

RESPUESTA DE LA MUSCULATURA RESPIRATORIA A LA OXIGENOTERAPIA DURANTE EL EJERCICIO EN PACIENTES CON LIMITACION CRONICA AL FLUJO AEREO

F. Márquez Varela, M. Aguayo Canela y J.M. Benítez Moya.
Hospital Universitario Virgen Macarena. Sevilla.

La respuesta de la musculatura respiratoria ha sido estudiada en pacientes con Limitación Crónica al Flujo Aéreo (L.C.F.A.) -FEV₁=50±15% de su valor teórico- mientras realizaban un ejercicio a carga constante, del 80% de su máxima, y al hacer una prueba de «endurance» respirando a través de un circuito de resistencia no lineares, respirando aire y respirando oxígeno al 40% de forma randomizada y en días diferentes. Todos los pacientes aumentaban su tiempo de ejercicio 111 % (rango del 84-135 %) al respirar oxígeno, y su tiempo de «endurance» 83% p<0.05. Cuando se comparaba el tiempo en que finalizaban el ejercicio en aire, con el mismo tiempo pero respirando oxígeno (Iso-tiempo) encontrábamos una disminución del Volumen máximo ventilado (VE), de la frecuencia respiratoria (Fr) y del flujo inspiratorio (Vt/ti) (p<0.05). Dichos cambios ventilatorios, no se podían observar en la prueba de «endurance» por mantener una Presión boca (Pin) y un Vt/fi preestablecidos. Concluimos que el efecto positivo del oxígeno puede relacionarse con la disminución de la frecuencia de contracción de la musculatura respiratoria, con el aumento de su Capacidad Aeróbica con el consiguiente retraso en la aparición de fatiga.

Introducción

La disminución de la capacidad ventilatoria ha sido considerada como la principal causa de limitación del ejercicio en pacientes que cursan con Obstrucción Crónica al Flujo aéreo (L.C.F.A.), y en ello interviene no sólo la propia alteración mecánica, sino la fatiga muscular ⁽¹⁾. Estos pacientes sólo pueden aumentar su ventilación ligeramente durante el ejercicio a expensas de un gran aumento en la frecuencia respiratoria, algunos enfermos además están ya respirando a su límite en condiciones basales, lo que les supone que para aumentar la ventilación adopten una estrategia consistente en disminuir su tiempo inspiratorio, aumentando su flujo inspiratorio y realizando una mayor rapidez de contracción de sus músculos inspiratorios; otra es respirar a volúmenes más altos, donde el trabajo elástico es mayor y los músculos inspiratorios se están contrayendo lejos de su longitud óptima. Cualquiera de ambas les lleva a hacer maniobras claramente fatigantes ⁽²⁾.

Varios trabajos han demostrado que la oxigenoterapia aumenta la capacidad de ejercicio en estos pacientes, efecto no aclarado, pero atribuido al alivio de la disnea ⁽³⁾, mejoría de la función del ventrículo derecho ⁽⁴⁾, reducción de la ventilación ⁽⁵⁾, etc.

El objeto de nuestro estudio ha sido ver si el aumento en la capacidad de ejercicio al respirar oxígeno, podría ser atribuido a la repercusión de la oxigenoterapia sobre la musculatura respiratoria.

Material y método

El material estaba compuesto de 8 pacientes que cumplen criterios clínicos, radiográficos y funcionales de Limitación Crónica al Flujo Aéreo (L.C.F.A.), en condiciones de estabilidad y sin evidenciarse por exploraciones previas enfermedad cardiocirculatoria alguna. A estos pacientes se les sometió al siguiente Método de estudio:

Día 1.- Se realizaron pruebas funcionales respiratorias, obteniéndose los flujos mediante Neumotocógrafo (SIREGNOST FD 88 SIEMENS), volúmenes estáticos por Pletismografía, siguiendo normativa S.E.P.A.R .6, medición de Presión Inspiratoria Máxima desde F.R.C. utilizando transductor de presión JAEGER. Gasometría arterial (CORNING 175). Posteriormente prueba de esfuerzo progresiva en cicloergómetro (ELEMA SIEMENS) con aumento de 15 W. cada minuto y registrando VE, VO₂, VCO₂, R, FrR, FrC y Pet CO₂ que eran procesados en un computador, además en dos registradores X-Y se determinaba la Presión boca (Pm) y el ciclo ventilatorio, obteniéndose por cálculo manual el flujo inspiratorio (Vt/ti) y la relación tiempo inspiratorio tiempo total (Ti/Ttot).

Día 2.- Ejercicio submáximo respirando aire u oxígeno al 40% de forma randomizada y desconocida por el paciente, con carga igual al 75% de la máxima.

Día 3.- Igual pero respirando oxígeno o aire dependiendo de lo realizado el día anterior.

Día 4.- Prueba de «endurance» o de aguante, midiendo el tiempo límite a través de un sistema de resistencia alinear, manteniendo una Pm del 75% de su Pi Max, respirando aire u oxígeno al 40% de forma randomizada y desconocida por el paciente.

Día 5.- Igual al anterior, respirando oxígeno o aire, dependiendo de lo hecho el día anterior.

Como test de comparación se utilizó un test no paramétrico para muestras pareadas -Test de WILCOXON- dándosele el valor de significación a $p < 0.05$. La comparación se hacía al finalizar la prueba y también en ejercicio en el punto de Iso-tiempo o tiempo equivalente en oxígeno al finalizar su ejercicio en aire.

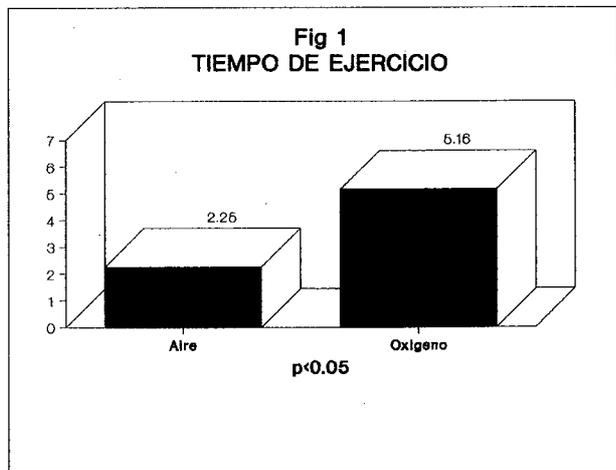
Resultados

En la Tabla 1 están expresados los datos de la exploración funcional, en % de su valor de referencia (edad, volúmenes pulmonares, flujos espiratorios, gases arteriales y presión máxima inspiratoria desde F.R.C.), todos los pacientes estaban insuflados, con un moderado grado de obstrucción, hipoxia sin retención de CO₂.

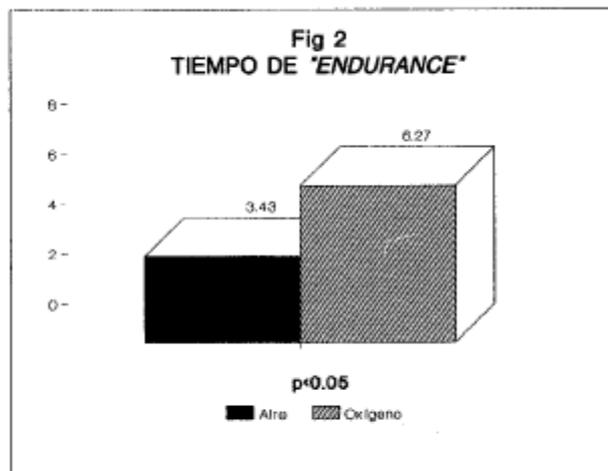
TABLA 1

Datos de la Exploración Funcional								
	Edad	Peso	FV1	FRC	TLC	PO2	PCO2	Pimax
	años	Kg.	%	%	%	mm Hg	mm Hg	cm. H2O
MEDIA	60	61,5	50	166	128	60	40	40
S.D.	4	7	15	37	8	1	3	13

El tiempo de ejercicio respirando aire de 2.25 ± 0.19 minutos aumenta a 5.16 ± 0.45 al respirar oxígeno al 40% (Fig. 1) aumentando un 111 % (rango desde 84 a 135 %) con $p < 0.05$. El tiempo de «endurance» o «aguante» de 3.43 ± 0.45 minutos respirando aire a 6.27 ± 0.50 al respirar oxígeno, aumentando un 83% (Fig. 2).

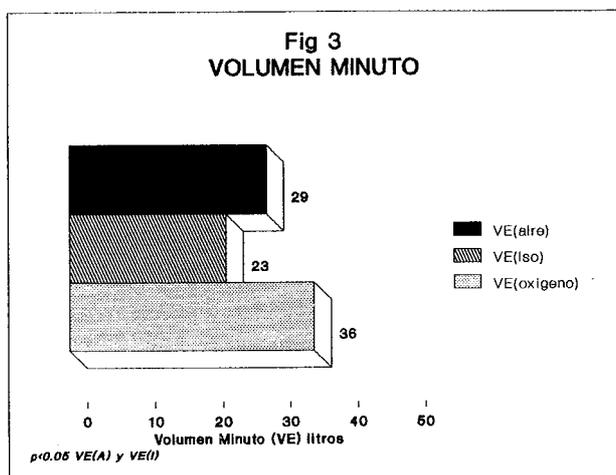


(Fig. 1) Tiempo de duración del ejercicio al respirar aire y al respirar oxígeno al 40%.

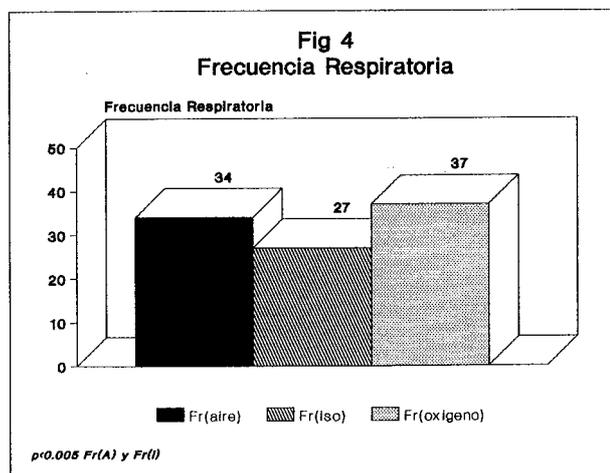


(Fig. 2) Tiempo de «endurance» al respirar aire y al respirar oxígeno al 40%.

En lo concerniente al ejercicio, el volumen minuto (VE) (Fig. 3) y la frecuencia respiratoria (FrR) (Fig. 4) disminuyen si comparamos el tiempo en que finalizan el ejercicio en aire con el mismo tiempo respirando oxígeno (Iso-Tiempo), sin embargo si comparamos tanto la ventilación minuto como la frecuencia al finalizar ambos ejercicios (aireoxígeno), la diferencia no es significativa.



(Fig. 3) Volumen minuto al finalizar el ejercicio en aire, en el momento de Iso-tiempo y al finalizar el ejercicio respirando oxígeno al 40%. Hay diferencia significativa en VE(A) y VE(I) $p < 0.05$.

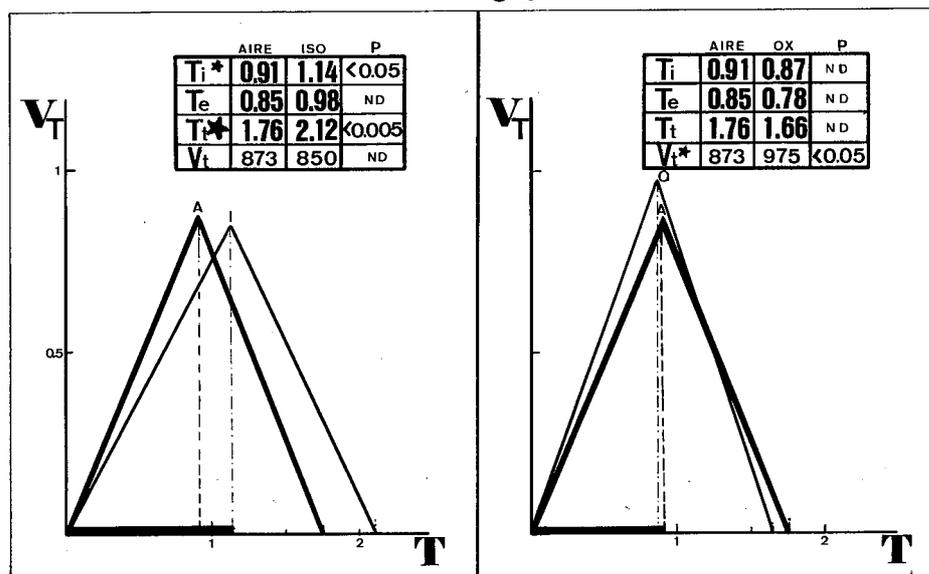


(Fig. 4) Frecuencia respiratoria al finalizar el ejercicio en aire, en el momento de Iso-tiempo y al finalizar el ejercicio en oxígeno. Hay diferencia significativa entre Fr(A) y Fr(I) $p < 0.005$.

Comparando el ciclo ventilatorio (Fig. 5) no encontramos variación en el volumen tidal (VT), conseguido al finalizar el ejercicio en aire y en el punto de Iso-Tiempo; si había un aumento del tiempo total (Ttot) como era deducible de la observación anterior de la disminución de la frecuencia respiratoria (FrR), este aumento del tiempo total era a expensas tanto del tiempo inspiratorio como del tiempo espiratorio, si bien alcanza diferencia significativa

sólo en el tiempo inspiratorio, hay por tanto una disminución del flujo inspiratorio (V_t/T_i) ($p < 0.05$) y de forma no significativa en el flujo espiratorio (V_T/T_e). Cuando comparáramos lo que sucedía al finalizar el ejercicio en aire y al finalizar el ejercicio en oxígeno no había diferencia en el tiempo total (T_{tot}) (no había diferencia en la FrR), no había en el tiempo inspiratorio (T_i) ni en el tiempo espiratorio (T_e), el V_t estaba aumentado, ya que estaba aumentada la ventilación minuto (VE). La relación tiempo inspiratorio-tiempo total (T_i/T_{tot}) no cambió en ninguno de los tres tiempos.

Fig 5



(Fig. 5) Comparación del ciclo ventilatorio al finalizar el ejercicio en aire y en el punto de Iso-tiempo (figura izquierda) y en el tiempo de finalización de ejercicio en aire y oxígeno (figura derecha).

Al finalizar el ejercicio en aire, la relación entre la presión boca (P_m) y la presión inspiratoria máxima ($P_i \text{ max}$) era de un 23%, sin haber cambios importantes ni al finalizar el ejercicio en oxígeno ni en el punto de IsoTiempo. En ningún momento durante la exploración se objetivó movimientos asincrónicos toraco-abdominales, sin embargo, durante la medición del tiempo de «aguante», todos los pacientes utilizaban su musculatura accesoria.

No había diferencias ni en la frecuencia ni en el ciclo ventilatorio al hacer la maniobra de «endurance», requisito indispensable para que ésta tenga validez.

No encontramos correlación entre los parámetros funcionales y el porcentaje de incremento al respirar oxígeno y si había una correlación entre la $P_i \text{ max}$ y el tiempo de aumento al respirar O_2 .

Discusión

Según los resultados obtenidos, los pacientes con L.C.F.A. aumentan su capacidad de ejercicio al respirar oxígeno, disminuyen su VE y su FrR, así como disminuyen el flujo inspiratorio (V_t/t_i), estos datos son concordantes con la mayoría de los trabajos revisados (7, 8, 9) igualmente estos mismos pacientes aumentan su tiempo de «endurance» al respirar por un sistema de resistencia, sin permitirles cambios en la forma de ventilar, es decir sin cambios en su flujo inspiratorio (V_t/t_i) ni en su presión boca (P_m), ya que si el paciente se adaptase a respirar, su esfuerzo sería menor y podría no ser comparable la repetición de las maniobras exploratorias (10, 11). La limitación del ejercicio en los pacientes con L.C.F.A. en principio es atribuible a la alteración que la mecánica ventilatoria condiciona en el aumento de la ventilación, el hecho de que estos pacientes para aumentar la misma tengan que acortar su tiempo inspiratorio, sumado a su insuflación y al aumento de esta durante el ejercicio ⁽¹²⁾ hace que estos pacientes tengan que realizar maniobras que les pueden causar fatiga en sus músculos inspiratorios, de ahí que se ha preconizado el entrenamiento de la musculatura respiratoria como modalidad terapéutica efectiva para el aumento de la capacidad de ejercicio en estos pacientes ^(13,18).

Cuando observábamos lo que sucedía con la relación presión boca (P_m) presión inspiratoria máxima ($P_i \text{ max}$) al finalizar el ejercicio, ésta era de un 23%, lo que supondría que al multiplicar por la relación T_i/T_{tot} resultaría un Índice tensión-tiempo (I_{tt}) inferior al que BELLEMARE y GRASSINO ⁽¹⁹⁾ consideraban fatigante. Sin embargo hay que considerar que la $P_i \text{ max}$ estaba medida desde F.R.C., pero en condiciones de reposo no obstante, a medida que se realiza un ejercicio, la F.R.C. aumenta ⁽¹²⁾, por tanto pensamos que esta relación $P_m/P_i \text{ max}$ durante el ejercicio es muy superior a ese 23%.

El aumento en la capacidad de ejercicio tras la administración de oxígeno por tanto hay que relacionarlo con el efecto beneficioso del mismo sobre los factores determinantes del aporte y consumo energético de la musculatura respiratoria ⁽²⁰⁾, por un lado al disminuir la frecuencia e intensidad de contracción de los mismo (disminuye el flujo inspiratorio) y por otro, considerando que el flujo sanguíneo es similar, el incremento en la concentración de oxígeno, supone un aumento en la capacidad aeróbica; así recordamos la ecuación de la energía propuesta por MONOD y SCHERRER (22, 23) $W/E = a + B T \text{ lim}$ o bien $W = \alpha E/T \text{ lim} + \beta E$, es decir cuando el tiempo límite se extrapola a infinito, el trabajo crítico (W) depende directamente de la energía aportada a la musculatura y a su eficacia, si nosotros manteníamos la misma eficacia y el mismo trabajo, es lógico pensar que el tiempo límite vaya en relación directa con el aporte de energía que se le administra.

Trabajos previos han sido incapaces de establecer un marcador que pudiera predecir qué pacientes mejorarían con el oxígeno, algunos han encontrado una relación con el FEV 124 y otros con la presión transdiafragmática y relación presión transdiafragmática - presión transdiafragmática máxima', nosotros no hemos encontrado correlación con el FEV1 y sí con la $P_i \text{ max}$ basal. Esto supone que es necesaria una cierta reserva de la fuerza muscular para poder mejorar con oxígeno, ya que los pacientes que están respirando con su máxima capacidad de esfuerzo, están en fatiga crónica y no es influenciado ni con el oxígeno ni con el entrenamiento.

Como conclusión, la mejoría de la musculatura respiratoria respirando oxígeno es debido tanto a una disminución de la frecuencia de contracción como a un aumento de la capacidad aeróbica de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

1. Dodd D.S., Brancahano T., Engel L.A.: Chest wall mechanics during exercise in patients with severe chronic airflow obstruction. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1984; 129: 33-88.
- Leaver D.J., Pride N.B.: Flow-volume curves and expiratory pressures during exercise in patients with chronic airway obstruction. *Scand. J. Respir. Dis (suppl.)*. 1971; 77: 23-27. Woodecock A.A., Gedds D.M., Gross E.R.: Oxygen relieves breathlessness in pink puffers. *Lancet* 1981; 1: 907-909.
4. Matthay R.A., Berger H.J., Davies R.A., et al: Right ventricular exercise performance in chronic obstructive pulmonary disease: radionuclide assessment. *Am. Intern. Med.* 1980; 93: 234-239.
- Bye P.T., Esau S.A., Levy R.D., Shiner J., Macklem P.T., Martín J.G., Pardy R.L.: Ventilatory muscle function during exercise in air and oxygen in patients with chronic air-flow limitation. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1985; 132: 236-240.
- Recomendaciones S.E.P.A.R.: Normativa para la espirometría forzada. Número 1. Ed. Doyma. Barcelona 1985. '
7. Vyas M.N., Banister E.W., Martín J.W., Grzybowski S.: Response to exercise in patients with chronic airway obstruction. II. Effects of breathing 40 per cent oxygen. *Am. Rev. Respo. Dis.* 1971; 103: 401-412.
8. Stein D.A., Bradley B.L., Miller W.C.: Mechanisms of oxygen effects on exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 1982; 81: 6-10.
9. Scano G., Van Meerhaeghe A., Willwput R., Vachandez J.P., Sergysels R.: Effect of oxygen on breathing during exercise in patients with chronic obstructive lung disease. *Eur. J. Resp. Dis.* 1982; 63: 23-30.
10. Collet P.W., Perry C., Engel L.A.: Pressure-time product, flow and oxygen cost of resistive breathing in humans. *J. 19 Appl. Physiol.* 1985; 58: 1.263-1.272.
11. Belman M.J., Thomas S.G., Levis M.I.: Resistive breathing training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 1986; 90: 662-668.
12. Stubbing D.G., Pegelly L.D., Morse J.L.C., Jones N.L.: Pulmonary mechanics during exercise in subjects with chronic airflow obstructions. *J. Appl. Physiol.* 1980; 49: 511-515.
13. Pardy R.L., Hussain S.N.D., Macklem P.T.: The ventilatory pump in exercise. *Clinics in Chest Medicine* 1984; 5: 3549.
- Leith D.E., Bradley M.: Ventilatory muscle strength and endurance training. *J. Appl. Physiol.* 1976; 41: 508-516.
15. Belman M.J., Mittman C.: Ventilatory muscle training improves exercise capacity in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1980; 121: 273-280.
16. Pardy R.L., Rivington R.N., Despas P.J., Macklem P.T.: Inspiratory muscle training compared with physiotherapy in patients with chronic airflow limitation. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1981; 123: 421-425.
17. Pardy R.L., Rivington R.N., Despas P.J., Macklem P.T.: The effects of inspiratory muscle training on exercise performance in chronic airflow limitation. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1981; 123: 426-433.
18. Larson J.L., Kim M.S., Sharp J.T., Larson D.A.: Inspiratory muscle training with a pressure threshold breathing device in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am. Rev. Respo. Dis.* 1988; 138: 689-896.
19. Bellemare F., Grassino A.: Evaluation of human diaphragm fatigue. *J. Appl. Physiol.* 1982; 63: 1.196-1.206.
20. Roussos C., Macklem, P.T.: Diaphragmatic fatigue in man. *J. Appl. Physiol.* 1977; 43: 189-197.
21. Jardim J., Farkas G., Prefaut C., Thomas D., Macklem P.T., Roussos C.: The failing inspiratory muscles under normoxic and hypoxic conditions. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1981; 124: 2742-279.
22. Monod H., Scherrer J.: The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 1965; 8: 329-337.

23. Roussos C., Fixley M., Gross D., Macklem P.T.: Fatigue of inspiratory muscles and their synergic behavior. *J. Appl. Physiol.* 1979; 46: 897-904.
24. Jones W.L., Jones G., Edwards R.H.T.: Exercise tolerance in chronic airway obstruction. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1971; 103: 477-491.