
ARTÍCULO ORIGINAL

Evolución del patrón respiratorio a lo largo de una temporada de entrenamiento en ciclistas de élite

Augusto G Zapico,* Víctor Díaz,** Pedro J Benito,*** Ana B Peinado,*** Francisco J Calderón ***

* Departamento de Expresión Musical y Corporal. Facultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid.

** Institute of Veterinary Physiology. Zurich Center for Integrative Human Physiology (ZIHP). University of Zurich. Switzerland.

*** Departamento de Salud y Rendimiento Humano. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte-INEF. Universidad Politécnica de Madrid.

Evolution of the breathing pattern along a training season in elite cyclists

ABSTRACT

Aim. To analyze the evolution of respiratory pattern variables (some of which are representative of central respiratory regulation) in a group of highly trained cyclists through a training season. **Material and methods.** Ten elite cyclists performed three maximal effort tests on a cicloergometer at November (preparatory period), February (precompetitive period) and June (competitive period). These three moments determine the start and end of two main training periods, during which training volume and intensity was monitored. Load (W), heart rate (HR), and oxygen uptake (VO_2) was determined at the ventilatory thresholds and the maximum VO_2 . The relationship between tidal volume and inspiratory time ($V_T t_I$) was studied in three zones: $V_T t_I$ under 2; 2) $V_T t_I$ between 2 and 4; and 3) $V_T t_I$ over 4. **Results.** Volume and intensity of training significantly increased in the second period of training, but the ventilatory thresholds and VO_2 did not perform after the second visit to the laboratory. V_T did not change in any of the studied zones during the season. The only differences observed were for t_I , between the first and second visit to the lab, for the first zone determined. The $V_T t_I$ relation did not change through the season. **Conclusion.** There are no differences due to training in the measured variables in highly trained subjects. Changes in VO_2 and ventilatory thresholds after the first visit can not be attributed to the studied variables of the respiratory pattern of the subjects.

RESUMEN

Objetivo. Analizar la evolución de los parámetros del patrón respiratorio (algunos de los cuales son representativos de los mecanismos centrales de regulación) en ciclistas con un alto nivel de entrenamiento a lo largo de una temporada. **Material y métodos.** Participaron en el estudio diez ciclistas de élite, a los que se les realizaron tres pruebas de esfuerzo máximas en cicloergómetro, coincidentes con los meses de noviembre (periodo preparatorio), febrero (periodo precompetitivo) y junio (periodo competitivo). Estos tres momentos determinan el principio y el final de los dos períodos principales de entrenamiento, durante los cuales se controló el volumen y la intensidad del mismo. Se determinó la carga (W), la frecuencia cardíaca (HR) y el consumo de oxígeno (VO_2) en tres instantes, correspondientes con el VO_2 máximo y cada uno de los dos Umbráles Ventilatorios. En dichas pruebas se estudió la relación del Volumen Corriente con el Tiempo Inspiratorio ($V_T t_I$) en tres zonas: 1) relación $V_T t_I$ se encuentra por debajo de 2; 2) relación $V_T t_I$ se encuentra entre 2 y 4; y 3) relación $V_T t_I$ se encuentra por encima de 4. **Resultados.** El volumen e intensidad de entrenamiento aumentaron significativamente en el segundo periodo, pese a ello, tanto el VO_2 como los Umbráles Ventilatorios no mejoraron tras la segunda visita al laboratorio. El V_T no se modificó en ninguna de las zonas estudiadas para cada momento de la temporada. Sólo se observaron diferencias en t_I , entre la primera y segunda visitas, para el primero de los rangos estudiados. La relación $V_T t_I$ no se modificó a lo largo de la temporada para ninguna de las tres zonas propuestas. **Conclusiones.** No hay diferencias debidas al entrenamiento en las variables medidas en sujetos altamente entrenados. Los cambios en el VO_2 y los Umbráles Ventilatorios, tras la primera visita, no pueden ser atribuidos a cambios en los parámetros estudiados del patrón respiratorio de estos sujetos.

Key words. Breathing pattern. Training. Ventilatory Thresholds. $V_T t_I$ relationship. Respiratory control.

Palabras clave. Patrón respiratorio. Entrenamiento. Umbráles Ventilatorios. Relación $V_T t_I$. Control respiratorio.

INTRODUCCIÓN

La adaptación del sistema respiratorio al ejercicio sigue siendo poco conocida en personas sanas y activas. Estudios con animales han mostrado que el entrenamiento intenso provoca modificaciones de la actividad enzimática del diafragma, en ratas entrenadas con diferentes métodos (continuo frente a interválico) e intensidades.¹⁻³ Los datos obtenidos en experimentación animal sugieren que, para que se produzcan fenómenos de adaptación de la musculatura respiratoria, es necesario un estímulo de entrenamiento suficientemente elevado (intensidad y duración del periodo de entrenamiento).⁴

Estudios realizados en humanos, comparando el rendimiento ventilatorio en ciclistas altamente entrenados frente a desentrenados, han concluido que el entrenamiento de resistencia determina un aumento de la potencia de la musculatura respiratoria.⁵⁻⁷ Sin embargo, esta mejora puede ser debida más a mecanismos centrales de regulación de la respiración, que condicionan una mayor eficiencia respiratoria,⁴ que a modificaciones de la musculatura respiratoria.

Otros procedimientos indirectos para evaluar la adaptación respiratoria, como la hiperpnea isocápnica voluntaria,⁸⁻¹¹ han encontrado mejoras en la resistencia de la musculatura respiratoria tanto en personas entrenadas como en enfermos. Mientras que, métodos de inspiración contra resistencia, aportan resultados más discutidos: algunos autores han encontrado mejoras,^{12,13} mientras otros han cuestionado los resultados, indicando que es necesario ser cautos en su interpretación.^{14,15}

Por otro lado, los estudios del patrón respiratorio han servido para conocer los mecanismos nerviosos que controlan la profundidad y frecuencia de la respiración. El V_T , viene determinado por dos mecanismos nerviosos: el primero, establece el rango de incremento del volumen pulmonar y se conoce como Generador Central Inspiratorio (GCI),¹⁶ constituyendo la señal aferente de las motoneuronas espinales; el segundo, es el Desconector Inspiratorio (DI)¹⁶ y controla el Tiempo Inspiratorio (t_I). De acuerdo con este modelo, el volumen pulmonar aumenta a un ritmo dependiente del impulso respiratorio (*respiratory drive*), hasta que el volumen se encuentra en el punto de V_T/t_I correspondiente con el punto de Hering-Breuer. Este punto de intersección establece los valores de V_T y t_I . Debido a que el Tiempo espiratorio (t_E) está, de alguna manera, vinculado al t_I , este reflejo terminal de la inspiración es el momento clave en el control del ciclo respiratorio. Por lo tanto,

el GCI y el DI determinan el V_T , t_I y t_E para cada respiración.^{16,17}

A pesar de la literatura existente, hay una ausencia clara de estudios longitudinales de estas variables. Así, el objetivo de este trabajo fue analizar la evolución de los parámetros del patrón respiratorio (algunos de los cuales son representativos de los mecanismos centrales de regulación) en ciclistas con un alto nivel de entrenamiento a lo largo de una temporada. La hipótesis inicial fue que, a diferencia de las personas con enfermedades del aparato respiratorio, en personas muy entrenadas no se pueden determinar cambios en el patrón respiratorio a lo largo de una temporada. La aplicación práctica de este tipo de estudio podría radicar en conocer “los límites” de adaptación de parámetros respiratorios que son representativos de los mecanismos centrales de regulación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

En el estudio participaron voluntariamente 10 ciclistas de élite, varones (20 ± 1.9 años, 176.8 ± 1.9 cm y 68.6 ± 1.7 kg). Todos ellos formaban parte de equipos de la categoría “Élite Sub-23” y estaban familiarizados con esfuerzos realizados en cicloergómetro.

Para comprobar el estado de salud, todos los ciclistas fueron sometidos a un reconocimiento médico consistente en anamnesis, exploración física, espirometría y electrocardiograma (ECG). Previamente a la realización del estudio, la *Comisión de Ética de Actividades de I+D+i* de la Universidad Politécnica de Madrid aprobó su realización y los sujetos fueron informados de la naturaleza del estudio, firmando un consentimiento elaborado según las directrices éticas de la declaración de Helsinki para investigación con seres humanos.

Protocolo de estudio

En tres momentos diferentes de la temporada, y correspondientes con los meses de noviembre (periodo preparatorio), febrero (periodo precompetitivo) y junio (periodo competitivo), los sujetos realizaron una prueba ergoespirométrica. Estos tres momentos determinan el límite superior e inferior de dos grandes períodos de entrenamiento.

Durante todo el tiempo entre las pruebas (cada periodo de entrenamiento), los sujetos controlaron su volumen de entrenamiento mediante unos diarios en

los que registraban el volumen total en horas de entrenamiento, similares a los descritos previamente en estudios con ciclistas.¹⁸ La intensidad de entrenamiento fue medida en horas de entrenamiento en tres zonas: por debajo del primer Umbral Ventilatorio (VT_1) o *zona 1*; entre VT_1 y el segundo Umbral Ventilatorio (VT_2) o *zona 2* y; por encima del VT_2 o *zona 3*. Además, mediante un pulsómetro (Polar S720i, Polar Electro OY, Kempele, Finland) se registró la frecuencia cardiaca cada cinco segundos, en cada una de las sesiones de entrenamiento.

Pruebas de esfuerzo máximas

Las pruebas se realizaron en un cicloergómetro Jaeger ER800® (Erich Jaeger, Hoechberg, Alemania). El protocolo de esfuerzo consistió en un minuto totalmente en reposo sobre el cicloergómetro, tres minutos de calentamiento a 50 W y fase incremental con incrementos de 5 W cada 12 segundos. Las pruebas finalizaban bien cuando el sujeto lo solicitaba, bien cuando no se podía mantener la cadencia de pedaleo (≥ 70 rpm). Finalizado el esfuerzo, se realizaban dos minutos de recuperación activa a 50 W (70 rpm) y 3 minutos en reposo completo en la bicicleta. La cadencia de pedaleo se estableció entre 70 y 90 rpm. Los criterios que se establecieron para considerar que las pruebas eran máximas fueron: aplanamiento en el consumo de oxígeno, cociente respiratorio superior a 1.10 y frecuencia cardiaca (HR) máxima superior a la FC máxima teórica. Se debían cumplir, al menos, dos de estos tres criterios para considerar el consumo de oxígeno máximo ($VO_{2\max}$), que se definió como la media de los dos valores más altos de consumo de oxígeno durante la intensidad más alta.¹⁹

Medidas de intercambio respiratorio

Todos los parámetros de intercambio de gases fueron medidos respiración a respiración y se promediaron cada 15 segundos. Las mediciones de composición y volumen del aire espirado se realizaron con un equipo Jaeger Oxicon Pro® (Erich Jaeger, Hoechberg, Alemania), previamente validado,²⁰⁻²² con turbina bidireccional digital (Triple V®), de bajo espacio muerto y resistencia, según la normativa ATS y ECCS.^{23,24}

Determinación de los umbrales ventilatorios

Los umbrales ventilatorios fueron determinados en cada una de las evaluaciones siguiendo los méto-

dos descritos por Beaver, Davis y Gaskill.²⁵⁻²⁷ Dos investigadores evaluaron las pruebas por separado. Si se encontraba un desacuerdo entre ambos, un tercer investigador realizaba una nueva determinación. Su evaluación en cada una de las visitas al laboratorio permitió la actualización de los rangos de intensidad del entrenamiento.

Relación VT/t_1

Para el estudio del comportamiento de los parámetros del patrón respiratorio se fijaron tres zonas:

- Relación VT/t_1 se encuentra por debajo de 2.
- Relación VT/t_1 se encuentra entre 2 y 4.
- Relación VT/t_1 se encuentra por encima de 4.

Análisis estadístico

Previamente al análisis, se comprobó la normalidad de la distribución de todas las variables. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor (momento de la temporada) para evaluar los cambios en los Umbrales Ventilatorios y el $VO_{2\max}$. Para la localización de las diferencias se utilizó una prueba post hoc de Scheffé. Para evaluar las diferencias en las variables del patrón respiratorio se realizó un ANOVA de dos factores con medidas repetidas en uno de ellos (momento de la temporada por zona VT/t_1). El nivel de significación se fijo en $p < 0.05$ en todos los casos.

RESULTADOS

En el cuadro 1 se observa el volumen y la intensidad de cada uno de los períodos de entrenamiento, recogidos a lo largo de todo el año. Aparecen diferencias significativas para todas las variables estudiadas menos para el volumen en *zona 2* (entre VT_1 y VT_2), entre los dos períodos de entrenamiento.

Cuadro 1. Volumen e intensidad de entrenamiento en cada periodo.

Variables	Periodo 1	Periodo 2
	Entre 1 ^a y 2 ^a visita	Entre 2 ^a y 3 ^a visita
Volumen (horas)	211.3 ± 0.6	260.3 ± 1.0^a
Volumen en zona 1 (%)	77.7 ± 0.3	69.9 ± 0.5^a
Volumen en zona 2 (%)	19.7 ± 0.6	22.1 ± 0.4
Volumen en zona 3 (%)	2.4 ± 0.3	8.1 ± 0.2^a

Los datos son medias \pm DE (desviación estándar). ^a Diferencias significativas entre períodos ($p < 0.05$).

Cuadro 2. Variables fisiológicas de las pruebas de esfuerzo.

	1 ^a visita	2 ^a visita	3 ^a visita
VE (l·min ⁻¹)	185 ± 6.9	180 ± 4.0	189 ± 6.2
V _T (L)	3 ± 0.1	3.2 ± 0.1	3.3 ± 0.2
FR (respiraciones·min ⁻¹)	61 ± 3	56 ± 3	57 ± 1
W _{max} (W)	429 ± 12.5	463 ± 13.4 ^a	448 ± 18.2
VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	73.1 ± 1.8	77.6 ± 1.4 ^a	80.5 ± 1.8 ^a
HR _{VO2max} (lat·min ⁻¹)	196 ± 3	199 ± 4	191 ± 4
VE _{VT1} (l·min ⁻¹)	60.0 ± 2.7	74.4 ± 2.8 ^a	77.8 ± 3.7 ^a
V _{T,VT1} (L)	2.3 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.5 ± 0.2
FR _{VT1} (respiraciones·min ⁻¹)	27 ± 1	32 ± 2	31 ± 2
W _{VT1} (W)	206 ± 11.2	252 ± 10.8 ^a	254 ± 13.5 ^a
VO _{2VT1} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	38.1 ± 1.7	47.2 ± 1.5 ^a	50.4 ± 1.9 ^a
VO _{2VT1} (%VO _{2max})	52 ± 2.1	60 ± 1.8 ^a	62 ± 1.7 ^a
HR _{VT1} (lat·min ⁻¹)	141 ± 3	144 ± 4	142 ± 4
VE _{VT2} (l·min ⁻¹)	111.9 ± 4.6	127.9 ± 3.6 ^a	139.3 ± 4.5 ^a
V _{T,VT2} (L)	3.2 ± 0.1	3.0 ± 0.02	3.3 ± 0.2
FR _{VT2} (respiraciones·min ⁻¹)	35 ± 3	43 ± 2	42 ± 3
W _{VT2} (W)	339 ± 11.1	378 ± 8.7 ^a	377 ± 11.7 ^a
VO _{2VT2} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	60.3 ± 1.8	68.5 ± 1.9 ^a	72.9 ± 2.3 ^a
VO _{2VT2} (%VO _{2max})	82.5 ± 1.7	87.9 ± 1.0 ^a	90.1 ± 1.4 ^a
HR _{VT2} (lat·min ⁻¹)	179 ± 3	179 ± 3	177 ± 4

Los datos son medias ± ET (error típico de la media). ^a Diferencias ($p < 0.05$) para 2^a o 3^a visita vs. 1^a visita al laboratorio. VE: ventilación; V_T: volumen corriente; FR: frecuencia respiratoria; W_{max}: carga máxima; VO_{2max}: consumo de oxígeno máximo; HR_{VO2max}: frecuencia cardiaca en el consumo de oxígeno máximo; VT1: primer umbral ventilatorio; VT2: segundo umbral ventilatorio.

El cuadro 2 muestra la evolución de las variables fisiológicas medidas en cada una de las visitas al laboratorio. Observamos como tanto VO_{2max} como VO₂ y ventilación (VE) en cada uno de los umbrales ventilatorios mejoran significativamente en la 2^a. y 3^a. visita respecto a la 1^a. La carga máxima (W_{max}) mejora únicamente en la 2^a. visita. La posición de los umbrales ventilatorios (%VO_{2max} y W) mejora en la 2^a. y 3^a. visita respecto a la 1^a. Por último, la frecuencia cardiaca no se modificó en ninguna de las visitas.

En el cuadro 3 y la figura 1 se muestran los datos relativos a los parámetros del patrón respiratorio, a

lo largo de los tres momentos de la temporada. Se observaron diferencias significativas entre las dos primeras visitas al laboratorio, en el t_I a cargas bajas ($V_T/t_I < 2$). No se observaron diferencias significativas para V_T, ni en la relación V_T/t_I, en función de la carga, entre ninguno de los tres momentos de la temporada, para cada una de las zonas propuestas.

DISCUSIÓN

Este estudio demuestra que la actividad del generador central inspiratorio, valorada por la relación V_T/t_I, no experimenta modificaciones en personas muy entrenadas a lo largo de una temporada de entrenamiento, como es el caso de ciclistas jóvenes altamente entrenados. Este hecho sugiere que, en caso de existir, la mayor eficiencia respiratoria no se puede justificar por fenómenos de adaptación central de los mecanismos de regulación respiratoria, valorados mediante la relación V_T/t_I.

El V_T aumenta a medida que aumenta la carga en todas las pruebas. Al igual que otros estudios,²⁸ se observa una tendencia a la estabilización del V_T para cargas elevadas (> 350 W), en el tercer momento de la temporada (Figura 1A), mientras que en los dos momentos previos sigue aumentando, sin embargo estas diferencias no se han podido demostrar en el análisis. Podríamos pensar que los mecanismos de regulación del volumen (reflejos y centrales) habrían alcanzado su límite. Sin embargo, el descenso del t_I no mostró cambios significativos durante los tres momentos de la temporada a cargas elevadas (Figura 1B). Por consiguiente, a pesar de que el entrenamiento aumentó de forma significativa, tanto en volumen como en intensidad durante los dos períodos evaluados (Cuadro 1), la actividad del GCI, valorada por la relación V_T/t_I, no muestra diferencias significativas durante los tres momentos de la temporada medidos (Figura 1C).

La división de las zonas en función de la relación V_T/t_I difieren de las determinadas por Lind y Hes-

Cuadro 3. Variables del patrón respiratorio.

Visita	V _T /t _I < 2			2 > V _T /t _I < 4			V _T /t _I > 4		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
V _T (L)	1.6 ± 0.4	1.4 ± 0.4	1.4 ± 0.3	2.5 ± 0.4	2.4 ± 0.4	2.4 ± 0.4	3.1 ± 0.2	3.0 ± 0.2	3.1 ± 0.4
t _I (s)	1.2 ± 0.4	1.0 ± 0.2*	1.1 ± 0.3	0.9 ± 0.1	0.9 ± 0.1	0.9 ± 0.2	0.6 ± 0.7	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1
V _T /t _I (L·s ⁻¹)	1.4 ± 0.3	1.3 ± 0.4	1.3 ± 0.4	3.0 ± 0.6	2.9 ± 0.6	2.9 ± 0.6	5.4 ± 0.7	5.4 ± 0.8	5.5 ± 0.9

Los datos son medias ± DE (desviación estándar). Volumen corriente (V_T), tiempo inspiratorio (t_I) y relación V_T/t_I en cada una de las visitas. * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) con la visita 1.

ser,²⁹ que establecen 3 zonas a valores de $V_T < 1.4$ L, entre 1.4 y 2.4 L y por encima de 2.4 L, correspondientes con la carga de trabajo < 40 W, de 80 a 180 W y por encima de 180 W, respectivamente. En nuestro estudio, los valores de V_T son considerablemente más elevados (aproximadamente, < 2 L, entre 2 y 2.75 L y por encima de 2.75 L. (Figura 1A). Las razones de estas diferencias pueden ser debidas a la condición física de los sujetos experimentales y

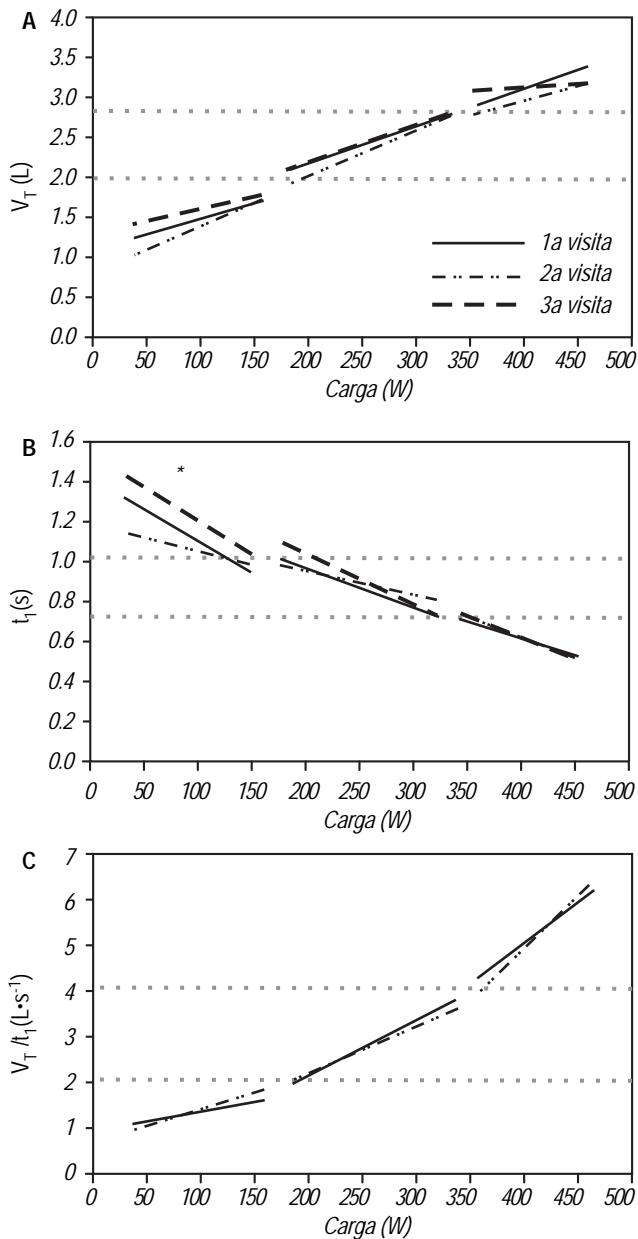


Figura 1. Relaciones entre t_1 . A. V_T B. V_T/t_1 , C. frente a carga en cada una de las visitas. Las líneas discontinuas indican una relación V_T/t_1 menor que 2, relación V_T/t_1 entre 2 y 4 y relación V_T/t_1 por encima de 4. *Indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre 1^a y 2^a visita.

la metodología utilizada en las pruebas. Así, los sujetos experimentales de la presente muestra son ciclistas con un elevado nivel de entrenamiento, como se demuestra por la máxima potencia alcanzada en el cicloergómetro (463 W). En este caso los incrementos de la carga fueron de 25W cada minuto, mientras que en el estudio de Lind y Hesser los incrementos fueron de 10W cada minuto. Por otra parte, en el estudio de Lind y Hesser la carga final fue de 200W, mientras las pruebas realizadas por estos sujetos fueron máximas. En un segundo estudio de Lind y Hesser²⁸ donde el protocolo de esfuerzo fue máximo, la respuesta del V_T y t_1 fueron similares a los obtenidos aquí: el t_1 descendía linealmente según aumentaba el V_T con carga de trabajo inferior a 240W, mientras que con cargas superiores el t_1 descendía sin que el V_T experimentara cambios.

La ausencia de diferencias en la evolución de la relación V_T/t_1 a lo largo de la temporada sugiere que la actividad del GCI no se modificó con el entrenamiento de resistencia. Apoyando estos resultados, otros estudios³⁰ han demostrado que el entrenamiento no afecta a la relación V_T/t_1 en pacientes con EPOC. No obstante, a diferencia de pacientes con patología respiratoria que siguen un programa de entrenamiento de su musculatura, el trabajo de la musculatura respiratoria de los ciclistas es muy elevado y, por tanto, los puntos de partida de ambos grupos son muy distintos, lo que complica mucho la comparación entre ambos. Por otro lado, Ito, *et al.*³¹ han demostrado una prolongación del t_E , con el entrenamiento de la musculatura respiratoria, en pacientes con EPOC. Sin embargo, el proceso de adaptación en estos pacientes ha sido valorado en reposo y no en esfuerzo, como se ha hecho en este estudio. Finalmente, Holm, *et al.*³² encontraron mejoras del rendimiento producidas por el entrenamiento de la musculatura respiratoria en ciclistas jóvenes y concluyeron que el entrenamiento de la musculatura respiratoria permite a los ciclistas tolerar la mayor respuesta ventilatoria sin una sensación mayor de disnea. Sin embargo, ellos mismos concluyen que la mejor percepción no permite asegurar el mejor rendimiento. Estos resultados no contradicen los aquí presentados, debido a las diferencias en la intensidad de entrenamiento de la musculatura respiratoria entre su grupo experimental (sesiones de hipernea) y el del presente estudio. Por otro lado, estos autores únicamente analizaron la ventilación y no el *drive* inspiratorio.

Los datos máximos obtenidos por los ciclistas nos dan idea de la alta capacidad aeróbica de la muestra (≈ 450 W, ≈ 78 m $\text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, ≈ 6.9 W $\cdot \text{Kg}^{-1}$). Con res-

pecto a la evolución del $VO_{2\max}$, un parámetro integrador de las funciones respiratoria, cardiovascular y de transporte del oxígeno,³³ únicamente se han demostrado diferencias en la 2a. y 3a. visitas respecto a la primera, pero no entre las dos situaciones (2a. y 3a. visitas) en las que los ciclistas se debían encontrar en mejor condición cardiorrespiratoria (Cuadro 2). Al no existir diferencias significativas para el V_T/t_I entre la 2a.-3a. y 1a. visitas, no se puede atribuir la mejora del $VO_{2\max}$ a mecanismos de regulación central del patrón respiratorio. Además, la ausencia de diferencias en la frecuencia cardiaca podría indicar una ausencia de cambios a nivel cardiovascular. De un modo similar, los umbrales ventilatorios aumentaron tras el primer periodo de entrenamiento. Los aumentos tras la primera visita pueden ser atribuidos al alto volumen de entrenamiento realizado en el periodo entre las dos primeras visitas al laboratorio (≈ 211 horas), pero esas mejoras no se vuelven a producir tras el segundo periodo de entrenamiento, pese al gran volumen de entrenamiento acumulado en éste (≈ 260 horas). Estudios previos³⁴ han atribuido este comportamiento a un techo fisiológico que no permite mejoras, más que en factores periféricos, tras alcanzar grandes valores en los centrales.

Entre las posibles limitaciones del presente trabajo está la no inclusión de medidas del *drive* espiratorio. Es probable que el entrenamiento desencadene cambios en el *drive* espiratorio. Éste puede intervenir de forma muy importante a cargas de trabajo próximas al máximo. Los estudios de Lind y Hesser^{28,29} encontraron diferencias en los incrementos de las relaciones V_T/t_I y V_T/t_E .

En conclusión, no hay diferencias en el patrón respiratorio estudiado, debidos al entrenamiento, en sujetos altamente entrenados. Los datos presentados del patrón respiratorio podrían ser considerados los límites máximos de adaptación respiratoria de estos deportistas. Por último, los cambios en el VO_2 y los umbrales ventilatorios, tras la primera visita, no pueden ser atribuidos a cambios en los parámetros estudiados del patrón respiratorio de estos sujetos, si presumimos que no hay cambios en la función cardiaca, los cambios podrían ser atribuidos a mecanismos periféricos de adaptación.

REFERENCIAS

1. Grinton S, Powers SK, Lawler J, Criswell D, Dodd S, Edwards W. Endurance training-induced increases in expiratory muscle oxidative capacity. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 551-5.
2. Powers SK, Criswell D, Lawler J, Ji LL, Martin D, Herb RA, et al. Influence of exercise and fiber type on antioxidant enzyme activity in rat skeletal muscle. *Am J Physiol* 1994; 266: R375-R380.
3. Powers SK, Criswell D, Lawler J, Martin D, Ji LL, Herb RA, et al. Regional training-induced alterations in diaphragmatic oxidative and antioxidant enzymes. *Respir Physiol* 1994; 95: 227-37.
4. Powers SK, Coombes J, Demirel H. Exercise training-induced changes in respiratory muscles. *Sports Med* 1997; 24: 120-31.
5. Benito PJ, Calderon FJ, Zapico AG, Legido JC, Caballero JA. Response of tidal volume to inspiratory time ratio during incremental exercise. *Arch Bronconeumol* 2006; 42: 62-7.
6. Coast JR, Clifford PS, Henrich TW, Stray-Gundersen J, Johnson RL. Maximal inspiratory pressure following maximal exercise in trained and untrained subjects. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22: 811-5.
7. Ruiz de Oña Lacasta JM, Garcia de Pedro J, Puente Maestu L, Llorente Iñigo D, Celdran Gil J, Cubillo Marcos JM. Effects of muscle training on breathing pattern in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Arch Bronconeumol* 2004; 40: 20-3.
8. Belman MJ, Gaesser GA. Ventilatory muscle training in the elderly. *J Appl Physiol* 1988; 64: 899-905.
9. Leith DE, Bradley M. Ventilatory muscle strength and endurance training. *J Appl Physiol* 1976; 41: 508-16.
10. Morgan DW, Kohrt WM, Bates BJ, Skinner JS. Effects of respiratory muscle endurance training on ventilatory and endurance performance of moderately trained cyclists. *Int J Sports Med* 1987; 8: 88-93.
11. O'Kroy JA, Coast JR. Effects of flow and resistive training on respiratory muscle endurance and strength. *Respiration* 1993; 60: 279-83.
12. Aldrich TK, Karpel JP. Inspiratory muscle resistive training in respiratory failure. *Am Rev Respir Dis* 1985; 131: 461-2.
13. Clanton TL, Dixon G, Drake J, Gadek JE. Inspiratory muscle conditioning using a threshold loading device. *Chest* 1985; 87: 62-6.
14. Belman MJ, Thomas SG, Lewis MI. Resistive breathing training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 1986; 90: 662-9.
15. Pardy RL, Reid WD, Belman MJ. Respiratory muscle training. *Clin Chest Med* 1988; 9: 287-96.
16. Clark FJ, von Euler C. On the regulation of depth and rate of breathing. *J Physiol* 1972; 222: 267-95.
17. Lind FG. Respiratory Drive and Breathing Pattern During Exercise in Man. *Acta Physiol Scand Suppl* 1984; 533: 1-47.
18. Zapico AG, Calderon FJ, Benito PJ, Gonzalez CB, Parisi A, Pigozzi F, et al. Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness* 2007; 47: 191-6.
19. Hawley JA, Noakes TD. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1992; 65: 79-83.
20. Carter J, Jeukendrup AE. Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. *Eur J Appl Physiol* 2002; 86: 435-41.
21. Foss O, Hallen J. Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *Int J Sports Med* 2005; 26: 569-75.
22. Rietjens GJ, Kuipers H, Kester AD, Keizer HA. Validation of a computerized metabolic measurement system (Oxycon-Pro) during low and high intensity exercise. *Int J Sports Med* 2001; 22: 291-4.
23. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005; 26: 319-38.
24. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. *Respir Physiol* 1983; 50: 133-48.

- port Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J Suppl* 1993; 16: 5-40.
25. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986; 60: 2020-7.
 26. Davis JA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17: 6-21.
 27. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 1841-8.
 28. Lind F, Hesser CM. Breathing pattern and occlusion pressure during moderate and heavy exercise. *Acta Physiol Scand* 1984b; 122: 61-9.
 29. Lind F, Hesser CM. Breathing pattern and lung volumes during exercise. *Acta Physiol Scand* 1984a; 120: 123-9.
 30. Gigliotti F, Coli C, Bianchi R, Romagnoli I, Lanini B, Binazzi B, et al. Exercise training improves exertional dyspnea in patients with COPD: evidence of the role of mechanical factors. *Chest* 2003; 123: 1794-802.
 31. Ito M, Kakizaki F, Tsuzura Y, Yamada M. Immediate effect of respiratory muscle stretch gymnastics and diaphragmatic breathing on respiratory pattern. *Respiratory Muscle Conditioning Group. Intern Med* 1999; 38: 126-32.
 32. Holm P, Sattler A, Fregosi RF. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol* 2004; 4: 9.
 33. Rowell LB. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev* 1974; 54: 75-159.
 34. Lucia A, Hoyos J, Pardo FJ, Chicharro JL. Effects of endurance training on the breathing pattern of professional cyclists. *Jpn J Physiol* 2001; 51: 133-41.

Reimpresos:

Dr. Francisco Javier Calderón-Montero

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte-INEF,

Universidad Politécnica de Madrid.

C/ Martín Fierro 7, E-28040 Madrid

Tel.: 91336-4070

Fax: 91336-4032

Correo electrónico: franciscojavier.calderon@upm.es

Recibido el 19 de agosto de 2009.

Aceptado el 30 de marzo de 2010.