en la duración del test de respiración incremental [ $9.6 \pm 1.5$  a  $8.5 \pm 0.7$  minutos ( $p < 0.05$ )]. No se observaron disminuciones significativas entre las mediciones de control pre-test y las mediciones de control post-test. Se concluye que después de una agotadora serie ininterrumpida de ejercicios abdominales se produce una reducción en la fuerza (MIP, MEP) y en la resistencia muscular respiratoria (duración del test de respiración incremental), pero no en la función pulmonar espirométrica.

**Palabras Clave:** presión máxima de inspiración, test de resistencia respiratoria, músculos inspiratorios, abdominales

## INTRODUCCION

Se han realizado pocos estudios para evaluar los ejercicios no respiratorios y la manera en que estos afectan la resistencia y la fuerza muscular respiratoria. Se ha descubierto que las maniobras no respiratorias activan el diafragma en diferentes grados, dependiendo del tipo de ejercicio (Al-Bilbeisi y McCool, 2000; Strongoli et al., 2008). Al-Bilbeisi y McCool (2000) evaluaron el uso de los ejercicios abdominales, el press de banca, los curls de bíceps y el levantamiento de potencia para analizar cuál tenía el mayor efecto sobre la presión transdiafragmática (Pdi); y llegaron a la conclusión de que la Pdi se encontraba en el nivel máximo al momento de la inhalación durante el ejercicio de abdominales. Durante el trabajo preliminar en el laboratorio, se evaluaron varios ejercicios del núcleo corporal de diferentes grados de dificultad y se obtuvo una amplia variedad de presiones transdiafragmáticas, siendo los abdominales convencionales los que provocaban

las presiones mayores (Strongoli et al., 2008).

Depalo et al. (2004) realizaron un estudio que evaluó el efecto de un programa de entrenamiento de 16 semanas con ejercicios abdominales y curls de bíceps sobre diversas mediciones respiratorias, incluyendo el grosor del diafragma, la presión máxima de inspiración (MIP) y la presión máxima de espiración (MEP). Se observaron incrementos significativos en todas las mediciones. El incremento en el grosor del diafragma fue un hallazgo novedoso que proveyó un sólido vínculo entre el entrenamiento que utilizaba un ejercicio no respiratorio y su efecto directo en la hipertrofia de un músculo inspiratorio clave.

Estudios previos brindan la prueba concluyente de que los músculos abdominales son claves en la ventilación, pero el efecto que tiene la ventilación sobre la actividad muscular espiratoria no se ha estudiado tanto como el que tienen los músculos inspiratorios. Suzuki et al. (1991) utilizaron series de respiración espiratoria con carga hasta llegar al agotamiento y hallaron que la MEP disminuyó luego de todas las cargas utilizadas y la MIP disminuyó luego de las dos cargas mayores de las tres. Kyroussis et al. (1996) investigaron el efecto de la ventilación máxima isocápnic (MIV) sobre la fatiga muscular abdominal. Después de dos minutos de MIV, las presiones de contracción gástrica (provocadas mediante la estimulación magnética de los músculos abdominales) exhibieron reducciones significativas con respecto al valor inicial y permanecieron reducidas durante 90 minutos tras la serie de ventilación.

Un estudio realizado por Hamnegard et al. (1996) proporcionó un vínculo entre la ventilación máxima y la fatiga de los músculos respiratorios (específicamente el diafragma). Luego de una serie de MIV que duró dos minutos, se observaron reducciones significativas en las presiones de contracción transdiafragmáticas. Johnson et al. (1993) hallaron una conexión similar. Utilizaron una estimulación bilateral del nervio frénico (BPNS) antes y después de que los sujetos ejercitaran al 85 y 95 por ciento del  $VO_2$  máx durante un período de tiempo extendido. Luego de la serie del ejercicio de resistencia se observó la fatiga del diafragma, lo que demostró una relación entre la ventilación (inducida por el ejercicio de resistencia) y la fatiga muscular respiratoria.

Los estudios llevados a cabo por Kyroussis et al. (1996) y Hamnegard et al. (1996) demostraron que la fatiga fue inducida por la ventilación máxima. Sin embargo, el interés estuvo puesto en otro aspecto de esta cuestión: el concepto de utilizar ejercicios para los músculos abdominales y de analizar el efecto que tienen los ejercicios no respiratorios que se realizan hasta llegar a la fatiga sobre la fuerza (MIP, MEP) y la resistencia muscular respiratoria utilizando un test de respiración incremental (IBT). Según se sabe, esto aún no se ha estudiado. Además, la resistencia respiratoria no se ha estudiado de ninguna manera en relación con el ejercicio abdominal. El propósito del presente estudio fue, por lo tanto, analizar el efecto de los ejercicios abdominales sobre cuatro parámetros respiratorios, la capacidad vital forzada (FVC), la MIP, la MEP, y un test de respiración incremental (IBT). Se planteó la hipótesis de que al realizar una serie de abdominales hasta llegar a la fatiga se produciría una disminución en la MEP (pues los músculos abdominales son principalmente espiratorios), en el test de respiración incremental y en la medición de la MIP, y que no se produciría ningún cambio en la FVC.

## METODOS

---

### Sujetos

A efectos de este estudio, se reclutaron ocho sujetos en buen estado de salud (4 hombres, 4 mujeres) de entre 21 y 53 años. Los participantes tenían una estatura media de  $1.75 \pm 0.10$  m, un peso promedio de  $64 \pm 29$  kg y todos gozaban de buena salud, con funciones pulmonares normales según las definen los valores de FVC y  $FEV_{1.0}$  de entre 99.5 a 128.5 % de lo pronosticado (Knudsen, et al 1976). Los sujetos realizaban actividad física regularmente, desde ciclismo y carrera recreacional hasta carrera, ciclismo y natación de competición. El estudio fue aprobado por el Comité de Evaluación Institucional (Institutional Review Board - IRB) de la Universidad de Arizona del Norte.

### Diseño del Estudio

Los sujetos visitaron el laboratorio tres veces. En la primera visita, los participantes firmaron un documento para dar su consentimiento, y se les explicaron todos los procedimientos. Luego, los participantes tuvieron la oportunidad de practicar las mediciones (FVC, MIP, MEP e IBT en orden) que se realizarían durante los días de ejercicio y control.

La segunda visita fue el día de la ejercitación. Los sujetos realizaron las mismas cuatro mediciones antes y después de una serie de abdominales hasta llegar a la incapacidad para realizar la tarea. Los abdominales se realizaron con los brazos cruzados sobre el pecho y con las rodillas flexionadas a  $90^\circ$  aproximadamente con los pies de los participantes apoyados

sobre el suelo. Los individuos se incorporaban hasta que los codos tocaban las rodillas, dejando el torso a 75-90° del suelo aproximadamente. También se les pidió a los sujetos que inhalaran al realizar la contracción ascendente y que exhalaran al relajarse y regresar a la posición supina (Al-Bilbeisi y McCool, 2000). Los participantes realizaron 30 abdominales por minuto. El trabajo se completó en series de 30 abdominales con un minuto de descanso entre las series hasta que ya no pudiesen realizar al menos 15 abdominales (una reducción del 50%). Se monitoreó y registró el tiempo en el que los sujetos realizaron los abdominales. Se utilizó un metrónomo configurado a sesenta pulsos por minuto para mantener a los sujetos a un ritmo de contracción ascendente de un segundo y de relajación descendente de un segundo, destinando dos segundos para realizar un ejercicio abdominal completo. Cuando los sujetos ya no podían mantener el ritmo, realizaban abdominales a su propio ritmo. Si el individuo completaba más de diez series de abdominales (300 en total) en ritmo, el tiempo de recuperación se reducía a la mitad, a 30 segundos. Si los individuos realizaban 20 series de abdominales (600 en total) se los detenía y se registraba el tiempo. Al final de la serie de abdominales, los participantes volvían a completar las cuatros mediciones (FVC, MIP, MEP, IBT) dentro de alrededor de 10 minutos de terminado el ejercicio.

La tercera visita fue el día de control. Esta sesión se llevó a cabo con un mínimo de tres días posteriores a la sesión de ejercitación a fin de permitir la recuperación. Los participantes realizaron el mismo protocolo que el día de ejercitación, sustituyendo descanso por el tiempo que duró el ejercicio abdominal en la sesión previa.

## Mediciones

Las mediciones que se llevaron a cabo antes y después del ejercicio, y antes y después del descanso fueron: FVC, MIP, MEP, y un IBT. La FVC se midió con la utilización de un espirómetro estándar (Spirometrics, Inc., Auburn, ME). Se le pidió a los participantes que realizaran una inhalación máxima y luego espiraran tan rápido y con tanta fuerza como les fuera posible y se les dio ánimo para que continuaran hasta que se observara un estancamiento en el espirograma. La MIP se midió según lo expresa la Sociedad Torácica Americana (ATS)/la Sociedad Respiratoria Europea (ERS) (2002) para las pruebas de los músculos respiratorios. Se les pidió a los participantes que exhalaran hasta el volumen residual (RV) y que luego realizaran una inhalación máxima a través de un conducto de aire obstruido (S&M Instrument Company INC., Doylestown, PA). La MEP se midió según lo expresa la ATS/ERS para las pruebas de los músculos respiratorios. Se les pidió a los participantes que inhalaran hasta su capacidad pulmonar total (TLC) y que luego realizaran una exhalación máxima a través de un conducto de aire obstruido, utilizando el mismo aparato que se utilizó para la medición de la MIP.

El IBT se desarrolló luego de un estudio realizado por Viložni et al. (1987). Se les pidió a los participantes que comenzaran respirando a 20 L·min<sup>-1</sup> para las mujeres y a 30 L·min<sup>-1</sup> para los hombres durante dos minutos. Cuando se completaron los dos minutos, se les pidió a los sujetos que incrementaran el ritmo de la respiración en 20 L·min<sup>-1</sup> para las mujeres y 30 L·min<sup>-1</sup> para los hombres. Luego de cada etapa de dos minutos, se implementaron los mismos incrementos y se continuó hasta que los sujetos no pudieron alcanzar el nivel ventilatorio fijado, lo que se consideró como fatiga (Bai, et al., 1984). El espacio muerto se agregó para evitar la incomodidad de los sujetos. Para los niveles de ventilación de hasta 60 L·min<sup>-1</sup>, se colocó un tubo de 1100 mL entre la válvula de respiración y el sujeto, mientras que para la ventilación que superaba los 60 L·min<sup>-1</sup>, se utilizó un tubo de espacio muerto de 1850 mL. La ventilación se midió utilizando un medidor de volumen (Rayfield Equipment, Waitsfield, VT) y se exhibió *on-line* a fin de brindarles las observaciones a los sujetos. El tiempo hasta el agotamiento se registró como duración de la ventilación.

Se utilizaron medidas antropométricas para estimar los volúmenes normales de los pulmones. Las mediciones de la MIP y la MEP se repitieron tres veces antes y después del ejercicio y del período de control y se tomó el promedio de los dos valores más altos dentro de 5 cm de H<sub>2</sub>O para cada ocasión. La FVC también se repitió tres veces antes y después del ejercicio y del período de control, y se registró el valor más elevado para cada uno. La duración del BIT y el índice de ventilación máxima se registraron cuando el sujeto detenía la prueba.

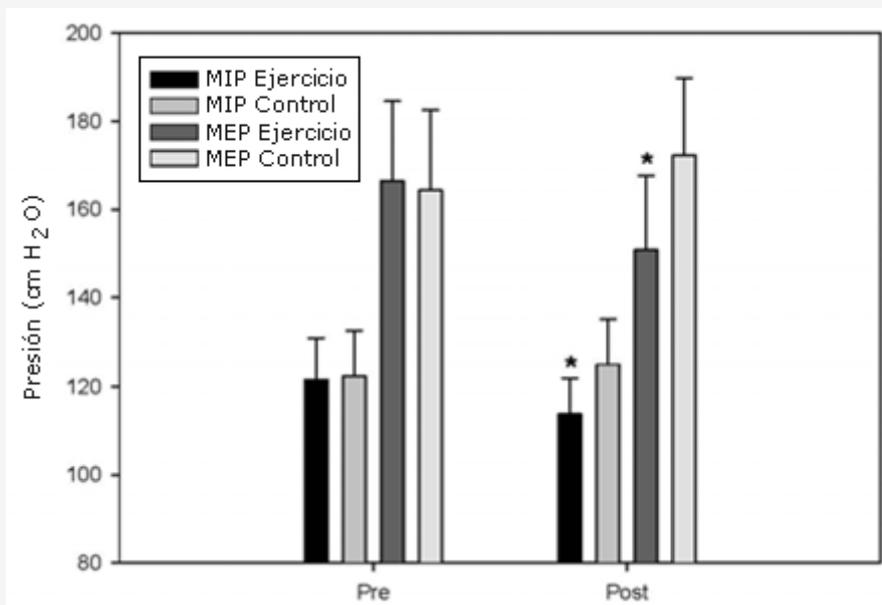
## Análisis Estadísticos

Los datos de todas las mediciones se presentan como medias ± desviaciones estándar (DE) para las condiciones de control y ejercicio. Las estadísticas se calcularon utilizando el análisis de varianza ANOVA de dos vías para medidas repetidas [tiempo (antes-después) × condición (ejercicio abdominal vs control)] para cada medición (MIP, MEP, FVC, IBT). Cuando se hallaron efectos principales significativos, se realizaron análisis *post hoc* utilizando el método de Student-Neuman-Keuls. Un nivel de  $p < 0.05$  se tomó como significativo para la duración del *ibt* y la *fv*. Un nivel de  $p < 0.025$  se tomó como significativo para la *mip* y la *mep* utilizando el ajuste de Bonferroni debido a la naturaleza relacionada de las variables.

## RESULTADOS

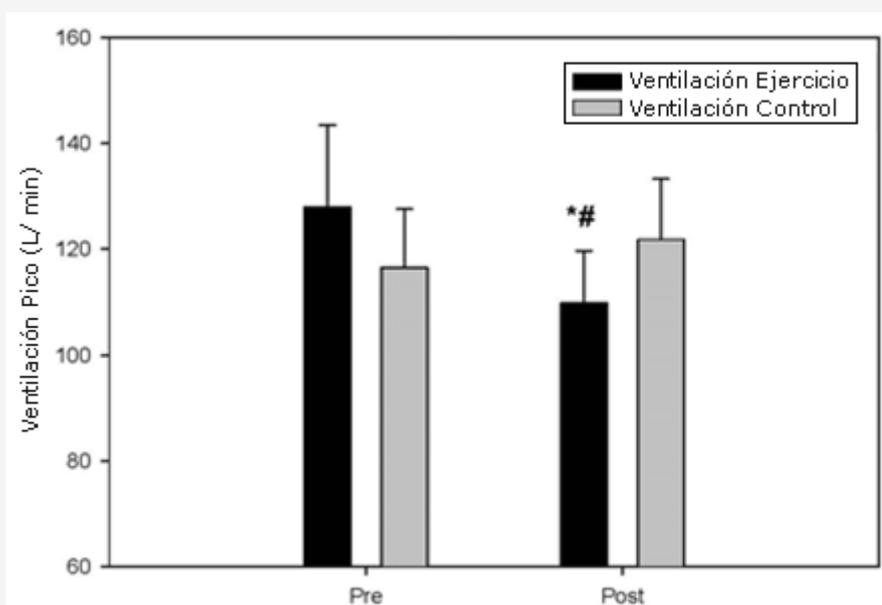
Todos los sujetos completaron el protocolo experimental. No se observaron diferencias significativas entre las medidas pre ejercicio y las medidas de control, lo que indicó que el test de ejercicio no afectó la MIP, MEP, el IBT o el test de función pulmonar de control llevado a cabo varios días después del ejercicio. La cantidad de abdominales realizados por los

participantes varió de 114 a 600. Ninguno se quejó de sensación de falta de aire, lo que indica que la demanda ventilatoria no fue un problema para la tarea.



**Figura 1.** Presiones provocadas durante y después de las pruebas de ejercicio y control. Las barras representan lo que muestra la leyenda interior del gráfico. \*Diferente del valor pre.

La incapacidad para la tarea inducida por medio del ejercicio de abdominales se asoció con la disminución de la fuerza muscular respiratoria. La MIP disminuyó un 6.4%, de  $122 \pm 26$  a  $114 \pm 23$  cmH<sub>2</sub>O ( $p < 0.025$ ). La MEP disminuyó en un 9.4%, de  $167 \pm 51$  a  $151 \pm 47$  cmH<sub>2</sub>O ( $p < 0.025$ ) (Figura 1). La resistencia muscular respiratoria también disminuyó como resultado del ejercicio abdominal. La duración del IBT disminuyó en un 11.5 %, de  $9.6 \pm 1.5$  a  $8.5 \pm 0.7$  minutos ( $p < 0.05$ ) como se puede observar en la Figura 2. Ninguna disminución estuvo asociada con la fatiga en los valores de la FVC. No se observaron diferencias significativas en ninguna de las mediciones de control entre los días.



**Figura 2.** Ventilación pico obtenido durante la tarea de respiración incremental. Las barras representan lo que muestra la leyenda

## DISCUSION

El hallazgo principal de este estudio fue que la implementación del ejercicio de abdominales hasta el agotamiento provocó disminuciones significativas en las mediciones de la fuerza muscular respiratoria (MIP, MEP) así como también en la resistencia muscular respiratoria, como lo demuestra la del IBT. Esta fue la primera vez que se registraron disminuciones en las mediciones de la fuerza y la resistencia muscular respiratoria luego de una maniobra principalmente no respiratoria (abdominales). Se planteó la hipótesis de que se observarían disminuciones en las mediciones de la fuerza dado que los estudios previos habían demostrado que el entrenamiento abdominal provocaba incrementos en las mediciones de fuerza respiratoria (Al-Bilbeisi y McCool, 2000; DePalo et al., 2004); sin embargo, aún así fue un hallazgo novedoso. Antes del presente estudio nunca se había estudiado la resistencia muscular respiratoria en relación a ningún indicador de ejercicio o entrenamiento abdominal. Kyroussis et al. (1996) demostraron un vínculo importante entre la ventilación máxima y la fatiga muscular abdominal. Demostraron que dos minutos de ventilación isocápnic máxima reducían las presiones de contracción gástrica. En el presente estudio, se observó en la dirección contraria y se demostró que el ejercicio abdominal llevado hasta incapacidad para realizar la tarea disminuyó la fuerza muscular inspiratoria.

Los presentes hallazgos respaldan el concepto de que los músculos respiratorios pueden fatigarse por medio de una maniobra principalmente no respiratoria. En este estudio, los abdominales realizados hasta el agotamiento dieron como resultado disminuciones significativas en las mediciones de fuerza conseguidas, como lo demuestran la MIP (disminución del 6.4%) y la MEP (disminución del 9.4 %). Las mediciones de la resistencia muscular respiratoria también disminuyeron debido a la reducción de la duración del IBT (disminución del 11.5%).

Estudios previos han demostrado resultados similares luego de una agotadora serie de ejercicios. En un estudio realizado por Taylor et al. (2006), se produjo una reducción promedio en la MEP de  $158 \pm 13$  a  $145 \pm 10$  cmH<sub>2</sub>O (una disminución del 8.2%) luego de un ejercicio de pedaleo de 30 minutos hasta llegar al agotamiento. Sin embargo, el protocolo de ejercicio utilizado en este estudio implicó una significativa exigencia ventilatoria, lo que fatigaría especialmente ambas musculaturas, la inspiratoria y la espiratoria.

En otra investigación realizada por Perret et al (1999), una exhaustiva serie de ejercicios de pedaleo dio como resultado disminuciones en el tiempo para la incapacidad de realizar la tarea (desde  $364 \pm 88$  s antes del ejercicio a  $219 \pm 122$  s cinco minutos después del ejercicio, es decir una reducción del 39%) mientras se respiraba a través de un dispositivo con resistencia. La reducción de tiempo hasta el agotamiento fue altamente significativa y con resultados mayores que los del presente estudio. No obstante, el protocolo de respiración fue un protocolo con sobrecarga que incluía un ejercicio de pedaleo mientras que el presente estudio utilizó un protocolo incremental (sin sobrecarga ni ejercicio) hasta llegar al agotamiento. Ha habido estudios en los que se utilizó un incremento en la fuerza, en lugar de flujo, a fin de provocar la fatiga. Roussos y Macklem (1977) demostraron que durante un test de respiración restringida, cuando las presiones transdiafrágicas superaron el 60% del máximo, la fatiga se presentó aproximadamente a los seis minutos.

Se ha elegido utilizar el protocolo de respiración incremental en lugar del protocolo de ventilación máxima puesto era altamente repetible entre los sujetos del presente estudio; además fue considerable la similitud entre los valores de la duración del IBT pre y post en la condición de control ( $9.2 \pm 1.8$  min vs  $9.2 \pm 1.1$  min). Los resultados de estudios previos que utilizaron un umbral de carga también incidieron en la decisión de utilizar el protocolo del presente estudio. En un estudio realizado por Martyn et al. (1987), la comparación de un protocolo de resistencia con umbral de carga incremental con un protocolo de resistencia de umbral máximo demostró menos variabilidad intra-individuo. A pesar de que el presente estudio no se llevó a cabo un test de resistencia respiratoria con umbral de carga, los métodos fueron similares a dos tests diferentes de resistencia respiratoria sin carga. El test de MVV realizado por Kyroussis et al. (1996) y el protocolo incremental diseñado por Vilozni et al. (1987) fueron dos pruebas similares sin carga y una vez más el protocolo incremental parecía tener menos variabilidad intra-individuo.

A pesar de que las mediciones de la fuerza y la resistencia muscular respiratoria fueron deliberadas, los resultados exhibidos fueron significativamente decrecientes mientras que las mediciones de los volúmenes pulmonares (que también fueron deliberadas) no mostraron cambios. Dado que las mediciones del volumen pulmonar también son deliberadas, esto indica que la simple fatiga global como resultado de la serie de abdominales no fue la causa de las disminuciones en las mediciones de fuerza y resistencia que se observaron en este estudio.

Las disminuciones en las diferentes mediciones registradas luego de la agotadora serie de abdominales también pudieron

deberse a las exigencias de la misma tarea de respiración incremental. Esta actividad da como resultado cierta fatiga generalizada, tal como lo reportaron los sujetos. Sin embargo, el día de control (cuando no se realizaron ejercicios abdominales) la duración del IBT, así como los valores de la MIP y la MEP, no fue diferente entre las mediciones pre y post.

Hasta el momento no se había estudiado una conexión entre el agotamiento muscular abdominal y una tarea de respiración incremental. El diafragma (que es el principal músculo inspiratorio) está más activo durante la inspiración contrayéndose hacia la parte inferior, provocando que los contenidos abdominales se muevan hacia adelante (Ward et al., 1983). Inducir a una serie de abdominales en la que el sujeto debe inhalar mientras realiza el ejercicio incrementa la presión intra-abdominal y crea una resistencia diafragmática adicional. La presión intra-abdominal incrementada puede ser uno de los factores subyacentes que contribuyen a las disminuciones observadas en la fuerza y la resistencia muscular respiratoria. Es probable que la fatiga diafragmática haya sido una de las causas principales de la fatiga resultante provocada durante la tarea de respiración incremental; la otra está relacionada con los músculos respiratorios que expanden la pared del pecho.

La fatiga adicional inducida por la inhalación durante el ejercicio abdominal puede demostrar ser importante en varias áreas del entrenamiento respiratorio. Este tipo de entrenamiento puede resultar beneficioso para aquellos que sufren alguna dolencia; si esta actividad se implementa en cualquier ejercicio del núcleo corporal que puedan realizar. Es necesario investigar aún más sobre este concepto (entrenamiento del núcleo corporal con inhalación) a fin de darle validez a estas afirmaciones. Si bien los ejercicios abdominales requieren la actividad de otros músculos además de los mismos abdominales, se ha elegido esta ejercitación en base a un trabajo preliminar (Strongoli et al., 2008) que mostró que las presiones transdiafragmáticas son más elevadas y además existe una mayor probabilidad de activar el diafragma durante la actividad.

## CONCLUSION

---

Se concluye que la implementación de una actividad principalmente no respiratoria (abdominales) induce a la fatiga en la resistencia muscular respiratoria, provocando en consecuencia una reducción en el tiempo hasta llegar a la fatiga en un protocolo de respiración incremental; asimismo muestra una reducción en la fuerza muscular respiratoria por medio de las mediciones de la MIP y la MEP. Es necesario que se realicen más investigaciones para analizar el efecto que tendrá el entrenamiento en estos parámetros respiratorios.

### Puntos Clave

- El ejercicio que es principalmente abdominal por naturaleza puede llevara a la fatiga muscular inspiratoria.
- Este ejercicio también puede causar fatiga muscular espiratoria, la cual sería esperable.
- El presente estudio muestra un vínculo entre un ejercicio predominantemente no respiratorio y las disminuciones en la fuerza y la resistencia muscular respiratoria.

### Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la subvención # 0726 de la Comisión de Investigación Biomédica de Arizona. Se agradece a Leah Besh por la valiosa asistencia técnica.

**Dirección para el envío de correspondencia:** J. Richard Coast. SA Rasmussen Exercise Physiology Laboratory, Department of Biological Sciences, Northern Arizona University, Flagstaff, AZ, USA. (Richard.Coast@nau.edu).

## REFERENCIAS

---

1. Al-Bilbeisi, F. and McCool, F.D (2000). Diaphragm recruitment during nonrespiratory activities. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 162, 456-459
2. ATS/ERS (2002). Statement on respiratory muscle testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 16, 518-624
3. Bai, T.R., Rabinovitch, B.J. and Pardy, R.L (1984). Near-maximal voluntary hyperpnea and ventilatory muscle function. *Journal of Applied Physiology* 57, 1742-1748
4. DePalo, V.A., Parker, A.L., Al-Bilbeisi, F. and McCool, F.D (2004). Respiratory muscle strength training with nonrespiratory maneuvers. *Journal of Applied Physiology* 96, 731-734

5. Hamnegard, C.H., Wragg, S., Kyroussis, D., Mills, G.H., Polkey, M.I., Moran, J., Road, J., Bake, B., Green, M. and Moxham, J (1996). Diaphragm fatigue following maximal ventilation in man. *European Respiratory Journal* 9, 241-274
6. Johnson, B.D., Babcock, M.A., Suman, O.E., and Dempsey, J.A (1993). Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *Journal of Physiology (London)* 460, 385-405
7. Knudsen, R.J., Slatin, R.C., Lebowitz, M.D. and Burrows, B (1976). The maximal expiratory flow-volume curve. Normal standards, variability and effects of age. *American Review of Respiratory Disease* 113, 587-600
8. Kyroussis, D., Mills, G.H., Polkey, M.I., Hamnegard, C.-H., Koulouris, N., Green, M. and Moxham, J (1996). Abdominal muscle fatigue after maximal ventilation in humans. *Journal of Applied Physiology* 81, 1477-1483
9. Martyn, J.B., Moreno, R.H., Pare, P.D. and Pardy, R.L (1987). Measurement of inspiratory muscle performance with incremental threshold loading. *American Review of Respiratory Disease* 135, 919-923
10. Perret, C., Pfeiffer, R., Boutellier, U., Wey, H.M. and Spengler, C.M (1999). Noninvasive measurement of respiratory muscle performance after exhaustive endurance exercise. *European Respiratory Journal* 14, 264-269
11. Roussos, C.S. and Macklem, P.T (1977). Diaphragmatic fatigue in man. *Journal of Applied Physiology* 43, 189-197
12. Strongoli, L.M., Gomez, C.L., Besh, L.A. and Coast, J.R (2008). Core exercises and transdiaphragmatic pressures. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 40, S306 (abstract)
13. Suzuki, S., Juzuki, J. and Okubo, T (1991). Expiratory muscle fatigue in normal subjects. *Journal of Applied Physiology* 70, 2632-2639
14. Taylor, B.J., How, S.C. and Romer, L.M (2006). Exercise-induced abdominal muscle fatigue in healthy humans. *Journal of Applied Physiology* 100, 1554-1562
15. Vilozni, D., Ephraim, B.-Y., Beardsmore, C.S., Shochina, M., Wolf, E. and Godfrey, S (1987). A non-invasive method for measuring inspiratory muscle fatigue during progressive isocapnic hyperventilation in man. *European Journal of Applied Physiology* 56, 433-439
16. Ward, M.E., Ward, J.W. and Macklem, P.T (1983). Analysis of human chest wall motion using a two-compartment rib cage model. *Journal of Applied Physiology* 55, 547-557

### **Cita Original**

Christopher L. Gomez, Lisa M. Strongoli and J. Richard Coast. Repeated Abdominal Exercise Induces Respiratory Muscle Fatigue. *Journal of Sports Science and Medicine* (2009) 8, 543 - 547.