

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE UN DISPOSITIVO DE ENTRENAMIENTO DE LOS MÚSCULOS INSPIRATORIOS SOBRE LA OXIGENACIÓN MUSCULAR Y LA ACTIVACIÓN NEUROMUSCULAR DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS

J.G. Ponce González^{1, 2}, C. España Domínguez³, C. Casals^{1, 2}, J. Corral Pérez^{1, 2}, D. Velázquez Díaz^{1, 2}, J.R. Fernández Santos^{1, 2}, R. Aragón Martín^{1, 2}, C. Vaz Pardal⁴, A. Arnedillo Muñoz^{2, 3}.

¹Departamento de Educación Física, Universidad de Cádiz, Puerto Real (Cádiz).

²Instituto de Investigación e Innovación Biomédica de Cádiz (INIBICA).

³Hospital Universitario Puerta del Mar. Unidad de Gestión Clínica de Neumología y Alergia, Cádiz.

⁴Centro Andaluz de Medicina del Deporte Bahía Sur, San Fernando (Cádiz).

Proyecto financiado con la Beca Neumosur nº 4/2017.

RESUMEN

Objetivo: Comparar los cambios en la actividad electromiográfica y oxigenación muscular periférica de los músculos intercostales, en su condición de musculatura accesoria a la respiración, en pacientes con EPOC durante la realización de un test de marcha de 6 minutos (TM6M) con y sin el uso de un dispositivo FeelBreathe (FB).

Material y métodos: Se seleccionaron a 20 sujetos diagnosticados de EPOC a los que se les realizaron dos TM6M separados al menos por 60 minutos. Aleatoriamente, cada uno de los pacientes realizó dos TM6M, uno usando el dispositivo FB y el otro sin FB (SFB) y se midieron durante la realización de ambos TM6M la actividad electromiográfica (EMG) obteniéndose la raíz de la media cuadrática (RMS), y por otro lado la oxigenación tisular de los músculos intercostales a través de la variable de oxihemoglobina (HbO₂).

Resultados: No hubo diferencias significativas en la distancia recorrida en ambos TM6M con FC a SFB. Tanto la RMS como la oxigenación tisular mostraron valores similares entre la condición FB vs. SFB al final de ambas pruebas ($32,26 \pm 101,94 \mu\text{V}$ vs $28,25 \pm 87,02 \mu\text{V}$; $p = 0,16$ y $70,63 \pm 18,80$ vs $70,74 \pm 16,77$; $p = 0,975$ respectivamente).

Conclusiones: El estímulo de trabajo de la musculatura intercostal durante el TM6M con el dispositivo FB no compromete la aparición de la fatiga temprana por un exceso de activación o disminución de la oxigenación de dichos músculos al nivel de intensidad del TM6M.

Palabras clave: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica, entrenamientomúsculos respiratorios, ejercicio físico, oxigenación muscular, electromiografía.

ABSTRACT

Objective: To compare changes in electromyographic activity and peripheral muscle oxygenation of the intercostal muscles, in their condition as accessory muscles for respiration, in patients with COPD during a 6-minute walk test (6MWT) with and without the use of a FeelBreathe (FB) device.

Material and methods: 20 subjects diagnosed with COPD who underwent two 6MTMs separated by at least 60 minutes were selected. Randomly, each of the patients underwent two 6MWT, one using the FB device and the other without FB (SFB) and electromyographic activity (EMG) was measured during the performance of both 6MWT, obtaining the root mean square (RMS), and on the other hand, tissue oxygenation of the intercostal muscles through the oxyhemoglobin (HbO₂) variable.

Results: There were no significant differences in the distance traveled in both 6MWT with HR to SFB. Both RMS and tissue oxygenation showed similar values between the FB condition vs. SFB at the end of both tests ($32.26 \pm 101.94 \mu\text{V}$ vs $28.25 \pm 87.02 \mu\text{V}$; $p = 0.16$ and 70.63 ± 18.80 vs 70.74 ± 16.77 ; $p = 0.975$ respectively).

Conclusions: The work stimulus of the intercostal muscles during the 6MWT with the FB device does not compromise the appearance of early fatigue due to excessive activation or decreased oxygenation of these muscles at the intensity level of the 6MWT.

Keywords: Chronic obstructive pulmonary disease, respiratory muscle training, physical exercise, muscle oxygenation, electromyography.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es un problema de salud pública, debido a su alta prevalencia, su condición progresiva, el deterioro de la calidad de vida y el gran impacto económico^{1, 2}. En pacientes con EPOC la rehabilitación respiratoria (RR) ha demostrado ser muy eficaz. Uno de los componentes de

dicha RR es entrenamiento de la musculatura inspiratoria, que conlleva una mejora de la fuerza y la resistencia a la fatiga de esta musculatura, así como sobre la disnea y la calidad de vida de los pacientes con EPOC^{3, 4}. Además, se ha demostrado que el entrenamiento muscular y el acondicionamiento físico general es una importante herramienta terapéutica y rehabilitadora para el manejo de la EPOC^{5, 6}.

Recibido: 15.05.2021 Aceptado: 29.06.2021

Dr. Jesús G. Ponce González
jesusqustavo.ponce@uca.es

En ese sentido, se ha desarrollado una nueva herramienta para el trabajo de la musculatura respiratoria denominado FeelBreathe (FB) (**Figura 1**), un dispositivo que, a modo de apósito colocado bajo los orificios nasales, permite el entrenamiento de la musculatura inspiratoria de forma concurrente con la musculatura dinámica (FeelBreathe® 3M España, S.A. Medical Specialties. Agencia Española de Medicamento y Productos Sanitarios (AEMPS) nºExp: 521/15/EC). La posibilidad de poder hacer ejercicio físico general combinado al mismo tiempo con el entrenamiento de la musculatura respiratoria permite un gran abanico dentro de los programas de rehabilitación pulmonar.

Figura 1: Tres tallas diferentes del dispositivo FeelBreathe®: 4, 5 y 6 mm. Dispositivo FeelBreathe®colocado debajo de las narinas.



Recientemente se han demostrado efectos positivos de forma aguda cuando se usa el FB sobre la eficiencia ventilatoria en pacientes con EPOC durante un ejercicio de 10 minutos a una intensidad del 50% del consumo del oxígeno máximo. A su vez, la eficiencia ventilatoria durante una prueba incremental mejoró tras un programa de entrenamiento concurrente de 8 semanas usando el dispositivo de FB en pacientes con EPOC⁷. También se han observado beneficios en los resultados de la RR cuando se añade el dispositivo FB a un programa de entrenamiento con ejercicio mejorando la capacidad de ejercicio, disnea, calidad de vida y presiones musculares inspiratorias⁸.

Por tanto, la combinación de FB y ejercicio físico parece una herramienta eficiente a tener en cuenta dentro de los programas de rehabilitación pulmonar. Sin embargo, se desconoce si el efecto agudo del uso del FB durante el ejercicio podría comprometer la fatiga en la musculatura respiratoria provocando un exceso de activación neuromuscular y una menor oxigenación. Este hecho podría comprometer la tolerancia al ejercicio aeróbico usando el FB.

Por tanto, el objetivo principal de este estudio fue determinar la influencia del uso del FB sobre la activación

neuromuscular y la oxigenación tisular de la musculatura respiratoria, en concreto de la musculatura intercostal, en un modelo de ejercicio de marcha, el TM6M (test de marcha de 6 minutos), en pacientes con EPOC.

MÉTODOS

Sujetos:

Se reclutaron veintidós pacientes diagnosticados de EPOC de grado moderado-grave, según normativa GOLD(1), desde la consulta de neumología del Hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz. Se contactó directa y personalmente con los pacientes, se les explicó el motivo de la investigación, las pruebas a realizar, riesgos y toda aquella información necesaria para que si así lo estimaran firmaran un consentimiento informado.

Los criterios de inclusión fueron: i) pacientes mayores de 35 años diagnosticados de EPOC moderado-grave y ii) situación clínica estable, definida como más de 2 meses sin agudizaciones. Los criterios de exclusión fueron: i) presentar condiciones médicas que puedan causar o contribuir a la disnea al esfuerzo no relacionadas con su EPOC (cardiovasculares, metabólicas u otras enfermedades respiratorias asociadas) o aquellas enfermedades que pudieran interferir en la realización del TM6M (fundamentalmente enfermedades neuromusculares o esqueléticas) y ii) negativa al estudio y negarse a firmar el consentimiento informado.

Diseño experimental:

El tamaño muestral de este estudio se calculó utilizando el programa G*Power 3 (Universidad de Düsseldorf, Düsseldorf, Alemania). Para realizar este estudio se necesitaba una muestra de 22 participantes de acuerdo con el resultado del test F con un tamaño del efecto moderado (Tamaño del efecto = 0,5; error α = 0,05; Potencia = 0,8; número de grupos = 2; número de mediciones = 7; Correlación entre medidas repetidas = 0,5).

Se diseñó un estudio aleatorizado simple ciego en el que, una vez aceptada voluntariamente la participación del sujeto, y firmado el consentimiento informado, se le realizaron un electrocardiograma en reposo, cuestionario de recogida de datos clínico-epidemiológicos, escala de disnea de la Medical Research Council (mMRC) y espirometría con su tratamiento habitual. Posteriormente los pacientes hicieron un TM6M para la familiarización con la prueba. A lo largo del estudio los pacientes mantuvieron su tratamiento farmacológico prescrito y no se le realizaron ninguna intervención farmacológica adicional por nuestra parte.

Tras al menos 48 horas de estas pruebas iniciales se realizó de dos TM6M según normativa ATS (American

ThoracicSociety)⁹ separados al menos por 1 hora entre ellos, dando tiempo suficiente para la recuperación del cansancio físico del paciente de la prueba anterior. Cada prueba se realizó en dos condiciones diferentes: i) Grupo sin FB (SFB), donde los participantes respiraban durante elTM6M de manera natural por la nariz; y ii) Grupo FB (FB); donde los pacientes realizaban el TM6M con el dispositivo de FB en la nariz provocando una restricción nasal en la respiración durante el ejercicio. Antes de realizar la prueba se midió el estado de reposo durante 5 minutos en cada una de las condiciones. El orden de las pruebas fue aleatorizado mediante el software "AleatorMethod.xls".

Electromiografía superficial (EMGs):

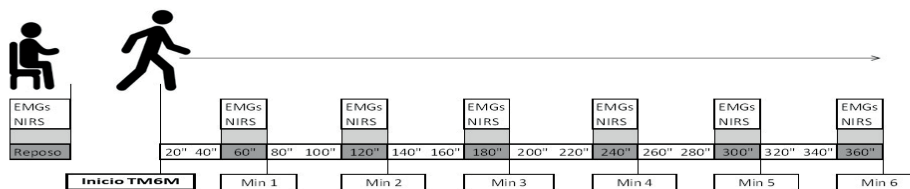
Para medir la actividad muscular se utilizó un sistema inalámbrico (Wireless) de EMGs "Trigno Wireless Inc., South San Francisco; EE. UU.). El monitor Moxy-I utiliza SystemTMDelsys" (Delsys Inc. Massachussets, USA), con una frecuencia de muestreo de 1.000 Hz. La actividad eléctrica muscular fue registrada de los músculos intercostales del lado derecho, a la nos referiremos como musculatura paraesternal a partir de ahora, para evitar las interferencias eléctricas del corazón.

Una vez quedó registrada la señal, ésta fue tratada mediante un filtro de banda entre 20 y 300 Hz, rectificada para obtener el valor Root Mean Square (RMS) de cada músculo durante los últimos 20 segundos de cada minuto delTM6M. Se eligió esta musculatura intercostal paraesternal derecha pues era difícil monitorizar el diafragma con electrodos de superficie debido a las interferencias y profundidad de dicho músculo.

Espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS):

Se midió la proporción de la concentración de oxihemoglobina / concentración de hemoglobina total de la musculatura paraesternal, proporcionando un porcentaje de la saturación muscular de oxígeno¹⁰. Para ello se utilizó un dispositivo NIRS portátil (Moxy-I, Profusa Inc., South San Francisco; EE. UU.). El monitor Moxy-I utiliza cuatro fuentes de luz separadas que cubren el rango de longitud de onda de 630 a 850 nm. Cada dispositivo se fijó usando cinta adhesiva de doble cara cubierto por el vendaje elástico oscuro provisto por el fabricante sobre la piel limpia para evitar el contacto directo con el sudor y para evitar la contaminación de la luz ambiental. Tales mediciones se realizaron en reposo y durante los 6 minutos de la prueba con intervalos de 1 minuto (Figura 2).

Figura 2. Protocolo de mediciones de electromiografía superficial (EMGs) y espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS) de la musculatura respiratoria paraesternal en reposo durante 5 minutos y durante los últimos 20 segundos de cada minuto del test de marcha de 6 minutos (TM6M). Min: minuto. ": segundos.



Los investigadores que analizaron los parámetros medidos en el EMGs y la NIRS no participaron en la realización de las pruebas.

Aspectos éticos:

El presente protocolo fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Sanitaria del Hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz y en él se cumplen los principios de la Declaración de Helsinki para proyectos de investigación con seres humanos con fecha del 17 de enero de 2018. Todos los participantes fueron informados de la naturaleza del estudio y de sus objetivos, y otorgaron su participación en el mismo mediante firma del consentimiento informado como requisito para poder participar. Durante el estudio no se recogieron datos personales de los pacientes que permitan identificar al sujeto.

Los datos obtenidos se mantienen bajo estricta confidencialidad (Ley Orgánica 15/1999, de protección de datos de carácter personal). Los cuadernos de recogida de datos están numerados con un código para garantizar la confidencialidad de la muestra y los datos.

Análisis Estadístico:

Se realizó estadística descriptiva de la población y coeficiente de variación de cada una de las variables analizadas. Los datos descriptivos se presentan como media ± SD. Las diferencias entre grupos a lo largo del test de 6 minutos se compararon mediante análisis estadístico ANOVA de medidas repetidas con un nivel de significación $\alpha = 0,05$ (95%) usando el programa de análisis estadístico StatisticalPackagefor Social Science (SPSS version 19, LanguageSystemCorp, Chicago, IL. USA).

RESULTADOS

Veinte pacientes completaron las pruebas, dos de ellos fueron excluidos por presentar agudización de su enfermedad. Las características generales de la muestra se describen en la **tabla 1**.

No hubo diferencias significativas entre los dos TM6M con respecto a la distancia recorrida cuando se realizaron con FB o SFB (494,3 ± 76,5 m vs 500,2 ± 73,0 m; p = 0,802; respectivamente). Los datos de RMS de la EMG mostraron valores similares en la condición FB vs SFB, tanto en reposo (12,98 ± 53,53 μV vs 19,49 ± 60,13 μV; p = 0,33) como durante todos los minutos del ejercicio de TM6M (32,26 ± 101,94 μV vs 28,25 ± 87,02 μV; p = 0,16). Tampoco hubo diferencias en los datos obtenidos con el NIRS de la musculatura estudiada ni en situación de reposo ni durante la evolución de los TM6M (**Tabla 2 y Figura 3**).

Tabla 1: Características de los 20 pacientes incluidos en el estudio

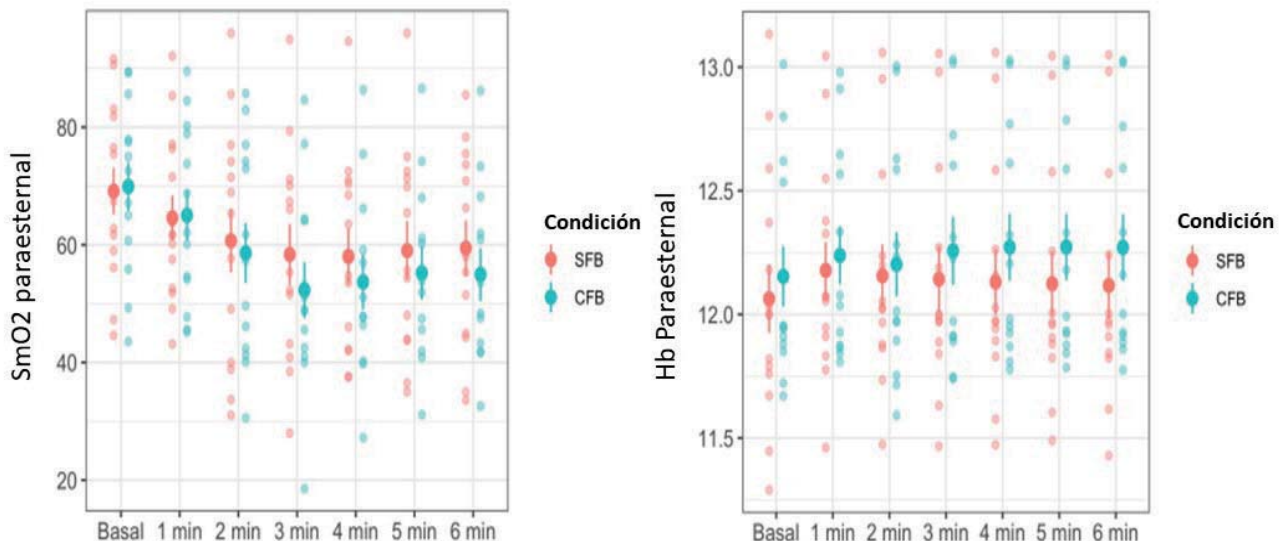
Variable	Media ± DS
Edad (años)	68,1 ± 6,6
Talla (cm)	168,4 ± 5,9
Peso (kg)	78,7 ± 10,2
FVC (%)	85,3 ± 16,4
FVC (ml)	3034,3 ± 659,6
FEV1 (%)	59,2 ± 16,2
FEV1 (ml)	1642,4 ± 516,8
FEV1 / FVC	53,8 ± 9,4
FC basal	86,1 ± 12,7
FR basal	17,5 ± 4,8

FVC, capacidad vital forzada; FEV1, volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FC, frecuencia cardiaca; FR, frecuencia respiratoria. DS: desviación estándar.

Tabla 2: Comparación de medias de la saturación muscular de oxígeno (SMO2%) de los músculos intercostales paraesternales (PST) en situación basal y al final de cada minuto de la prueba de marcha de 6 minutos (TM6) sin el dispositivo Feelbreathe (SFB) y con él (CFB). DS: desviación estándar. p: significación estadística.

		Media (%)	DS	p
Par 1	SFB_BASAL_PST_SMO2	73,67	11,35	0,125
	CFB_BASAL_PST_SMO2	76,44	9,02	
Par 2	SFB_6MIN1_PST_SMO2	72,31	11,97	0,222
	CFB_6MIN1_PST_SMO2	74,94	8,97	
Par 3	SFB_6MIN2_PST_SMO2	74,28	13,03	0,778
	CFB_6MIN2_PST_SMO2	75,40	10,47	
Par 4	SFB_6MIN3_PST_SMO2	68,13	14,62	0,802
	CFB_6MIN3_PST_SMO2	66,08	16,58	
Par 5	SFB_6MIN4_PST_SMO2	67,18	19,80	0,816
	CFB_6MIN4_PST_SMO2	66,08	16,58	
Par 6	SFB_6MIN5_PST_SMO2	67,80	20,02	0,454
	CFB_6MIN5_PST_SMO2	69,92	15,19	
Par 7	SFB_6MIN6_PST_SMO2	70,63	18,80	0,975
	CFB_6MIN6_PST_SMO2	70,74	16,77	

Figura 3: Evolución de la saturación de la oxigenación del músculo (SmO2%) y medición de la hemoglobina total muscular (Hb) a través de espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS) de la musculatura respiratoria paraesternal en reposo durante 5 minutos y durante los últimos 20 segundos de cada minuto del test de la marcha de 6 minutos(TM6M) en ambas condiciones. SFB: sin FeelBreathe; CFB: con FeelBreathe.



DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este estudio fue que no existen diferencias en la activación neuromuscular y la oxigenación tisular muscular de la musculatura paraesternal cuando se realiza ejercicio de caminata con y sin restricción nasal usando el dispositivo de FB. A pesar de la restricción nasal, no hubo diferencias significativas en el rendimiento de la prueba. Bajo nuestro conocimiento, este es el primer estudio que examina si existe alguna diferencia en el reclutamiento de la musculatura respiratoria paraesternal y si afecta a la oxigenación tisular del mismo al usar el dispositivo de FB durante el ejercicio en pacientes con EPOC.

Los resultados obtenidos demuestran que el estímulo de restricción nasal ejercida por FB, no fue suficiente para tener un aumento significativo de la activación neuromuscular del músculo paraesternal medida como RMS durante el TM6M.

En personas sanas un programa de entrenamiento muscular inspiratorio no observó cambios en el EMG de los músculos respiratorios¹¹, pero en pacientes con EPOC, tras un programa de entrenamiento, se ha observado una disminución de la activación EMG de la musculatura respiratoria¹², y una mayor activación en situaciones de sobrecarga¹³.

Esto hace indicar que no se compromete la musculatura respiratoria cuando se hace ejercicio, activándose de manera similar en cuanto a amplitud de la señal de EMG, sin observarse un incremento agudo de la actividad de estos que pueda llevar a la fatiga muscular.

En estudios previos con pacientes EPOC, se ha demostrado que el patrón ventilatorio durante el ejercicio usando FB, se modifica de forma aguda hacia un patrón más eficiente (aumento del equivalente de oxígeno), con un aumento del tiempo inspiratorio, disminuyendo por tanto la frecuencia respiratoria⁷. Por tanto, la ausencia de aumento de la actividad electromiográfica de la musculatura respiratoria en nuestro estudio, podría ser debida a que se realizan respiraciones más lentas que consiguen una mayor eficiencia ventilatoria.

Una limitación de este estudio es que se ha analizado la activación de la musculatura accesoria de la respiración como son los músculos intercostales y no el diafragma, que sería el músculo respiratorio por excelencia, de ahí que el que no se detecte incremento en la actividad en la musculatura intercostal, no puede descartar que no lo haga en el diafragma. No obstante, el que no aumente la activación en la musculatura intercostal refleja que no se sobrecargan los músculos accesorios de la respiración.

La técnica espectroscópica NIRS ofrece información acerca de los cambios de oxigenación producidos en la sangre venosa debido a la profundidad a la que llega esta señal en el tejido (4 - 5 cm). Del total de datos que esta capta un 70% provienen de sangre venosa, un 20% de sangre capilar y un 10% de sangre arterial¹⁰. Esta evaluación de la disponibilidad del oxígeno muscular en tiempo real podría explicar cómo el cambio en las variables de carga como la intensidad del esfuerzo podría influir en la fatiga muscular. En pacientes tanto sanos como con EPOC, se ha observado que tras el entrenamiento se produce una mayor desaturación y una reoxigenación más rápida¹⁴, probablemente debido a mejoría en la actividad enzimática oxidativa muscular¹⁵. En nuestros pacientes, no hubo cambios en la oxigenación periférica de la musculatura paraesternal durante la realización de la prueba con FB. Esto hace indicar que el estímulo del FB no supone un exceso de la carga muscular en pacientes con EPOC, permitiendo el trabajo de la musculatura respiratoria sin llegar a ser crítico para el paciente.

En consonancia, la oxigenación de la musculatura paraesternal tampoco se ve comprometida durante el ejercicio cuando se usa el dispositivo de FB. Esto permitiría aprovechar el oxígeno en aquellos músculos que realizan el ejercicio como son los de las piernas sin ningún tipo de limitación, pudiendo obtener el mismo rendimiento en la prueba, tal y como se refleja en nuestros datos.

Esto supone un avance en el tratamiento no farmacológico de los participantes a través de programas de entrenamientos, que puedan usar al mismo tiempo la restricción nasal con FB para el entrenamiento muscular inspiratorio. Con este estudio se demuestra que el uso del FB durante el ejercicio de caminata no representa un riesgo que comprometa la tolerancia a estos esfuerzos en pacientes con EPOC.

El entrenamiento de los músculos respiratorios supone en la mayoría de los casos una mejora de la calidad de vida y disminuye el grado de disnea. La posible combinación de programas de entrenamiento convencionales, como es la marcha, junto con un dispositivo de entrenamiento de músculos respiratorios proporciona una gran cantidad de posibilidades para la mejora funcional de los pacientes con EPOC^{7, 8, 16}.

En conclusión, el uso del dispositivo FB durante el ejercicio en paciente con EPOC moderado-gravese puede realizar de manera segura al no provocar un aumento de la activación de la musculatura respiratoria, así como, tampoco un mayor compromiso de la oxigenación muscular que limite la tolerancia al ejercicio.

BIBLIOGRAFIA

- 2021 GOLD Reports - Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease - GOLD [Internet]. [cited 2021 Apr 25]. Available from: <https://goldcopd.org/2021-gold-reports/>
- Miravittles M, Soler-Cataluña JJ, Calle M et al. Guía española de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (GesEPOC) 2017. Tratamiento farmacológico en fase estable. Archivos de Bronconeumología. 2017; 53(6): 324–35.
- Rosa M, Rous G, Díaz et al. Rehabilitación respiratoria. Archivos de bronconeumología. 2014; 50(8): 332–44.
- Magadle R, McConnell AK, Beckerman M. et al. Inspiratory muscle training in pulmonary rehabilitation program in COPD patients. Respiratory Medicine. 2007; 7: 1500–5.
- de Lucas Ramos P, Rodríguez González-Moro JM. Rehabilitación de los músculos respiratorios en la EPOC. Archivos de Bronconeumología 2000; 36(8): 460–70.
- Spruit MA, Singh SJ, Garvey C et al. An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Key Concepts and Advances in Pulmonary Rehabilitation. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 2013; 188(8): e13–64.
- Gonzalez-Montesinos JL, Arnedillo A, Fernandez-Santos JR et al. A new nasal restriction device called feelbreathe® improves breathing patterns in chronic obstructive pulmonary disease patients during exercise. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17(13): 1–15.
- Arnedillo A, Gonzalez-Montesinos JL, Fernandez-Santos JR et al. Effects of a rehabilitation programme with a nasal inspiratory restriction device on exercise capacity and quality of life in COPD. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17(10): 1–13.
- ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. American journal of respiratory and critical care medicine. 2002 Jul; 166(1): 111–7.
- Ferrari M, Quaresima V. Near Infrared Brain and Muscle Oximetry: From the Discovery to Current Applications. Journal of Near Infrared Spectroscopy 2012; 20(1): 1–14.
- Ramsook AH, Molgat-Seon Y, Schaeffer MR et al. Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle electromyography and dyspnea during exercise in healthy men. Journal of Applied Physiology 2017; 122(5): 1267–75.
- Wada JT, Borges-Santos E, Porras DC et al. Effects of aerobic training combined with respiratory muscle stretching on the functional exercise capacity and thoracoabdominal kinematics in patients with COPD: A randomized and controlled trial. International Journal of COPD 2016; 11(1): 2691–700.
- Morrow B, Brink J, Grace S et al. The effect of positioning and diaphragmatic breathing exercises on respiratory muscle activity in people with chronic obstructive pulmonary disease. South African Journal of Physiotherapy 2016; 72(1).
- Barberan-García A, Muñoz PA, Gimeno-Santos E et al. Training-induced changes on quadriceps muscle oxygenation measured by near-infrared spectroscopy in healthy subjects and in chronic obstructive pulmonary disease patients. Clinical Physiology and Functional Imaging 2019; 39(4): 284–90.
- Puente-Maestu L, Tena T, Trascasa C et al. Training improves muscle oxidative capacity and oxygenation recovery kinetics in patients with chronic obstructive pulmonary disease. European Journal of Applied Physiology 2003; 88(6): 580–7.
- Camillo CA, Osadnik CR, van Remoortel Het al. Effect of “add-on” interventions on exercise training in individuals with COPD: a systematic review. ERJ Open Research 2016; 2(1): 00078–2015.