



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado Ciencias de la Salud

Efectos del entrenamiento muscular respiratorio en
jugadores de fútbol

Autor:

D. Felipe León Morillas

Directora:

Dra. D^a. Silvana Loana De Oliveira Sousa

Murcia, febrero de 2021



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado Ciencias de la Salud

Efectos del entrenamiento muscular respiratorio en
jugadores de fútbol

Autor:

D. Felipe León Morillas

Directora:

Dra. D^a. Silvana Loana De Oliveira Sousa

Murcia, febrero de 2021



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

La Dr. D^a. Silvana Loana de Oliveira Sousa como Directora de la Tesis Doctoral titulada “Efectos del entrenamiento muscular respiratorio en jugadores de fútbol” realizada por D. Felipe León Morillas en el Departamento de Fisioterapia, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 5 de Febrero de 2021.

Dra. D^a. Silvana Loana De Oliveira Sousa

DECLARACIÓN DE INTERESES

Esta tesis no contiene material que haya sido presentado para la obtención de ningún título o diploma en ninguna otra universidad o tercera institución y, hasta donde llega el conocimiento del autor, no contiene material previamente publicado y escrito por otras personas excepto en aquellas partes expresamente citadas.

Felipe León Morillas

Murcia, Febrero de 2021

Efectos del entrenamiento muscular respiratorio en jugadores de fútbol

RESUMEN

Introducción y justificación

El diafragma es el principal músculo de la respiración y, debido a su disposición, no podemos visualizarlo únicamente dentro del sistema cardiorrespiratorio; tiene una relación directa con más sistemas como el sistema fascial, vascular, linfático e incluso el control postural. El buen estado de la musculatura esquelética es un aspecto indispensable para un óptimo rendimiento de los deportistas, ya sean amateur o de élite. Sin embargo, en los últimos años se está prestando cada vez mayor atención a la musculatura respiratoria, ya que su papel puede ser crucial en el rendimiento del atleta. La limitación respiratoria puede aparecer al realizar deporte y estar relacionada con la fatiga de los músculos respiratorios, el aporte de oxígeno a los mismos y su competición con las demandas de los músculos esqueléticos. De este modo, el entrenamiento de los músculos respiratorios podría plantearse como medio para llegar a conseguir objetivos dentro del ámbito deportivo tales como aumentar el rendimiento físico aeróbico, evitar la fatiga muscular (tanto respiratoria como esquelética) y retrasar la aparición del reflejo metabólico respiratorio. Tanto la fuerza como la resistencia pueden ser entrenadas en estos músculos. El efecto de su entrenamiento específico debe realizarse en función de la mejora de los parámetros funcionales. Las adaptaciones, tras un programa de entrenamiento, pueden influir en el metabolismo energético de estos músculos, provocando una menor demanda de oxígeno a la vez que aumentan su eficacia.

Investigaciones consultadas que realizan diferentes protocolos de entrenamiento de los músculos respiratorios obtuvieron buenos resultados en el rendimiento deportivo en deportes como el fútbol, natación o atletismo. Los músculos respiratorios deben de ser una parte integral del entrenamiento en fútbol, no solo por su papel en la respiración, sino también porque contribuyen a la estabilización y los movimientos del tronco. Por tanto, su fatiga puede afectar también a la técnica de carrera del futbolista. Existe controversia en las

características de los entrenamientos y los diferentes dispositivos empleados. De este modo, se plantea la necesidad de reclutar evidencia sobre los efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria en jugadores de fútbol y la de realizar un ensayo clínico para conocer cómo repercute el entrenamiento muscular inspiratorio en variables de función muscular respiratoria y equilibrio estático en jugadores de fútbol.

Objetivos

- Analizar cualitativamente las características generales de los estudios tales como, protocolos de intervención y variables analizadas en los programas de entrenamiento muscular respiratorio en jugadores de fútbol; así como una síntesis cuantitativa de los principales resultados encontrados en los estudios y evaluar la calidad general de la evidencia científica encontrada.
- Comparar los efectos de un programa de entrenamiento muscular inspiratorio *versus* placebo sobre la función muscular respiratoria una muestra de jugadores de fútbol del equipo sub-23 de la UCAM; así como, describir los valores predictivos de fuerza muscular inspiratoria en la línea de base, identificando el porcentaje de jugadores que están por debajo o por arriba de los valores normativos de la población de referencia no deportista. Otro objetivo propuesto fue evaluar los efectos del entrenamiento muscular inspiratorio sobre el equilibrio estático, medido con plataforma de fuerza, en condición de ojos abiertos y ojos cerrados en la muestra reclutada.

Diseño y metodología

Se ha realizado, en primer lugar, una revisión sistemática con meta-análisis para analizar la evidencia existente sobre los efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria en futbolistas. Dos investigadores independientes revisaron 15 bases de datos, hasta julio de 2019. Los criterios de inclusión fueron ensayos clínicos controlados (aleatorios o no); jugadores de fútbol (profesionales o

recreativos); mujeres y/o hombres; entrenamiento de los músculos respiratorios en comparación con los grupos de entrenamiento. La calidad metodológica y la calidad de la evidencia se evaluaron con la Herramienta de Colaboración Cochrane y la puntuación GRADE, respectivamente. El análisis estadístico se realizó mediante el meta-análisis integral 3.3.070.

En segundo lugar, se ha realizado un ensayo clínico, cuyos participantes fueron jugadores de fútbol de la categoría Sub-23 de la UCAM. Fueron aleatorizados en dos grupos, experimental y placebo. Los dos grupos realizaron un protocolo de 8 semanas de entrenamiento (6 días/semana) con el dispositivo PowerBreathe. El grupo experimental utilizó cargas progresivas de resistencia hasta alcanzar el 80% del valor de PIM, mientras el grupo placebo, mantuvo el dispositivo con una carga mínima (20% PIM). Las variables evaluadas a todos los jugadores fueron de función muscular respiratoria y equilibrio estático. Se realizó una comparación de medias para muestras independientes, utilizando la t-Student para determinar diferencias entre los grupos experimental y placebo en la línea de base. Adicionalmente, para la fuerza muscular inspiratoria se realizó un análisis descriptivo a través de cuartiles (expuesto en diagrama de caja), en función de los valores predictivos de normalidad. La significancia estadística se fijó con un valor de $p < 0,05$. El tamaño del efecto fue calculado usando la eta-cuadrado parcial e interpretado como pequeño ($\eta^2 > 0,01$), medio ($\eta^2 > 0,06$) o grande ($\eta^2 > 0,14$). Se realizó un análisis por intención de tratar.

Resultados

Ocho estudios cumplieron los criterios de elegibilidad. El meta-análisis se realizó para siete variables relacionadas con la función de los músculos respiratorios, la función pulmonar y el rendimiento deportivo. El entrenamiento de los músculos respiratorios proporcionó una mejora significativa en comparación con el entrenamiento simulado o regular en la presión inspiratoria máxima (6 estudios, SDM=0,89; IC del 95%=0,42;1,35) y el rendimiento deportivo (6 estudios, SDM=0,88; IC del 95%=0,38;1,38). No se observaron mejoras significativas para otras variables. La calidad de la evidencia se calificó como baja o muy baja.

Respecto al ensayo clínico, el grupo experimental estuvo constituido por siete jugadores y el grupo placebo por otros siete jugadores (n=14). Ambos grupos fueron homogéneos en la línea de base, no habiendo diferencias estadísticamente significativas entre ninguna de las variables. Respecto a la fuerza muscular inspiratoria (PIM % predictivo) en la línea de base, la media del porcentaje predictivo de los 14 jugadores fue de 108,1%. Un 25% de los jugadores presentaron valores promedios por debajo de su normalidad y un 50% presentaron valores predictivos rozando el valor límite de normalidad. Después del período de entrenamiento, el grupo experimental presentó un incremento desde $-161,5 \pm -31,1$ a $-184,4 \pm -21,5$ (cmH₂O) con una tendencia a la significancia ($p=0,076$). Respecto al grupo placebo, varió desde $-175,4 \pm -30,2$ a $-176,0 \pm -16,4$ (cmH₂O) ($p=0,951$). En valores predictivos, el grupo experimental mejoró de $-104,8 \pm -21,4$ a $-119,5 \pm -14,5$ (cmH₂O) mientras que el grupo placebo fue inapreciable así como el tamaño del efecto (η) que fue muy grande en el grupo experimental comparado al grupo placebo (0,432 vs 0,000 respectivamente). En cuanto a la ventilación máxima voluntaria (MVV), se han observado incrementos en el número de respiraciones por minuto con cambios estadísticamente significativos en ambos grupos. El grupo experimental obtuvo un valor inicial de $89,8 \pm 15,3$ (rpm) y post-intervención de $143,2 \pm 21,9$ (rpm) con un valor de $p=0,005$; mientras que el grupo placebo obtuvo un valor pre-intervención de $86,0 \pm 21,5$ (rpm) y post-intervención de $197,2 \pm 26,6$ (rpm) con un valor de $p=0,000$. La diferencia entre grupos no obtuvo diferencias significativas, con un valor de $p=0,589$ y un tamaño de efecto $\eta= 0,025$.

En el equilibrio estático se observaron cambios significativos tras finalizar las 8 semanas de entrenamiento en el grupo experimental en la variable longitud de Sway en condición de ojos abiertos con un incremento del valor inicial de $2904,8 \pm 640,0$ a $3522,4 \pm 509,0$ (mm) ($p=0,012$). En condición de ojos cerrados, la longitud de Sway también demostró cambios significativos en el grupo experimental con un valor inicial de $3166,2 \pm 641,3$ (mm) y post-intervención de $4173,3 \pm 390,8$ (mm) ($p=0,004$).

Conclusiones

Los resultados de esta revisión sistemática con meta-análisis muestran que la mayoría de los estudios realizaron un entrenamiento de los músculos

inspiratorios con dispositivos tipo carga umbral. Los protocolos fueron heterogéneos respecto a la duración, intensidad y frecuencia. Se encontraron efectos considerables sobre la fuerza de los músculos inspiratorios y el rendimiento deportivo en jugadores de fútbol. No se demostraron beneficios para otras variables de la función muscular respiratoria (PEM y MVV) o función pulmonar (FEV₁, FVC y PEF). Sin embargo, la calidad de la evidencia es baja o muy baja y se necesitan ensayos clínicos de alta calidad para corroborar estos hallazgos.

Los resultados del ensayo clínico sobre los efectos del entrenamiento muscular inspiratorio en jugadores de fútbol muestran que no ha habido diferencia entre los grupos respecto a la función muscular respiratoria, aunque el grupo experimental ha demostrado un incremento progresivo de la fuerza muscular inspiratoria. Un porcentaje importante de los jugadores presentaron valores iniciales de fuerza muscular inspiratoria por debajo de los valores predictivos de normalidad y la mitad de ellos obtuvieron valores similares a la población en general. Esto refleja la mala condición muscular respiratoria de estos jugadores y confirma que el entrenamiento físico general no es suficiente para mejorar la fuerza muscular respiratoria. También se han encontrado cambios significativo en la variable equilibrio estático con un incremento en la longitud de Sway tanto en la condición de ojos abiertos como en la de ojos cerrados. Según el enfoque ecológico, este incremento puede ser interpretado como una mejora del control postural y equilibrio estático en la muestra de estudio, aunque estos resultados deben ser corroborados en investigaciones futuras

Palabras clave: entrenamiento muscular respiratorio, función muscular respiratoria, estabilidad postural, jugadores de fútbol.

Effects of respiratory muscle training in soccer players

ABSTRACT

Introduction and Justification

The diaphragm is the main muscle of respiration and, due to its arrangement, we cannot visualize it solely within the cardiorespiratory system; it has a direct relationship with more systems such as the fascial, vascular, lymphatic system and even postural control. The good condition of the skeletal muscles is an essential aspect for optimal performance of athletes, whether they are amateur or elite. However, in recent years more and more attention has been paid to the respiratory musculature, as its role can be crucial in the athlete's performance. Respiratory limitation can appear during sports and be related to respiratory muscle fatigue, oxygen supply to them and their competition with the demands of skeletal muscles. In this way, the respiratory muscle training (RMT) could be considered as a means to achieve objectives within the sports field such as increasing aerobic physical performance, avoiding muscular fatigue (both respiratory and skeletal) and delaying the appearance of the respiratory metabolic reflex. Both strength and endurance can be trained in these muscles. The effect of your specific training should be based on the improvement of functional parameters. The adaptations, after a training program, can influence the energy metabolism of these muscles, causing a lower oxygen demand while increasing their efficiency.

Researches consulted that carry out different protocols for RMT obtained good results in sports performance in sports such as soccer, swimming or athletics. RMT should be an integral part of soccer, not only because of their role in breathing, but also because they contribute to stabilization and trunk movements. Therefore, their fatigue can also affect the soccer player's running technique. There is controversy in the characteristics of the training and the different devices used. Thus, there is a need to recruit evidence on the effects of RMT in soccer players and to conduct a clinical trial to find out how inspiratory

muscle training affects variables of respiratory muscle function and static balance in players soccer.

Objectives

- Qualitatively analyze the general characteristics of the studies such as intervention protocols and variables analyzed in the respiratory muscle training programs in soccer players; as well as a quantitative synthesis of the main results found in the studies and evaluate the general quality of the scientific evidence found.
- Compare the effects of an inspiratory muscle training program *versus* sham on respiratory muscle function in a sample of soccer players from the UCAM U-23 team; describe the predictive values of inspiratory muscle force at the baseline, identifying the percentage of players who are below or above the normative values of the non-athlete reference population. Another objective was to evaluate the effects of inspiratory muscle training on static equilibrium, measured with a force platform, in the eyes open and eyes closed condition in the recruited sample.

Design and Methodology

A systematic review with meta-analysis was carried out to analyze the existing evidence on the effects of respiratory muscle training in soccer players. Two independent researchers reviewed 16 databases, until July 2019. The inclusion criteria were controlled clinical trials (randomized or not); soccer players (professional or recreational); females and / or males; RMT compared to simulated or regular training groups. The methodological quality and quality of the evidence were evaluated with the Cochrane Collaboration Tool and GRADE score, respectively. Statistical analysis was performed using the integral meta-analysis 3.3.070.

Secondly, a clinical trial has been carried out, whose participants were soccer players of the UCAM U-23 category. They were randomized into two groups, experimental and placebo. The two groups will perform an 8-week training protocol (6 days / week) with the PowerBreathe device. The experimental

group used progressive resistance loads until reaching 80% of the PIM value, while the placebo group kept the device with a minimal load (20% PIM). The variables evaluated in all the players were respiratory muscle function and static balance. A comparison of means for independent samples was performed, using Student's t-test to determine differences between the experimental and placebo groups at baseline. Additionally, for inspiratory muscle strength, a descriptive analysis was carried out through quartiles (shown in a box diagram), based on the predictive values of normality. Statistical significance was set with a value of $p < 0,05$. The effect size was calculated using the partial eta-squared and interpreted as small ($\eta^2 > 0,01$), medium ($\eta^2 > 0,06$) or large ($\eta^2 > 0,14$). An intention-to-treat analysis was performed.

Results

Eight studies met the eligibility criteria. The meta-analysis was performed for seven variables related to respiratory muscle function, pulmonary function and sport performance. RMT provided a significant improvement compared to sham or regular training in maximal inspiratory pressure (6 studies, $SDM=0,89$; 95% $CI=0,42;1,35$) and sport performance (6 studies, $SDM= 0,88$; 95% $CI= 0,38$; 1,38). No significant improvements were observed for other variables. The quality of the evidence was rated as low or very low.

Regarding the clinical trial, the experimental group consisted of seven players and the placebo group by seven other players ($n= 14$). Both groups were homogeneous at baseline, with no statistically significant differences between any of the variables. Regarding inspiratory muscle strength (PIM% predictive) at baseline, the mean predictive percentage of the 14 players was 108,1%. 25% of the players presented average values below their normality and 50% presented predictive values bordering on the borderline value of normality. After the training period, the experimental group showed an increase from $-161,5 \pm -31,1$ to $-184,4 \pm -21,5$ (cmH₂O) with a significance level ($p= 0.076$). Regarding the sham group, it ranged from $-175,4 \pm -30,2$ to $-176,0 \pm -16,4$ (cmH₂O) ($p= 0,951$). In predictive values, the experimental group improved from $-104,8 \pm -21,4$ to $-119,5 \pm -14,5$ (cmH₂O) while sham group was negligible as well as the effect size (η), which was very large in the experimental group compared to sham group (0,432 vs 0,000 respectively). Regarding MVV, increases in the number of breaths per minute with statistically significant changes have been observed in both groups.

The experimental group obtained an initial value of $89,8 \pm 15,3$ and post-intervention of $143,2 \pm 21,9$ (rpm) with a value of $p= 0,005$; while the sham group obtained a pre-intervention value of $86,0 \pm 21,5$ (rpm) and post-intervention of $197,2 \pm 26,6$ (rpm) with a value of $p= 0,000$. The difference between groups did not show significant differences, with a value of $p= 0,589$ and an effect size $\eta= 0,025$.

In the static equilibrium, significant changes were observed after the end of the 8 weeks of training in the experimental group in the variable length of Sway in the condition of eyes open with an increase from the initial value from $2904,8 \pm 640,0$ to $3522,4 \pm 509,0$ mm ($p= 0,012$). In the closed eyes condition, Sway length also showed significant changes in the experimental group with a baseline value of $3166,2 \pm 641,3$ (mm) and a post-intervention value of $4173,3 \pm 390,8$ (mm) ($p= 0,004$).

Conclusions

The results of this systematic review show that RMT has a considerable effect on inspiratory muscle strength and sport performance in soccer players. However, the quality of the evidence is low or very low and high-quality clinical trials are needed to corroborate these findings.

The results of the clinical trial on the effects of inspiratory muscle training in soccer players show that there has been no difference between the groups regarding respiratory muscle function, although the experimental group has shown a progressive increase in inspiratory muscle strength. A significant percentage of the players presented initial inspiratory muscle force values below the predictive values of normality and half of them obtained values similar to the general population. This reflects the poor respiratory muscle condition of these players and confirms that general physical training is not sufficient to improve respiratory muscle strength. Significant changes have also been found in the static equilibrium variable with an increase in Sway's length in both the eyes open and eyes closed conditions. According to the ecological approach, this increase can be interpreted as an improvement in postural control and static balance in the study sample, although these results should be corroborated in future research.

Keywords: respiratory muscle training, respiratory muscle function, postural stability, soccer players.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora, la Dra. Silvana Loana de Oliveira Sousa, por haber confiado en mí en todo momento. Gracias a ella he podido concluir esta etapa. Me ha enseñado a investigar y a crecer, como docente y persona. Le estaré siempre agradecido por haber pensado en mí para desarrollar el proyecto que hoy me ha traído hasta aquí. Gracias por su paciencia, comprensión y ánimo en todo momento. Me considero parte de su familia y, por supuesto, ella forma parte de la mía. De todas las anécdotas y enseñanzas, destaco la esencia que ha dejado en mí resumida en esta frase: *“el conocimiento que no se transmite, se pierde”*.

Silvana, gracias de corazón.

A la Dra. Martha Cecilia León Garzón, quien ha sabido escuchar y dar el consejo oportuno en cada momento y a la Dra. Cristina Orts, por mostrarme todo su conocimiento.

Gracias por vuestro cariño.

Al Dr. Juan Martínez Fuentes, por su comprensión y facilidad para poder compaginar trabajo e investigación.

Gracias por ser como eres.

Al Dr. José Luis Martínez Gil, por haber apostado por mí y brindarme la oportunidad de comenzar como docente en la universidad donde me formé.

Gracias, nunca lo olvidaré.

A mis compañeros de trabajo, muchos de ellos mis antiguos profesores, por todo el cariño y ayuda que me habéis prestado en este proceso. Habéis conseguido minimizar los problemas y hacer que el camino sea más llevadero.

Gracias a todos.

A los jugadores del equipo Sub-23 de la UCAM, temporada 2017-2018, porque gracias a ellos, ha sido posible el desarrollo del proyecto. A los alumnos Miguel, Fernando, Alfonso y Andrea, por ayudarme en la recogida de datos. Y a

profesores de otras titulaciones de la UCAM por ofrecer su ayuda desinteresadamente.

Gracias por vuestra entrega.

A mis amigos, por alegrarse de verme prosperar. Cada meta conseguida ha sido también gracias a vosotros.

Para concluir, quisiera hacer una mención especial a mi familia. A mi hermana, por sacar siempre lo mejor de mí, apoyándome y animándome en todo momento. Tú eres mi verdadero ejemplo a seguir. Gracias por estar siempre cerca de mí. A mis padres, a quienes se lo debo todo. Gracias a vuestra constancia, trabajo, educación y cariño, nos habéis inculcado valores y de la forma más humilde. Todos nuestros logros son vuestros y hoy he llegado hasta aquí gracias a vosotros.

Y en especial a tí, mamá. Gracias por apoyarme, guiarme y ayudarme a ser valiente, mejor persona, conseguir mis propósitos y a no dudar de mí. Has conseguido tu propósito, formarme para poder elegir ante las oportunidades.

GRACIAS A TODOS DE CORAZÓN

A todas aquellas personas que siempre han visto en mí algo especial. Destacar la constancia e ilusión de mi madre en mi continua formación. Especialmente esta tesis va dedicada a ti, mamá.

*“Son nuestras elecciones las
que muestran lo que somos, mucho
más que nuestras habilidades”*

Harry Potter

(J. K. Rowling)



AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN.....	5
DECLARACIÓN DE INTERESES.....	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	15
AGRADECIMIENTOS	19
SIGLAS Y ABREVIATURAS	31
ÍNDICE DE FIGURAS	33
ÍNDICE DE TABLAS	35
INTRODUCCIÓN	37
I. Antecedentes del tema	39
II. Justificación de la tesis	40
CAPÍTULO I	43
MÚSCULOS RESPIRATORIOS	45
1.1. Principales músculos respiratorios	46
<i>1.1.1. Diafragma</i>-----	46
1.1.1.1. Inserciones musculares diafragmáticas.....	46
1.1.1.2. Orificios del diafragma	48
1.1.1.3. Inervación diafragmática.....	49
1.1.1.4. Función diafragmática	50
<i>1.1.2. Músculos Intercostales y accesorios</i>-----	50
<i>1.1.3. Músculos Abdominales</i> -----	51
CAPÍTULO II.....	53
RELACIÓN DIAFRAGMÁTICA CON OTROS SISTEMAS.....	55
2.1. Diafragma y sistema fascial.....	55
2.2. Diafragma y sistema visceral.....	56
2.3. Diafragma y el sistema linfático y vascular.....	57
2.4. Diafragma y control postural	57
CAPÍTULO III	59

EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR RESPIRATORIA	61
3.1. Métodos de evaluación de la fuerza muscular respiratoria.....	61
<i>3.1.1. Evaluación de la fuerza muscular respiratoria mediante presiones -----</i>	<i>61</i>
3.1.1.1. Presión en boca.....	61
3.1.1.2. Presión en nariz.....	63
3.1.1.3. Presión en esófago	64
3.1.1.4. Presión transdiafragmática (Pdi).....	64
<i>3.1.2. Evaluación de la fuerza muscular respiratoria mediante otros métodos ----</i>	<i>65</i>
3.1.2.1. Ecografía diafragmática	65
3.1.2.2. Electromiografía diafragmática	65
3.1.2.3. Mecanomiografía diafragmática superficial	66
3.2. Métodos de evaluación de la resistencia muscular respiratoria (<i>endurance</i>)	66
<i>3.2.1. Pruebas de esfuerzo mantenido y repetido -----</i>	<i>67</i>
3.2.1.1. Carga máxima tolerada (CMT).....	67
3.2.1.2. Tiempo de resistencia ante una carga respiratoria o carga máxima sostenida (Tlim).....	68
3.2.1.3. Ventilación máxima voluntaria (MVV)	68
3.3. Métodos de evaluación de la reserva ante la fatiga	68
<i>3.3.1. Índices tensión-tiempo-----</i>	<i>68</i>
<i>3.3.2. Tasa de relajación máxima -----</i>	<i>69</i>
CAPÍTULO IV	71
ENTRENAMIENTO MUSCULAR RESPIRATORIO	73
4.1. Tipos de entrenamiento	73
<i>4.1.1. Hiperpnea isocápnic voluntaria -----</i>	<i>73</i>
<i>4.1.2. Carga resistiva de flujo inspiratorio -----</i>	<i>74</i>
<i>4.1.3. Carga umbral de presión-----</i>	<i>76</i>
CAPÍTULO V	79
ENTRENAMIENTO MUSCULAR RESPIRATORIO EN DEPORTE.....	81
5.1. Limitación de los músculos respiratorios al ejercicio	81
<i>5.1.1. Mecánica pulmonar -----</i>	<i>81</i>
<i>5.1.2. Fatiga muscular respiratoria-----</i>	<i>82</i>
<i>5.1.3. Metabolorrelejo muscular respiratorio -----</i>	<i>82</i>
5.2. Efectos del entrenamiento muscular respiratorio en deporte.....	83
<i>5.2.1. Entrenamiento muscular respiratorio en fútbol -----</i>	<i>83</i>
<i>5.2.2. Entrenamiento muscular respiratorio en otros deportes -----</i>	<i>85</i>
OBJETIVOS	87

ESTUDIO 1.....	91
EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO MUSCULAR RESPIRATORIO EN JUGADORES DE FÚTBOL. REVISIÓN SISTEMÁTICA CON META-ANÁLISIS	
ANÁLISIS	91
DISEÑO Y METODOLOGÍA	93
1. Diseño del estudio.....	95
2. Estrategia de búsqueda y fuentes de información	95
3. Criterios de elegibilidad	98
4. Proceso de selección de los estudios	98
4.1. <i>Extracción de datos</i>	98
5. Análisis estadístico.....	98
6. Evaluación de la calidad de la evidencia	99
RESULTADOS	101
1. Proceso de selección.....	103
2. Evaluación de la calidad metodológica	105
3. Características generales de los estudios	105
4. Características de la intervención.....	106
5. Resultados variables principales.....	108
5.1. <i>Función muscular respiratoria</i>	108
5.1.1. <i>Presión bucal espiratoria máxima (PEM)</i>	108
5.1.2. <i>Presión inspiratoria máxima de la boca (PIM)</i>	109
5.1.3. <i>Ventilación máxima voluntaria (MVV)</i>	111
5.2. <i>Función pulmonar</i>	112
5.2.1. <i>Volumen espiratorio forzado 1 segundo (FEV₁)</i>	112
5.2.2. <i>Capacidad vital forzada (CVF)</i>	113
5.2.3. <i>Flujo espiratorio máximo (PEF)</i>	115
5.3. <i>Rendimiento deportivo</i>	116
5.3.1. <i>Distancia recorrida</i>	116
DISCUSIÓN.....	119
CONSIDERACIONES FINALES	125
I. Limitaciones del estudio.....	127
II. Propuestas para futuros estudios	128
ESTUDIO 2.....	129

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO MUSCULAR INSPIRATORIO SOBRE LA FUNCIÓN MUSCULAR RESPIRATORIA Y EL EQUILIBRIO ESTÁTICO EN JUGADORES DE FÚTBOL. ENSAYO CLÍNICO	129
DISEÑO Y METODOLOGÍA	131
1. Diseño del Estudio	133
2. Participantes	134
<i>2.1. Criterios de inclusión</i>	<i>134</i>
<i>2.2. Criterios de exclusión</i>	<i>134</i>
3. Aleatorización	134
4. Tamaño muestral	134
5. Mediciones	135
<i>5.1. Pre-intervención</i>	<i>136</i>
<i>5.2. Durante la intervención</i>	<i>136</i>
<i>5.3. Post-intervención</i>	<i>136</i>
6. Procedimiento de intervención de los grupos	137
6.1. Grupo Experimental (GE)	137
6.2. Grupo Placebo (GP)	137
7. Variables del estudio e instrumentos de medida	138
<i>7.1. Variables principales</i>	<i>138</i>
7.1.1. Función muscular respiratoria	138
7.1.2. Equilibrio estático	139
<i>7.2. Variables secundarias</i>	<i>141</i>
7.2.1. Variables sociodemográficas	141
7.2.2. Variables antropométricas	141
8. Procesamiento y análisis de los datos	142
<i>8.1. Procesamiento de los datos</i>	<i>142</i>
<i>8.2. Análisis de los datos</i>	<i>142</i>
RESULTADOS	143
1. Proceso de selección	145
2. Características de los participantes	147
3. Función muscular respiratoria	148
4. Equilibrio estático	151
DISCUSIÓN	153
CONSIDERACIONES FINALES	161
I. Limitaciones del estudio	163
II. Propuestas para futuros estudios	163

ÍNDICE GENERAL	29
CONCLUSIONES	165
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169
ANEXOS	189

SIGLAS Y ABREVIATURAS

CMT. Carga máxima tolerada

CO₂. Dióxido de oxígeno

CRF. Capacidad residual funcional

ECA. Ensayo clínico controlado aleatorizado

EMG. Electromiografía

EMR. Entrenamiento muscular respiratorio

EMI. Entrenamiento muscular inspiratorio

IMT. Inspiratory muscle training.

MVS. Ventilación máxima sostenible

MVV. Ventilación máxima voluntaria

O₂. Oxígeno

P. Presión respiratoria a volumen corriente

P_{di}. Presión transdiafragmática.

P_{dimáx}. Presión transdiafragmática máxima

P_{dimáx twitch}. Presión transdiafragmática máxima eléctrica o magnética.

PEF. Flujo espiratorio máximo

PEM. Presión espiratoria máxima

P_{esmáx}. Presión esofágica máxima

P_{gamáx}. Presión gástrica máxima

PIA. Presión intra-abdominal

PICOS. Estrategia picos: paciente, intervención, comparación, resultados y tipo de estudio.

PIM. Presión inspiratoria máxima

P_{máx.} Presión máxima

SEPAR. Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica.

SDM. Estandarización de medias

SINP. Prueba sniff

SNC. Sistema nervioso central

TI. Tiempo inspiratorio

T_{lim.} Tiempo de resistencia

TTOT. Tiempo total respiratorio

VC. Volumen corriente

VO₂máx. Volumen máximo de oxígeno

VR. Volumen residual

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Inserciones diafragmáticas_____	47
Figura 2. Pilares del diafragma_____	47
Figura 3. Orificios del diafragma _____	49

CAPÍTULO III

Figura 4. Medidor de presiones máximas modelo micro rpm _____	62
Figura 5. Medidor de presiones máximas PIM/PEM con espirómetro_____	62

CAPÍTULO IV

Figura 6. Dispositivo SpiroTiger® _____	74
Figura 7. Dispositivo PFLEX Resistive Trainer _____	75
Figura 8. Dispositivo PowerLung y Threshol _____	76
Figura 9. Dispositivo Powerbreathe® _____	77

RESULTADOS ESTUDIO 1

figura 10. Flujograma del proceso de identificación y selección de los estudios_____	104
Figura 11. Meta-análisis forest PEM _____	109
Figura 12. Meta-análisis forest PIM _____	110
Figura 13. Funnel plot de precisión para las diferencias estándar de medias en PIM _____	110
Figura 14. Meta-análisis forest MVV _____	111
Figura 15. Meta-análisis forest FEV ₁ _____	112

Figura 16. Funnel plot de precisión para las diferencias estándar de medias en FEV₁ _____ 113

Figura 17. Meta-análisis forest CVF _____ 114

Figura 18. Funnel plot de precisión para las diferencias estándar de medias en CVF _____ 114

Figura 19. Meta-análisis forest PEF _____ 115

Figura 20. Meta-análisis forest distancia _____ 116

Figura 21. Funnel plot de precisión para las diferencia estándar de distancia__ 117

DISEÑO Y METODOLOGÍA ESTUDIO 2

figura 22. Espirómetro datospir touch siblemed _____ 139

figura 23. Plataforma de equilibrio freestep _____ 140

figura 24. Angulación plataforma apoyo bipodal _____ 140

figura 25. Báscula y tallímetro _____ 141

RESULTADOS ESTUDIO 2

Figura 26. Proceso de selección y aleatorización de los participantes_____ 146

Figura 27. Valores de PIM (% valor predictivo) pre-intervención de todos los participantes _____ 148

Figura 28. Media de PIM (-cmH₂O) para grupo experimental y placebo en pre-intervención, a las 4 semanas y post-intervención _____ 150

ÍNDICE DE TABLAS**CAPÍTULO III**

Tabla 1. Cálculo de la presión transdiafragmática máxima _____	65
----------------------------------------------------------------	----

DISEÑO Y METODOLOGÍA estudio 1

Tabla 2. Estrategia de búsqueda _____	96
---------------------------------------	----

RESULTADOS ESTUDIO 1

Tabla 3. Calidad de la evidencia de la escala cochrane _____	105
--------------------------------------------------------------	-----

Tabla 4. Características generales de los estudios _____	107
----------------------------------------------------------	-----

Tabla 5. Resultado variables principales _____	118
------------------------------------------------	-----

RESULTADOS ESTUDIO 2

Tabla 6. Características de los participantes en la línea de base _____	147
-------------------------------------------------------------------------	-----

Tabla 7. Diferencias entre grupos pre-post intervención fuerza muscular respiratoria _____	149
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Tabla 8. Diferencias entre grupos pre-post intervención equilibrio estático _____	152
-----------------------------------------------------------------------------------	-----

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

I. Antecedentes del tema

El fútbol es un deporte que exige una alta demanda física a sus jugadores. Estos jugadores recorren aproximadamente entre 10-13 km durante un partido que, sugieren un consumo medio de oxígeno del 70% del volumen máximo de oxígeno (VO_{2max}) (1). Además de realizar numerosos sprints a lo largo de los 90 minutos de juego, los jugadores deben combinar su gran capacidad física con un excepcional dominio del balón y la habilidad para tomar decisiones tácticas. Aunque la mayor parte de la actividad durante el juego es submáxima, los sprints intermitentes que se integran en el juego son supramáximos generando gran fatiga muscular tanto de la musculatura esquelética como respiratoria. Se ha comprobado que los sprints de más de 30 metros requieren una recuperación más larga que los promedio 10-15 metros durante el juego (2).

El buen estado de la musculatura esquelética es un aspecto indispensable para un óptimo rendimiento de los deportistas, ya sean amateur o de élite. Sin embargo, en los últimos años se está prestando una mayor atención a la musculatura respiratoria, ya que su papel puede ser crucial en el rendimiento del atleta. El entrenamiento de los músculos respiratorios (EMR) parece ser fundamental en personas que requieren una alta exigencia física (3,4).

La demanda respiratoria puede contribuir significativamente a la limitación del ejercicio, bien directamente por limitaciones de la musculatura respiratoria o bien indirectamente, por fatiga de los músculos locomotores y por los efectos sobre el flujo sanguíneo en los miembros que realizan el trabajo físico. Estas limitaciones pueden mejorarse con una reeducación respiratoria adecuada y con un EMR (5-10) .

El EMR puede aumentar el rendimiento físico aeróbico, retrasar la fatiga muscular (tanto respiratoria como esquelética) y mejorar la fuerza y/o resistencia muscular, entre otras. Tanto la fuerza como la resistencia pueden ser entrenadas

en estos músculos. El efecto de su entrenamiento, tras un programa de entrenamiento específico, pueden influir en el metabolismo energético de estos músculos, provocando una menor demanda de oxígeno a la vez que aumentan su eficacia (9,11–13).

II. Justificación de la tesis

Tradicionalmente, en la medicina deportiva, las estrategias para mejorar el rendimiento se han centrado en el entrenamiento cardiovascular y de los músculos periféricos. Sin embargo, en las últimas décadas se ha demostrado que el sistema respiratorio, especialmente los músculos respiratorios, también representa un factor limitante del rendimiento. Varios estudios informaron que la fatiga de los músculos respiratorios aparece después de un ejercicio intenso y que un mayor esfuerzo en la inspiración reduce el flujo sanguíneo de las piernas y exagera su fatiga (8,14–23). Además, los músculos respiratorios también contribuyen en gran medida a la percepción del esfuerzo durante el ejercicio. Cuando el trabajo de los músculos respiratorios es relativamente alto, existe una mayor percepción de esfuerzo (23).

En consecuencia, los investigadores y entrenadores ven el EMR como una oportunidad para aumentar el rendimiento y superar el estancamiento logrado con las estrategias tradicionales. La investigación de un EMR en jugadores de fútbol es escasa. En revisiones sistemáticas previas realizadas por HajGhanbari y cols. (24) y Karsten y cols. (25), los análisis se realizaron mezclando diferentes tipos de deportes, además de incluir un pequeño número de estudios en futbolistas. Aunque los deportes intermitentes son similares con respecto al comportamiento fisiológico durante el ejercicio de alta intensidad, es posible que los efectos del EMR en los jugadores de fútbol sean diferentes de los que se logran con otros tipos de deportes intermitentes (es decir, rugby, hockey o baloncesto). Hasta donde sabemos, actualmente no existe una revisión con meta-análisis sobre los efectos del EMR en jugadores de fútbol.

Los estudios realizados en diferentes disciplinas deportivas han informado mejoras en la fuerza de los músculos respiratorios, el rendimiento, el tiempo de agotamiento, los metros cubiertos, la disnea y el esfuerzo percibido como

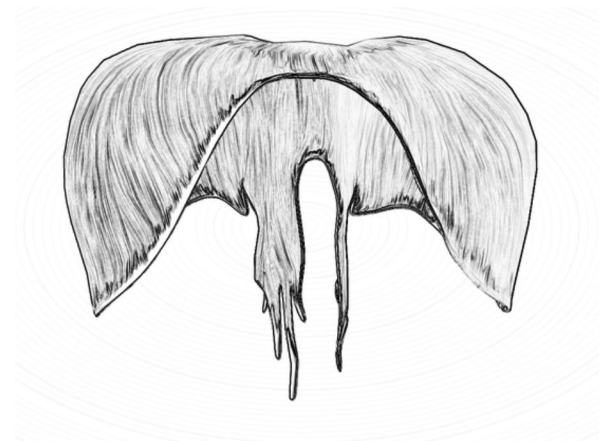
resultado del EMR (10,26–34). La mayoría de los estudios realizados sobre el EMR en jugadores de fútbol no estudian la relación sobre los cambios de la musculatura respiratoria y la estabilidad postural. Los músculos respiratorios son una parte integral del fútbol, no solo por su papel en la respiración sino también porque contribuyen a la estabilización y los movimientos del tronco. Los jugadores de fútbol durante el partido deben controlar su postura y moverse mientras recopilan información visual sobre otros miembros del equipo y sus oponentes (35–38). La estabilidad postural puede verse alterada por los movimientos respiratorios (39–41) ya que estos interfieren en la biomecánica del torso y el balanceo postural, reduciéndolos en apnea (42) y aumentándolos con la hiperventilación (43). Varios autores han demostrado que la actividad diafragmática puede ayudar a la estabilización mecánica del tronco junto con el mantenimiento concurrente de la ventilación. El diafragma y los músculos abdominales juntos, crean un efecto hidráulico en la cavidad abdominal, que ayuda a la estabilización de la columna a través del aumento de la presión intra-abdominal (44–47). Sin embargo, cuando hay debilidad y/o aumento de la demanda respiratoria, el papel del diafragma en la estabilidad de la columna baja disminuye, especialmente debido a la fatiga muscular temprana (48). Durante el ejercicio intenso, como en un partido de fútbol, la fatiga de los músculos respiratorios generada por una mayor demanda puede afectar drásticamente la función postural del diafragma.

Algunos estudios realizados en pacientes con enfermedades respiratorias o neurológicas (46,49,50) han demostrado que la debilidad de los músculos inspiratorios se puede correlacionar con alteraciones de la estabilidad postural. A pesar de la abundante literatura sobre la estabilidad postural en atletas, pocos estudios han investigado el papel de la fuerza de los músculos respiratorios en la estabilidad postural.

De este modo, esta tesis surge de la necesidad de aportar más evidencia a la literatura científica realizando inicialmente una revisión sistemática con meta-análisis sobre los efectos del EMR en jugadores de fútbol. Posteriormente, se ha realizado un ensayo clínico a cerca de los efectos del entrenamiento muscular inspiratorio (EMI) sobre la función muscular respiratoria y el equilibrio estático en jugadores de fútbol.

CAPÍTULO I

MÚSCULOS RESPIRATORIOS



CAPÍTULO I

MÚSCULOS RESPIRATORIOS

El sistema respiratorio es el encargado de adquirir oxígeno (O_2) del exterior y eliminar dióxido de carbono (CO_2), para así poder transmitirlo a los diferentes tejidos del organismo, a través del buen funcionamiento de contracción y relajación de los músculos respiratorios. Estos músculos modifican el volumen de la cavidad torácica creando presiones negativas y positivas, transportando el aire hacia el interior y exterior de los pulmones en los movimientos de inspiración y espiración (51–53).

Los músculos respiratorios están compuestos por fibras musculares esqueléticas y estriadas. No toda la musculatura con estas propiedades tiene las mismas características, pues existen diferencias entre la musculatura respiratoria y los músculos de las extremidades, aun siendo ambas, musculatura esquelética estriada. Algunos autores determinaron que la proporción de fibras musculares en el diafragma es aproximadamente de un 50% fibras tipo I, 25% fibras tipo IIa y 25% fibras tipo IIb, mientras que la proporción de fibras tipo I de los músculos de las extremidades no entrenados es ligeramente inferior (40% fibras tipo I en vasto lateral) (54–57). Las fibras de los músculos respiratorios tienen una mayor tolerancia ante la fatiga, mayor flujo sanguíneo, mayor capacidad oxidativa y mayor densidad capilar, comparándolos con musculatura de los miembros inferiores. Por otra parte, los músculos respiratorios se contraen ante cargas resistivas (vías aéreas) y elásticas (pared torácica y pulmones), más que ante fuerzas de inercia. Además, su posición de reposo está determinada por un equilibrio de las fuerzas elásticas del tórax y los pulmones (58).

1.1. Principales músculos respiratorios

1.1.1. Diafragma

El diafragma es conocido como el principal músculo respiratorio, teniendo como función, realizar la inspiración. Presenta una hoja muscular en forma de lámina fibrosa formando dos cúpulas abovedadas, que separan las cavidades torácica y abdominal. Estas cúpulas muestran al diafragma, en la parte superior de forma convexa y la parte inferior cóncava. El diafragma está constituido, en su parte superior, por una multitud de fibras musculares entrecruzadas formando una parte central aponeurótica llamada centro frénico tras el que discurren hacia la parrilla costal las fibras musculares, generando las cúpulas (3,59–62).

1.1.1.1. Inserciones musculares diafragmáticas

Las fibras musculares de las cúpulas diafragmáticas se insertan en el límite inferior del tórax y convergen en el centro frénico diferenciando tres porciones: esternal, costal y lumbar (figura 1).

La inserción a nivel esternal nace en el dorso del apéndice xifoides formando dos fascículos separados por la hendidura de Larrey. A nivel costal, encontramos seis digitaciones y las tres arcadas de Senat. Las digitaciones se insertan desde la séptima hasta la duodécima costilla y sus fibras se mezclan con las del transverso del abdomen. Las inserciones sobre las arcadas de Senat se originan sobre tres arcos extendidos entre la 10ª y 11ª costilla, la 11ª y 12ª costilla, y la 12ª costilla y 1ª apófisis transversa lumbar. A nivel lumbar, la inserción diafragmática se origina en dos arcos aponeuróticos llamados ligamentos arqueados y, en las vértebras lumbares, a través de los pilares del diafragma cruzando por la cara anterior de la aorta. Respecto a los pilares diafragmáticos, el derecho es de mayor longitud y llega hasta el cuerpo de la vertebra L3, mientras que el pilar izquierdo alcanza el cuerpo vertebral de L2 (figura 2). El ligamento arqueado interno también recibe el nombre de arco del psoas, se inserta en la cara externa del cuerpo de las vertebrae L1 y L2 y, lateralmente, se fija en la parte anterior de la apófisis transversa de la vertebra L1. Se separa de los pilares por el intersticio del cordón simpático. La aponeurosis del psoas establece una relación

entre el músculo diafragma, la charnela toracolumbar y la articulación coxofemoral. El ligamento arqueado externo también recibe el nombre de arco del cuadrado lumbar que se cruza en la parte superior de este músculo y se inserta medialmente en la apófisis transversa de L1 y, lateralmente, en el borde inferior de la duodécima costilla (63–67).

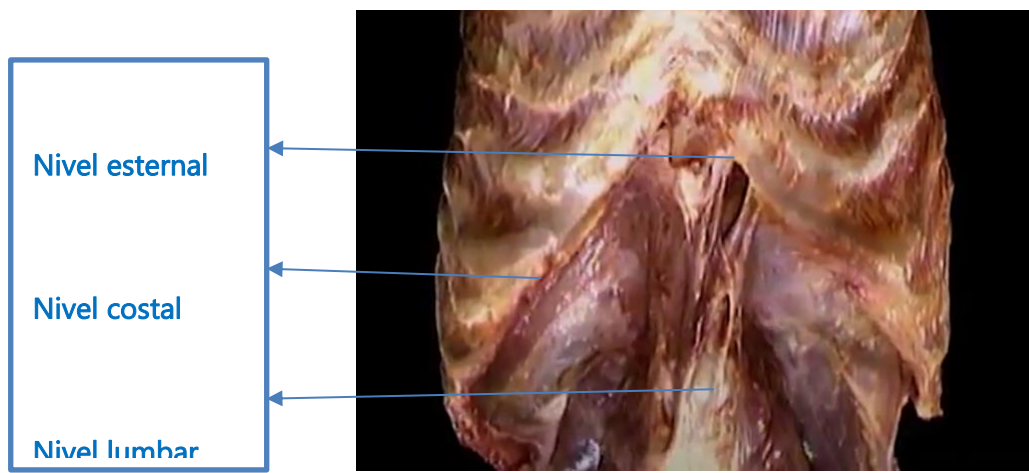


Figura 1. Inserciones diafragmáticas (68).

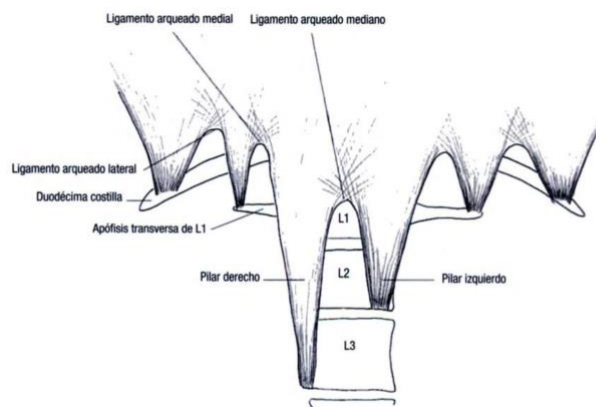


Figura 2. Pilares del diafragma (69)

1.1.1.2. Orificios del diafragma

El diafragma es atravesado por tres grandes estructuras, generando orificios para su paso (figura 3): el orificio aórtico, esofágico y el de la vena cava; también existe un conjunto de varios orificios de menor tamaño.

El orificio aórtico se encuentra caudal y posterior, ligeramente hacia la izquierda y coincide con el nivel vertebral de L2. Es delimitado por los pilares del diafragma. Por él transcurren la aorta y el conducto torácico, aunque ocasionalmente, también las venas ácigos y hemiácigos. Respecto a su composición estructural, es fibroso e inextensible, para no alterar el flujo arterial. La aorta, por su posición contra la columna lumbar, está protegida de los movimientos de torsión que se puedan realizar (66,67,70,71).

El orificio esofágico es debido a la separación de las fibras del pilar derecho ubicado a nivel de D12. Por él transcurren el esófago, los nervios gástricos simpáticos y los nervios vagos, además de algunos vasos linfáticos. La fascia de la parte inferior del diafragma se prolonga superiormente en forma cónica para insertarse en la pared del esófago a 2 cm por encima de la unión gastroesofágica. Esta prolongación de fascia se conoce como ligamento freno-esofágico y es la conexión entre el esófago y el diafragma, limitando el desplazamiento hacia arriba del esófago. En relación a su composición estructural, es muscular y contráctil, ayuda al cardias del estómago en su función, evitando así el reflujo gastroesofágico. Este esfínter se relaja después de la deglución (70,71).

El orificio de la vena cava está ubicado en el centro frénico, a nivel de D8 y D9. Es atravesado por la vena cava y por la rama abdominal del nervio frénico derecho. El orificio de la vena cava es contráctil, de tal forma que, en inspiración, permite el ascenso de la sangre, por juego de presiones; y, al aumentar el diámetro del mismo, durante la espiración, relaja la musculatura permitiendo que se cierre parcialmente, impidiendo el descenso de la sangre (70,71).

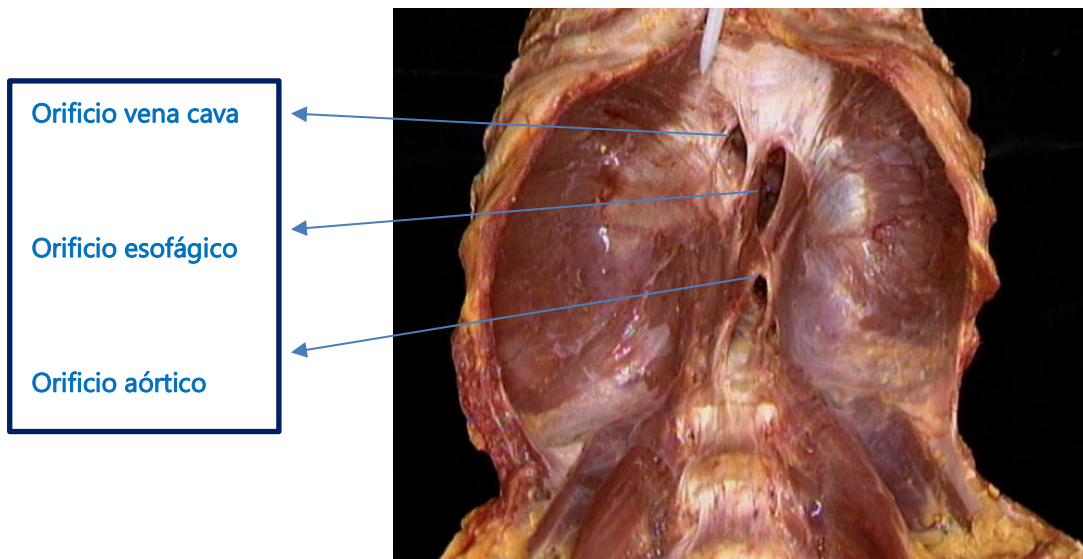


Figura 3. Orificios del diafragma (68).

1.1.1.3. Inervación diafragmática

De la inervación del diafragma se encargan los nervios frénicos y vago, a nivel motor, y los nervios intercostales inferiores, a nivel sensitivo, que dan inervación periférica al músculo. El nervio frénico (C3-C4) recibe pulsos de grupos de neuronas medulares del complejo pre-Bötzing y neuronas del complejo retrotrapezoide parafacial que, a su vez, reciben órdenes sobre el retroambiguus desde el núcleo del bulbo. El nervio vago (X par craneal), forma parte del sistema parasimpático autónomo que se origina en el oblongato espinal y termina en el núcleo ambiguo. El nervio frénico y el nervio vago se anastomosan a nivel del cuello. Las áreas del cerebro involucradas en el control de la respiración son diferentes y su peso de activación varían según el tipo de respiración, las condiciones metabólicas y la información interoceptiva y exteroceptiva (47,67,72–75).

1.1.1.4. Función diafragmática

En la inspiración, el diafragma se contrae y se aplana, se produce un descenso de las cúpulas diafragmáticas con desplazamiento caudal de las estructuras abdominales provocando el aumento de la presión abdominal. A su vez, el diafragma eleva y desplaza hacia fuera la cavidad torácica, generando en la cavidad pleural, una presión negativa (presión pleural), mecanismo que favorece el aumento del volumen inspirado (76).

Durante la espiración, el diafragma asciende de forma pasiva, descomprimiendo la zona visceral, favoreciendo la salida del aire y recuperando su posición anatómica (51,77).

1.1.2. *Músculos Intercostales y accesorios*

Dentro de los músculos intercostales podemos incluir a los intercostales externos e internos. Además, es importante tener en cuenta un grupo de músculos que forma parte de la respiración, de forma secundaria, llamados músculos accesorios que son los escalenos, esternocleidomastoideo, pectoral mayor y menor, trapecio superior, serrato mayor y dorsal ancho (51,52).

El movimiento inspiratorio genera dos movimientos conocidos como “mango de bomba” y “asa de cubo”, variando el diámetro de la caja torácica al tomar aire (51–53):

- El diámetro anteroposterior del tórax aumenta por la elevación de las costillas proyectándose hacia delante y elevando el esternón, también conocido como mango de bomba.
- El diámetro transversal aumenta generando el movimiento en asa de cubo de las costillas inferiores.
- El diámetro vertical del tórax aumenta por el descenso del diafragma.

Los músculos intercostales externos y los músculos accesorios realizan una función inspiratoria y son los responsables del aumento del diámetro antero-

posterior del tórax. Los músculos accesorios de la inspiración actúan durante altos niveles de ventilación. Los escalenos actúan expandiendo la parte superior de la caja torácica por elevación de las primeras costillas y del esternón. Algunos autores indican que debería de considerarse un músculo inspiratorio principal. Existen evidencias de que la activación de los escalenos contribuye a la inspiración incluso en situación de reposo. Durante la respiración en reposo, aproximadamente el 50% del volumen inspiratorio se produce por contracción diafragmática; los intercostales externos y los músculos accesorios producen el resto (51,52).

Los músculos intercostales internos son fundamentalmente espiratorios, cuya contracción provoca un descenso de las costillas. La contracción de los músculos intercostales internos laterales provoca la reducción del diámetro del tórax en sentido transversal. Es difícil determinar el nivel de intervención exacto de estos músculos, pero se podría afirmar que el reclutamiento se hace de forma proporcional a la intensidad del ejercicio (51,52). Además, un estudio comprobó que en pacientes tetraplégicos, los músculos intercostales internos participan también en la inspiración estabilizando la pared torácica. (78).

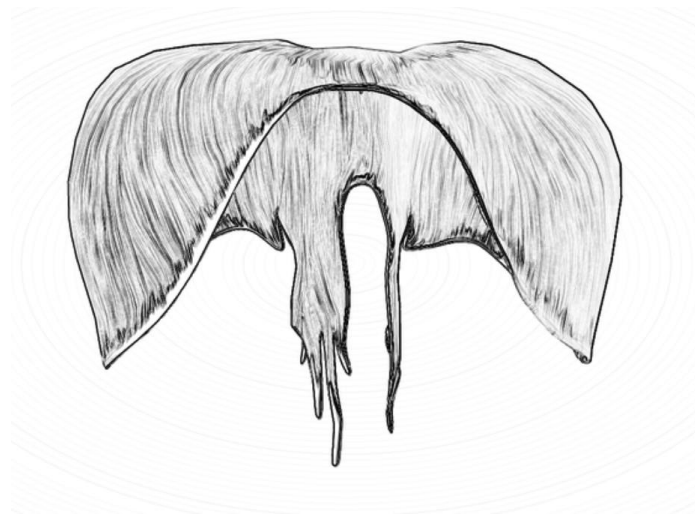
1.1.3. Músculos Abdominales

Los músculos espiratorios principales son los músculos abdominales, que comprenden el recto anterior, oblicuos externo e interno y transversal abdominal (3). Durante la espiración, se contraen provocando un aumento de la presión abdominal, descendiendo las costillas bajas e impulsando las vísceras hacia arriba, facilitando así la elevación del diafragma y disminuyendo los volúmenes pulmonares (3).

Los músculos abdominales desempeñan un papel importante en la regulación de la respiración al hablar, toser, cantar, defecar o durante el parto. Además, intervienen en el correcto funcionamiento del trabajo diafragmático, ya que existe una actividad tónica de los abdominales a lo largo de la inspiración. Esta contracción puede aumentar o disminuir la presión abdominal que se opone al descenso de la cúpula diafragmática favoreciendo la expansión y la elevación de la parrilla costal inferior (51,52).

CAPÍTULO II

RELACIÓN DIAFRAGMÁTICA CON OTROS SISTEMAS



CAPÍTULO II

RELACIÓN DIAFRAGMÁTICA CON OTROS SISTEMAS

El diafragma es un músculo multifuncional que, además de su papel como principal músculo respiratorio, presenta vínculos anatómicos con muchas otras estructuras, participando de las más diversas funciones corporales. Entre los sistemas más estudiados, se encuentran la relación entre el diafragma y el sistema fascial, sistema visceral, sistema linfático, sistema vascular y el control postural, siendo este último parte fundamental para comprender el papel del diafragma en la estabilidad postural.

2.1. Diafragma y sistema fascial

El diafragma está envuelto y conectado por el sistema fascial. Este sistema posee fibras capaces de modificar su estructura ocasionando alteraciones o disfunciones musculares como falta de movilidad, espasmos o dolor. A nivel transversal, el diafragma está envuelto por la fascia transversal, prolongación de la fascia endotorácica, conectada al músculo transverso del abdomen (79,80). A su vez, está conectado con la fascia toracolumbar que es esencial para los músculos que involucran la columna. La fascia toracolumbar se desarrolla posteriormente desde la región sacra, asciende a través de la región torácica y llega hasta la región cervical (81,82).

A nivel cervical, el diafragma está relacionado con la fascia cervical profunda y mediana (parte superior) que conecta con la duramadre a través del tubérculo faríngeo occipital (79,83).

2.2. Diafragma y sistema visceral

El diafragma está conectado a las vísceras gracias a los ligamentos, que son prolongaciones del sistema fascial. La parte superior del diafragma está cubierta por la pleura parietal (recubre la parte interna de la caja torácica) y esta, a su vez, a la pleura visceral (recubre los pulmones). El nexo de unión entre diafragma y pulmón es gracias al ligamento pulmonar que sale del hilio y se prolonga hacia el diafragma; este ligamento se relaciona también con el esófago. Cada cúpula diafragmática se relaciona con la base del pulmón correspondiente (66,84).

A nivel del corazón, el pericardio se adhiere íntimamente al diafragma y el corazón reposa sobre el centro frénico por medio del pericardio. El pericardio está fijado, por arriba y delante, con el ligamento esternopericardico superior; arriba y atrás, por el ligamento vertebropericardico; abajo y atrás, por los ligamentos frenopericardicos derecho e izquierdo; abajo y adelante, por el ligamento esternopericardico inferior; y por abajo, por el ligamento frenopericardicoanterior (64,66).

A nivel esofágico, gracias a la fascia endotorácica, existe relación con la tráquea, el bronquio fuente izquierdo, la pleura, el pericardio, la columna vertebral, la aponeurosis y los músculos paravertebrales, el pilar izquierdo del diafragma, la aorta y la parte inferior del pulmón izquierdo (84).

La parte inferior del diafragma está cubierta por peritoneo parietal relacionándolo con la zona abdominal. Dentro de la zona abdominal, encontramos una base superior que corresponde al diafragma, una base inferior que corresponde al periné, una parte posterior formada por músculos y la columna lumbar, y una parte anterior formada por estructuras musculares y vísceras, conocido a este complejo como "core". El diafragma está relacionado a través del ligamento coronario y falciforme o suspensorio del hígado, con el hígado. A nivel del estómago, el epiplón mayor está unido al diafragma a través del ligamento frenicocólico que conecta al estómago con el colon transversal y el ligamento frenicogástrico, que es el ligamento de sostén del estómago, que une la cara posterior del estómago con el diafragma (59,84).

A nivel renal, la cara posterior de los riñones se apoya contra el diafragma, tiene relación directa con el psoas y el cuadrado lumbar. A nivel del bazo, existe relación con el diafragma a través del ligamento frenocólico, que es el ligamento suspensorio del bazo (59,84).

2.3. Diafragma y el sistema linfático y vascular

Dentro del sistema linfático se encuentra la cisterna de Pecquet (o cisterna del quilo), encargada de recibir linfa proveniente de tres vasos linfáticos mayores y que continúa superiormente por el conducto torácico. La localización de esta cisterna relaciona al sistema linfático y el diafragma, ya que se encuentra entre el diafragma y las vértebras lumbares superiores. El movimiento del diafragma cambia la presión corporal, ya que facilita el retorno venoso y el flujo linfático hacia arriba. Esta modulación de la presión influye en la redistribución de la sangre (85).

Respecto al sistema vascular, durante la respiración, el calibre de la vena cava inferior se ve alterado afectando su efectividad. Investigaciones han demostrado que una alteración funcional y morfoestática del diafragma repercutirá en el drenaje venoso (86,87).

2.4. Diafragma y control postural

El diafragma tiene un papel relevante con el control postural. En el ser humano existe una serie de movimientos rítmicos, provocados por un balanceo esencial e inevitable, debido a perturbaciones propias del ciclo respiratorio y adaptaciones del campo visual. Teniendo en cuenta esta serie de fluctuaciones, podríamos decir que el control postural es la capacidad de restaurar activamente, minimizando el conjunto de movimientos, la postura corporal que se ha perdido debido a factores desestabilizadores (46). El diafragma contribuye al control postural y se activa siempre que el equilibrio se ve alterado (88,89).

El control postural de tronco, a nivel abdominal, está impuesto por el buen funcionamiento de diferentes estructuras que engloban diafragma, musculatura abdominal, columna lumbar y suelo pélvico. Cuando el diafragma se contrae,

desciende, creando una coactivación refleja simultánea en la musculatura transversa abdominal y los músculos del suelo pélvico, así como estabilidad en la columna lumbar. Esta contracción diafragmática aumenta la presión intra-abdominal (PIA). El aumento de la PIA conlleva que las vísceras tiendan a desplazarse antero-posterior o cráneo-caudal, por lo que debe de existir estabilidad y un buen estado de toda la musculatura implicada (90). La columna lumbar también recibe presión por parte de las vísceras y debe de estar estable. El diafragma, cuando se contrae, actúa principalmente sobre L2 para estabilizar la columna lumbar y controlar adecuadamente las fuerzas resultantes.

De esta forma, vemos la importante relación que existe entre el diafragma y el control postural y ha de existir una armonía muscular para permitir un mejor rendimiento de la musculatura y una buena oscilación postural (91). De esta forma, el cuerpo podrá interactuar con el entorno y conseguir un buen control postural (47,92,93).

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR RESPIRATORIA



CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR RESPIRATORIA

La evaluación de la función muscular respiratoria se puede obtener mediante señales eléctricas, ultrasónicas o a través de señales mecánicas, entre otras. La función de los músculos respiratorios puede ser evaluada atendiendo las diferentes propiedades como son la fuerza muscular, la resistencia muscular y la reserva ante la fatiga (94).

3.1. Métodos de evaluación de la fuerza muscular respiratoria

Entendemos como fuerza muscular el máximo grado que se desarrolla en una contracción del músculo (95). La evaluación de la fuerza de contracción de la musculatura respiratoria no se puede determinar directamente por la disposición de la musculatura, por lo que se puede determinar a través de análisis de presiones u otros métodos (96–98).

3.1.1. Evaluación de la fuerza muscular respiratoria mediante presiones

3.1.1.1. Presión en boca

Podemos obtener tanto la presión inspiratoria máxima (PIM) como la presión espiratoria máxima (PEM). Es una prueba voluntaria, no invasiva, sencilla y reproducible que evalúa la presión máxima en boca. Los dispositivos más utilizados para obtenerlas son el Micro RPM (figura 4) y el medidor PIM/PEM del espirómetro (figura 5). Se realizan maniobras de inspiración y espiración forzada máxima contra una vía ocluida, para poder medir la fuerza muscular respiratoria de forma indirecta. Esto es debido a que, con la glotis abierta, la presión en boca equivale a la presión alveolar. La válvula ocluida debe tener una pequeña fuga para evitar el cierre de la glotis. La maniobra contra válvula cerrada para obtener

la PIM es conocida como técnica de Müller, mientras que la maniobra para calcular la PEM se denomina Valsalva (3,99).



Figura 4. Medidor de presiones máximas modelo Micro RPM (100)



Figura 5. Medidor de presiones máximas PIM/PEM con espirómetro (imagen propia del autor)

Según los criterios de la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (*SEPAR*), para evaluar la PIM, le pedimos al paciente que realice una espiración máxima y, al finalizar, cerramos la boquilla conectada al manómetro

de presión y le pedimos que inspire con todas sus fuerzas durante 3-5s. Para obtener la PEM, le pedimos al paciente una inspiración máxima y, al finalizar, cerramos la boquilla conectada al manómetro de presión y le pedimos que sople con todas sus fuerzas durante 3-5s (99). Ambas se realizan en posición de sedestación con una pieza bucal estándar y pinza nasal (99,101,102).

El manual de la *SEPAR* aconseja realizar un mínimo de 6 maniobras hasta obtener 3 valores comparables existiendo una diferencia de ≤ -5 cmH₂O entre ellas (variabilidad del 5%), siendo el mejor resultado la medición válida (103). Los valores normales de PIM y PEM dependen de la edad, sexo, desarrollo muscular general y de la relación volumen-presión y presión-flujo que presente el participante. En España, existen valores de referencia para la PIM publicados por Herrero-Labarga y cols., (104) sobre población infantil, y por Morales y cols., (105) sobre adultos. Para resolver la ecuación es necesario tener en cuenta que los valores de PEM y PIM se miden en -cmH₂O, siendo el de PIM en negativo, además de tener en cuenta la edad en años y el peso en Kg. En general, se acepta que una PIM mayor de -80 cmH₂O (varones) y -60 cmH₂O (mujeres) permite excluir razonablemente la presencia de debilidad muscular relevante, estableciéndose estos valores como límite de normalidad (105–107). Las presiones inspiratorias descienden con la edad, aproximadamente un 1% cada año entre los 20 y 70 años (108). En relación al límite inferior de normalidad de PEM, se estima de 150 cmH₂O (hombres) y de 120 cmH₂O (mujeres) (107).

Las maniobras de PIM y PEM tienen los inconvenientes de depender directamente del grado de motivación del individuo, de la buena coordinación entre el evaluador y el paciente, así como del aprendizaje de la técnica por parte del participante. Existe una serie de recomendaciones previas que se puede consultar en el manual de procedimientos de *SEPAR* (99).

3.1.1.2.Presión en nariz

Consiste en una medición de la PIM mediante una maniobra de inhalación forzada a través de un “sniff” nasal, (*SNIP* según la siglas en inglés) (99). Es una prueba voluntaria, no invasiva, sencilla y reproducible, que permite estimar de forma indirecta la fuerza de los músculos inspiratorios (99,109–111). La presión se

recoge mediante un catéter ocluidor introducido en un orificio nasal, mientras el otro está ocluido. El participante debe de ser cooperativo y realizar una inspiración rápida e intensa, generalmente desde la capacidad residual funcional (CRF) (3,99,109). Su fiabilidad implica disponer de unas vías aéreas altas totalmente permeables. Suele realizarse un mínimo de 10 maniobras y se selecciona el valor más elevado (103). Los valores de normalidad en varones son > -70 cmH₂O, mientras que en las mujeres son > -60 cm H₂O (103,106,112).

3.1.1.3. Presión en esófago

Para calcular la presión dentro del esófago realizaremos una maniobra para obtener la presión esofágica máxima (Pesmáx). Es una prueba voluntaria, invasiva y reproducible. Similar a la *sniff* nasal, pero el catéter se coloca en el tercio medio-inferior del esófago. Para esta prueba no hay necesidad de tener las vías aéreas altas permeables. Al participante se le introduce un sistema de sondas-balón esofágicas conectadas a un transductor de presión y a un software de registro de datos. Los participantes no deben tomar alimento en horas previas. Actualmente, no existen valores de referencia consensuados (99), pero Barreiro y cols. (103) señalan que los valores de normalidad en varones son > -80 cmH₂O, mientras que en las mujeres son > -70 cm H₂O.

3.1.1.4. Presión transdiafragmática (Pdi)

Para obtener la Pdi, es necesario calcular la presión esofágica máxima (Pesmáx) y la presión gástrica máxima (Pgamáx), previamente. Es una prueba voluntaria, invasiva y reproducible, que mide la fuerza de forma específica del diafragma a través de cambios de presión entre la cavidad torácica y la abdominal (97,99). Para esta prueba no hay necesidad de tener las vías aéreas altas totalmente permeables. Una vez colocada una sonda en el esófago para medir la Pesmáx y otra en el estómago para la Pgamáx, la Pdi se obtiene como resultado de la diferencia del valor de Pgamáx (positiva) y restarle la Pesmáx (suele ser negativa) (véase tabla 1). El participante debe de evitar ingerir alimentos horas antes. En personas normales, se considera debilidad o fatiga del diafragma, valores inferiores a -80 cmH₂O para la mujer y menor a -100 cmH₂O para el

hombre (3,99,103,109,113). Esta prueba es la *Gold standard*, pero al ser invasiva, su uso no está extendido en la práctica clínica.

Tabla 1. Cálculo de la presión transdiafragmática máxima

$$P_{dim\acute{a}x} = P_{gam\acute{a}x} - P_{esm\acute{a}x}$$

Otra opción para obtener la Pdi es inducir la contracción diafragmática, a través de la estimulación eléctrica o magnética del nervio frénico (Pdim^{áx} twitch). Es una prueba involuntaria y se utiliza en estados de nula colaboración, por ejemplo, en pacientes en UCI (109). La estimulación eléctrica emplea agujas o electrodos para obtener la actividad eléctrica del nervio frénico, mientras que la estimulación magnética genera un campo magnético que despolariza las estructuras nerviosas subyacentes (98,99,109). Valores de Pdim^{áx} twitch < -10 cmH₂O son considerados parámetros de debilidad diafragmática, en pacientes críticos (109).

3.1.2. Evaluación de la fuerza muscular respiratoria mediante otros métodos

Otros métodos para poder evaluar la fuerza muscular inspiratoria pueden obtenerse a través de técnicas como la ecografía, electromiografía (superficial y profunda) o mecanomiografía superficial del músculo diafragma.

3.1.2.1. Ecografía diafragmática

La ecografía en el músculo diafragma consiste en una técnica no invasiva que permite medir el grosor del músculo (estático) y la fracción de engrosamiento (dinámico). Cuando el diafragma se contrae, se acorta y aumenta su grosor. El cálculo de grosor se realiza tras una espiración pasiva (cuando alcanza la CRF). La evidencia existente sobre el grosor de normalidad, en adultos sanos, estima valores medios entre $1,7 \pm 0,4$ y $3,3 \pm 1,0$ mm (109).

3.1.2.2. Electromiografía diafragmática

La electromiografía (EMG) estudia la función muscular a través de la señal eléctrica que se origina en los músculos durante su contracción generada por el flujo de iones que se produce en la membrana de las fibras musculares, durante la contracción (potenciales de acción). El análisis de la frecuencia de la señal EMG diafragmática permite estudiar la fatiga muscular respiratoria. Podemos obtener la EMG diafragmática de forma superficial o profunda.

La señal electromiográfica diafragmática puede ser registrada superficialmente con electrodos posicionados sobre el diafragma. Los electrodos de superficie tienen la facilidad de registrar la actividad de un gran número de unidades motoras; pero, al mismo tiempo, pueden recibir impulsos de otros músculos. (97). En el caso de la EMG diafragmática profunda, los electrodos utilizados pueden ser esofágicos o intramusculares (97,109). Los inconvenientes de esta evaluación es la pérdida de información por la interferencia de señal de origen cardíaco, por ser una técnica invasiva y por generar molestias a los participantes. Conviene destacar que los electrodos intramusculares facilitan seleccionar relativamente el músculo que se desea estudiar (diafragma o intercostales), pero con poca evidencia. (97,109).

3.1.2.3. Mecanomiografía diafragmática superficial

Los músculos esqueléticos vibran lateralmente durante su contracción, por lo que se puede hacer un registro de esas vibraciones. La señal se recoge a través de micrófonos, sensores piezoeléctricos o acelerómetros, colocándolos alrededor del diafragma. El estudio de esta señal permite evaluar no invasivamente la actividad mecánica de los músculos respiratorios durante la inspiración. El manual de la SEPAR ha considerado la señal mecanomiográfica del diafragma, útil para el estudio de la fuerza y fatiga muscular (97).

3.2. Métodos de evaluación de la resistencia muscular respiratoria (*endurance*)

La resistencia muscular respiratoria (*endurance*) es la capacidad de mantener un nivel de esfuerzo ventilatorio submáximo durante un tiempo

determinado (94,114,115). Para la medición de la *endurance*, es necesario que un músculo se contraiga contra una carga y observar la capacidad que tiene para aguantar esa carga, para así dar información de la resistencia que ofrece a fatigarse (116). Hay diferentes formas de obtener una evaluación de la resistencia muscular respiratoria, según si se utiliza un esfuerzo único mantenido o esfuerzos repetidos (3,94).

3.2.1. Pruebas de esfuerzo mantenido y repetido

Para las pruebas de esfuerzo mantenido, se emplea la presión inspiratoria submáxima y debe de existir un sistema que permita determinar una presión diana, siempre con vía aérea ocluida, durante el mayor tiempo posible (99).

Las pruebas de esfuerzo repetido se realizan contra vía aérea ocluida o contra vía aérea permeable. Con vía aérea ocluida, el procedimiento será igual que las pruebas de esfuerzo mantenido; pero, en este caso, el esfuerzo es repetido. Y con vía aérea permeable, la respiración se produce contra una resistencia que puede ser resistiva o de tipo umbral. En las de tipo resistivo, nos aseguramos del nivel de esfuerzo a través del control del patrón ventilatorio y las de tipo umbral son preferibles, por permitir regular el nivel de esfuerzo.

Los métodos de evaluación más utilizados para la resistencia de los músculos respiratorios son carga máxima tolerada (CMT) y tiempo de resistencia (Tlim). También se puede evaluar mediante la ventilación máxima voluntaria (MVV), según el manual SEPAR (99).

3.2.1.1. Carga máxima tolerada (CMT)

La CMT es la carga máxima que un individuo es capaz de tolerar durante un mínimo de 1 minuto. Esta prueba valora específicamente el grupo muscular (inspiratorio o espiratorio) que se pone a prueba, aunque puede valorar tanto la resistencia como la fuerza. Para determinar la CMT, el individuo respirará a través de una válvula de dos vías, aplicando una carga inspiratoria o espiratoria que irá aumentando hasta que se produce el fracaso (3,97).

3.2.1.2. Tiempo de resistencia ante una carga respiratoria o carga máxima sostenida (Tlim)

El Tlim es el tiempo de resistencia que un participante es capaz de respirar contra una carga submáxima, aproximadamente al 80% del valor de PIM/PEM (3,97,99). Inicialmente, se parte de esta carga submáxima e irá decreciendo un 5% la carga, al mismo tiempo que iremos midiendo el Tlim. El agotamiento se determina por cada carga no superada. La presión que puede ser sostenida por más de 10 minutos se considera la presión inspiratoria sostenible. El valor de la presión inspiratoria sostenible se obtiene promediando las presiones de los últimos 20 ciclos de respiración (97). Aunque la repetibilidad es aceptable, no existen valores de referencia ampliamente aceptados.

3.2.1.3. Ventilación máxima voluntaria (MVV)

Es una maniobra de carácter volitivo e inespecífica en lo que respecta a la evaluación funcional muscular, puesto que implica el reclutamiento simultáneo de la musculatura inspiratoria y espiratoria. Consiste en movilizar la máxima cantidad de aire en un corto período de tiempo (15 segundos) con una frecuencia respiratoria mayor de 80 respiraciones por minuto, según los criterios establecidos por SEPAR (99,103). El paciente debe respirar lo más rápido y profundo como le sea posible. Es posible también medir la máxima ventilación sostenible (MVS), que consiste en la máxima ventilación voluntaria que se puede mantener al menos durante 15 minutos. En individuos sanos motivados, la MVS varía entre el 50% y el 80% de MVV. Las principales desventajas son la dificultad técnica y la falta de valores de referencia (3,97) aunque puede predecirse una aproximación a su valor con la ecuación $MVV = FEV_1 \times 35$ (99).

3.3. Métodos de evaluación de la reserva ante la fatiga

El manual SEPAR establece que la evaluación de la reserva ante la fatiga puede establecerse con el cálculo de los índices tensión-tiempo y tasa de relajación máxima.

3.3.1. Índices tensión-tiempo

Estos índices pueden obtenerse de forma global de los músculos respiratorios o ser específicos del diafragma. Para obtenerlos, hay que obtener la presión respiratoria a volumen corriente (P) y la presión máxima (P_{máx}), además de calcular el tiempo inspiratorio (TI) y el tiempo total respiratorio (TTOT). La fórmula sería la siguiente: índices tensión-tiempo= (P/P_{máx}) * (TI/TTOT) (99).

3.3.2. Tasa de relajación máxima

Analiza la velocidad de relajación muscular, como marcador de fatiga muscular. La tasa de relajación máxima sería el porcentaje de caída en la porción correspondiente a la relajación, observada en el curva de presión respiratoria en 10m/s. Se puede observar en curvas de presión en boca, nasal, esofágica y transdiafragmática (99).

CAPÍTULO IV

ENTRENAMIENTO MUSCULAR RESPIRATORIO



CAPÍTULO IV

ENTRENAMIENTO MUSCULAR RESPIRATORIO

4.1. Tipos de entrenamiento

El entrenamiento de la musculatura respiratoria (EMR) podemos realizarlo tanto para la musculatura inspiratoria como espiratoria y existen varios tipos de entrenamiento y dispositivos específicos para cada uno de ellos. Podemos encontrar un entrenamiento basado en la hiperpnea isocápnicia voluntaria y entrenamiento muscular de carga resistiva inspiratoria o de carga de umbral de presión (21,117,118).

4.1.1. *Hiperpnea isocápnicia voluntaria*

Este tipo de entrenamiento hace un trabajo inspiratorio y espiratorio mejorando principalmente la resistencia respiratoria, por tener una carga de baja intensidad a alta velocidad (117,119,120). Consiste en realizar un trabajo al 60-90% de la ventilación máxima voluntaria (MVV), así como una frecuencia respiratoria en torno al 50-60 respiraciones por minuto y un volumen corriente entre 2,5 - 3,5 litros. El EMR se realiza a través de períodos prolongados de hiperpnea con una duración de hasta 15 minutos y con una frecuencia de 2 veces al día, de 3 a 5 veces por semana, durante 4-5 semanas. El indicador clave para determinar el nivel de hiperpnea que debe alcanzar el paciente es la capacidad ventilatoria máxima sostenida, que se define como el nivel máximo de ventilación que puede ser mantenido en condiciones isocápnicas. Este tipo de entrenamiento debe de

realizarse respirando por medio de un circuito isocápnic, para mantener los niveles estables de CO₂ y evitar la hipocapnia (118,119).

Un dispositivo que utiliza el principio de hiperpnea isocápnic es el SpiroTiger® (figura 6), desarrollado por Ideag Lab (Suiza). El EMR mediante este dispositivo consiste en mantener una frecuencia de respiración elevada, pero manteniendo una concentración de CO₂ en sangre constante; para lo cual, incorpora una bolsa calibrada donde se recoge el aire exhalado por el paciente y se mezcla con aire ambiente en la siguiente inspiración.



Figura 6. Dispositivo SpiroTiger® (121)

4.1.2. Carga resistiva de flujo inspiratorio

Este tipo de entrenamiento se indica para el trabajo de la fuerza muscular inspiratoria. La carga resistiva de flujo inspiratorio consiste en el trabajo del flujo inspiratorio a través de un orificio de diámetro fluctuante. La carga resistiva

depende de la cantidad de flujo y del diámetro del orificio. La cantidad de flujo representa una limitación inherente, ya que dependerá del patrón respiratorio de la persona (118). Este método de trabajo es poco utilizado por la dificultad de control de la carga inspiratoria al no tener mecanismos de regulación (120).

Uno de los dispositivos más utilizados es el PFLEX Resistive Trainer (Respironics HealthScan Inc., Cedar Grove, Nueva Jersey) (figura 7). Este dispositivo tiene una boquilla y un dial circular. Al girar el dial, varía el tamaño de la abertura por la que el participante debe respirar. Cuanto más pequeña es la abertura, mayor será la resistencia a la inspiración. Presenta 6 posibilidades de resistencias inspiratorias. Los diámetros son de 0,45 mm (orificio 6), de 1,9 mm (orificio 5), de 2,7 mm (orificio 4), de 3,5 mm (orificio 3), de 4,5 mm (orificio 2) y de 5,35 mm (orificio 1). El entrenamiento con este dispositivo consiste en pedirle al participante que inspire por medio de estos orificios, de forma progresiva, en cuanto al diámetro. El nivel de carga se va incrementando progresivamente, siempre y cuando se garantice que, entre un incremento y otro, la frecuencia respiratoria, el volumen corriente y el tiempo inspiratorio permanezcan constantes (118,122).



Figura 7. Dispositivo PFLEX Resistive Trainer (123) .

4.1.3. Carga umbral de presión

Carga umbral de presión se basa en la realización de una presión negativa suficiente para superar el umbral respiratorio. Este tipo de entrenamiento trabaja fuerza y resistencia de la musculatura respiratoria. El nivel del esfuerzo requerido por los músculos respiratorios puede ajustarse mediante la tensión de un muelle y de acuerdo con un porcentaje de la PIM/PEM del paciente en boca (118,122). El dispositivo está concebido para que no haya flujo significativo por debajo del valor umbral; una vez superado éste y abierta la válvula, la resistencia lineal al incremento de flujo debe ser inapreciable (118,122). Para el trabajo inspiratorio y espiratorio es utilizado el dispositivo PowerLung (120) (figura 8), aunque la mayoría de los estudios están centrados en un trabajo específico inspiratorio con dispositivos; por ejemplo, como el Threshold (Inspiratory Pressure Threshold Device®, Cedar Grove, NJ, EE.UU.) (figura 8).

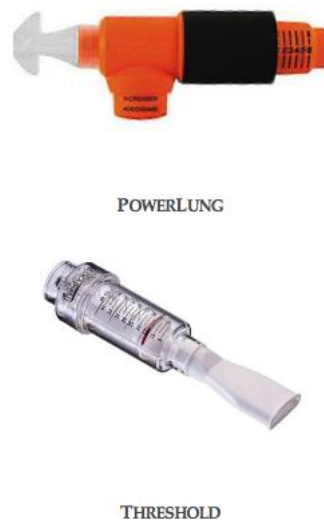


Figura 8. Dispositivos PowerLung (124) y Threshold (125) .

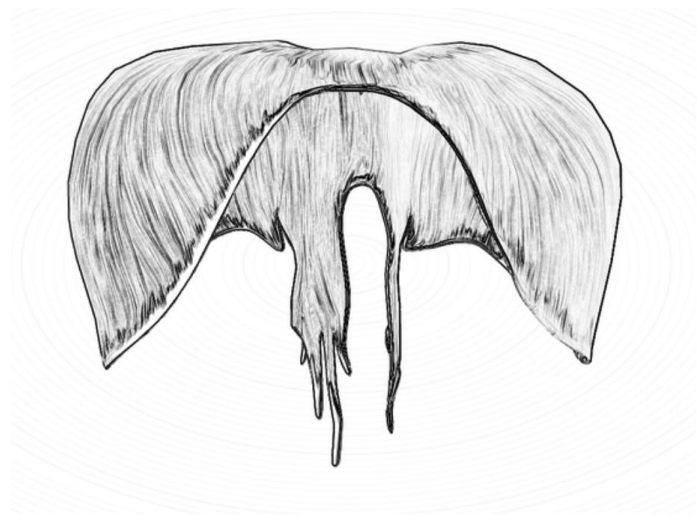
Otro dispositivo tipo carga umbral, muy utilizado por su fácil uso y coste-beneficio, es el dispositivo PowerBreathe®, patentado por IMT Technologies LTD (figura 9) (120,126–128). Consiste en un dispositivo de EMI que comprende una boquilla, un cuerpo principal y un regulador que, mediante una válvula/muelle, permite controlar la resistencia del paso del aire. Existen 5 series *classic*, *plus*, *black edition*, *pink editon* y *serie K*. La serie *classic* fue la primera en comercializarse en 2001 y el aparato tenía forma de “T”; posteriormente se crearon las series *plus*, *black edition* y *pink edition* todas ellas similares, en forma de “L”, únicamente se diferenciaban en el color; y finalmente, se patentó la *serie K* en la cual los aparatos pasaron a ser electrónicos e incorporaron un sistema de monitorización y una función de auto-mejora (129)



Figura 9. Dispositivo PowerBreathe® serie black (130)

CAPÍTULO V

ENTRENAMIENTO MUSCULAR RESPIRATORIO EN DEPORTE



CAPÍTULO V

ENTRENAMIENTO MUSCULAR RESPIRATORIO EN DEPORTE

La demanda respiratoria puede contribuir significativamente a la limitación del ejercicio, bien directamente por limitaciones de la bomba muscular respiratoria o bien indirectamente por fatiga de la musculatura esquelética y por los efectos sobre el flujo sanguíneo, en los miembros que realizan el trabajo físico. Estas limitaciones se ven reflejadas en la mecánica pulmonar, la fatiga muscular y el metabolorreflejo muscular respiratorio (131). La mecánica pulmonar puede mejorarse con una reeducación respiratoria mientras que la fatiga y el metabolorreflejo muscular respiratorio, con un entrenamiento muscular respiratorio (EMR) (118,131).

De esta forma, el EMR puede aumentar el rendimiento físico aeróbico, evitando la fatiga muscular (tanto respiratoria como esquelética) y retrasando la aparición del reflejo metabólico respiratorio. Las adaptaciones, tras un programa de entrenamiento, pueden influir en el metabolismo energético de estos músculos, provocando una menor demanda de oxígeno a la vez que aumentan su eficacia.

5.1. Limitación de los músculos respiratorios al ejercicio

5.1.1. Mecánica pulmonar

Evaluar el patrón respiratorio de los deportistas determinará el trabajo posterior y la posible aparición de limitación ante un esfuerzo. Se considera que el

patrón respiratorio adecuado debería tener un predominio de la movilidad abdomino-diafragmático y costal inferior, durante la inspiración (132,133). La mecánica pulmonar puede mejorarse con una reeducación respiratoria adecuada acorde a las necesidades del deportista (131).

5.1.2. Fatiga muscular respiratoria

Durante el ejercicio físico en deportes de resistencia, el gasto cardíaco cada vez es más elevado, pudiendo reducir el tiempo de intercambio gaseoso, limitando la difusión pulmonar y generando fatiga muscular (134). Estudios recientes relacionan la limitación respiratoria al ejercicio, en individuos altamente entrenados, con la fatiga de los músculos respiratorios (11,13). Esta afirmación no siempre ha sido avalada por los investigadores, ya que se creía que la fatiga muscular, generada tras hacer este tipo de esfuerzo, no afectaba a la musculatura respiratoria por mostrarse esta resistente a la fatiga. Esta fatiga muscular respiratoria, al final del ejercicio, puede contribuir a una hipoventilación relativa, contribuyendo así a la hipoxemia observada en algunos deportistas de élite (54).

5.1.3. Metabolorreflejo muscular respiratorio

Respecto a la relación entre la musculatura respiratoria y musculatura esquelética, la propia función muscular respiratoria podría determinar la función de otros músculos esqueléticos, incluyendo la musculatura de los miembros inferiores, a través del llamado metabolorreflejo muscular respiratorio (135). El metabolorreflejo o reflejo metabólico respiratorio aparece como consecuencia de dicha fatiga y supone una activación del sistema nervioso simpático que genera vasoconstricción de los músculos encargados del ejercicio. Esto causa una disminución del flujo sanguíneo a la musculatura esquelética en beneficio de la

musculatura respiratoria que debe preservar su función. En situaciones en las que las necesidades de oxígeno de los músculos respiratorios son muy elevadas, se produce una demanda competitiva entre estos y la musculatura esquelética activa, limitando el aporte de oxígeno a sus células, provocando un descenso del rendimiento (118). Algunos autores han observado una reducción del 30% en la fuerza del cuádriceps tras provocar fatiga en los músculos respiratorios de personas sanas (10). Asimismo, se ha comprobado una reducción del flujo sanguíneo a los miembros inferiores, al dificultar el trabajo respiratorio (19).

5.2. Efectos del entrenamiento muscular respiratorio en deporte

El EMR es capaz de mejorar específicamente la fuerza de la musculatura respiratoria. Esta afirmación se ha comprobado gracias a la obtención de diferencias significativas en valores de PIM, obtenidas en diferentes tipos de deportes (9–11,13,28,118,136–138).

5.2.1. Entrenamiento muscular respiratorio en fútbol

En relación al fútbol, existe controversia o poca evidencia respecto a los efectos del EMR, a pesar de ser uno de los deportes más practicados. El desarrollo de un óptimo rendimiento depende de multitud de factores tales como la preparación física, táctica, psíquica o emocional, nutricional, hábitos de vida, así como un nivel técnico específico (139), por lo que es difícil encontrar un consenso sobre estrategias para elaborar programas de preparación física (140).

El fútbol es un deporte de tipo intermitente (141) caracterizado por realizar esfuerzos de alta y baja intensidad (142). Los de alta intensidad son saltar, esprintar o realizar cambios de ritmo, y las acciones de baja intensidad serían trotar o pararse (143). Esto incluye esfuerzos repetidos o intermitentes de alta intensidad de carrera, intercalados con periodos de recuperación de

baja/moderada intensidad o de pausa total (141); además, las demandas fisiológicas variarán de un jugador respecto a otro, dependiendo de la posición que ocupe en el campo (144,145). La posición de los jugadores en el terreno de juego fue analizada en un estudio, obteniendo diferencias en la variable frecuencia cardíaca en jugadoras de fútbol 11 (146). La mayor parte de los equipos de fútbol trabajan estas acciones específicas en sus entrenamientos, puesto que al jugador le será de gran ayuda dominarlas a la hora de jugar un partido (147). Respecto al tipo de esfuerzo, la evidencia científica publicada sobre la demanda en fútbol 11 es muy variada. Bangsbo J. y cols., (148) analizó cómo fue el patrón de movimiento de 14 jugadores profesionales de fútbol, durante varios partidos, y la distancia media que estos recorrieron fue de 10,80 km. Años más tarde, este mismo autor volvió a analizar la distancia media obteniendo parámetros entre 10 km y 13 km de la distancia recorrida durante varios partidos, especificando que la mayor parte de esta distancia la cubren caminando y corriendo a baja intensidad (1). Los periodos de alta intensidad demandan acciones en las que se muestran el nivel y técnica de los jugadores y tanto los esfuerzos aeróbicos como anaeróbicos determinarán resultados sobre rendimiento (149). Los jugadores profesionales deberían ser capaces de mantener el mismo nivel de intensidad durante todo el partido, pero diversos estudios muestran que tanto la distancia recorrida como la intensidad de trabajo, durante la segunda mitad del juego, baja en comparación con la primera mitad (143).

La mayor preocupación de los jugadores es mejorar y mantener un óptimo rendimiento deportivo que, en la mayoría de los casos, viene condicionado por la presencia de un agotamiento muscular respiratorio. La percepción del esfuerzo respiratorio es importante para tolerar el ejercicio cardiorrespiratorio de alta intensidad (9), y algunos autores postulan que la reducción en la percepción de disnea y esfuerzo es uno de los mecanismos explicativos de los efectos del EMR en la mejora del rendimiento. Resultados positivos avalan la práctica de un entrenamiento muscular inspiratorio (EMI) en fútbol por las mejoras de PIM, medida indirecta de la fuerza muscular inspiratoria (9,11,13,150). Los estudios publicados acerca del EMR en fútbol, incluyen alguna medida de tolerancia al ejercicio y pruebas de rendimiento de fútbol globales o específicas, lo que demuestra resultados controvertidos con respecto a los efectos del EMR sobre esta

variable. Esta controversia puede atribuirse a las diferencias en los protocolos de entrenamiento y las medidas de resultados de rendimiento seleccionados por los investigadores (9,11,13,150).

5.2.2. *Entrenamiento muscular respiratorio en otros deportes*

En deportes como el atletismo, un estudio realizó un EMI, obteniendo un aumento de los valores de fuerza de los músculos respiratorios (137). Otros deportes sostienen la influencia positiva del EMR, tanto en la fatiga percibida como en el rendimiento en una prueba de 5000 m a pie (151). Por otro lado, también se ha demostrado que tras un EMI, existe mejora en la percepción al esfuerzo con un descenso de la disnea y aumento del VO_2 máximo, mejorando la resistencia muscular (152) y mejora del rendimiento en corredores y remeros (32). En natación, autores demostraron que un EMR genera una tendencia de mejora de la velocidad en competición y mejoras de las funciones pulmonares tales como la PIM, potencia espiratoria máxima y percepción al esfuerzo (28).

En ciclismo se ha demostrado que el EMR es favorable e incrementa la resistencia de los deportistas (138). Otros autores avalan la eficacia del EMR, así como la ayuda de este en aumentar el rendimiento de los deportistas, y los resultados indican que, tras un ejercicio intenso, existe una fatiga de la musculatura inspiratoria; pero, con un correcto entrenamiento de dicha musculatura, conseguimos disminuir esta fatiga y mejorar el rendimiento deportivo (29).

OBJETIVOS

OBJETIVOS

Los objetivos de esta tesis se plantean, inicialmente, para conocer los efectos del entrenamiento muscular respiratorio en jugadores de fútbol a través de una revisión sistemática con meta-análisis (a, b). Posteriormente, se examinan los efectos de un programa de entrenamiento muscular inspiratorio aplicado a una muestra de jugadores de fútbol a través de un ensayo clínico controlado aleatorizado (c, d). A continuación, se detallan los objetivos de los dos estudios conjuntamente:

a) Analizar cualitativamente las características generales de los estudios tales como, protocolos de intervención (intensidad, duración y frecuencia) y variables analizadas en los programas de entrenamiento muscular respiratorio en jugadores de fútbol.

b) Realizar una síntesis cuantitativa de los principales resultados encontrados en los estudios y evaluar la calidad general de la evidencia científica sobre los efectos del entrenamiento muscular respiratorio en jugadores de fútbol.

c) Comparar los efectos de un programa de entrenamiento muscular inspiratorio *versus* placebo sobre la función muscular respiratoria en una muestra de jugadores de fútbol del equipo sub-23 de la UCAM así como describir los valores predictivos de fuerza muscular inspiratoria de los jugadores en la línea de base, identificando el porcentaje de jugadores que están por debajo o por arriba de los valores normativos de la población de referencia no deportista.

d) Evaluar los efectos de un entrenamiento muscular inspiratorio sobre el equilibrio estático, medido con plataforma de fuerza, en condición de ojos abiertos y ojos cerrados en una muestra de jugadores de fútbol del equipo sub-23 de la UCAM.

ESTUDIO 1

EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO
MUSCULAR RESPIRATORIO EN
JUGADORES DE FÚTBOL. REVISIÓN
SISTEMÁTICA CON META-ANÁLISIS

DISEÑO Y METODOLOGÍA

DISEÑO Y METODOLOGÍA

1. Diseño del estudio

Se realizó una revisión sistemática con meta-análisis de ensayos clínicos controlados aleatorizados para determinar los efectos del entrenamiento muscular respiratorio (EMR) en jugadores de fútbol de acuerdo a la normativa “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses” (PRISMA) (153).

2. Estrategia de búsqueda y fuentes de información

Se realizó una búsqueda bibliográfica en 15 bases de datos: *Pubmed/Medline, IBECs, LILACS, CINAHL, SPORTDiscus, Academic Search Complete, PsycINFO, Rehabilitation & Sports Medicine Source, Web of Science Core-collection, Current Contents Connect, Derwent Innovations Index, Russian Science Citation Index, Cochrane library, PeDro y Science Direct.*

Los términos incluidos en la estrategia de búsqueda fueron: *soccer, football*, breathing exercises, respiratory muscle training, inspiratory muscle training, expiratory muscle training, RMT, respiratory training, respiratory exercise.* Estos términos fueron combinados con los operadores booleanos “AND” y “OR”. Se revisaron los listados de referencias de los estudios incluidos con el objetivo de obtener artículos adicionales. La última búsqueda se llevo a cabo en julio de 2019. No se establecieron restricciones de idioma o fecha de publicación.

La estrategia de búsqueda utilizada para las bases de datos, donde se han encontrado resultados, se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Estrategia de búsqueda.

Base de datos	Estrategia de búsqueda	Resultados
Pubmed/Medline	((("Soccer"[Mesh] AND "Breathing Exercises"[Mesh])) OR ((soccer[tw] OR football*[tw]) AND ("breathing exercise"[tw] OR "respiratory muscle training"[tw] OR "Inspiratory muscle training"[tw] OR "expiratory muscle training" [tw] OR "RMT"[tw] OR "respiratory training"[tw] OR "respiratory exercise"[tw])))	52 resultados.
BVS	Mh:(("Soccer" AND "Breathing Exercises")) OR Tw:((soccer OR football*) AND ("breathing exercise" OR "respiratory muscle training" OR "inspiratory muscle training" OR "expiratory muscle training" OR "RMT" OR "respiratory training" OR "respiratory exercise"))	Medline: 50 resultados. Lilacs: 2 resultados. Ibecs: 5 resultados
Cochrane Library	#1 "soccer or football*" (Word variations have been searched) #2 "breathing exercise" or "respiratory muscle training" or "inspiratory muscle training" or "expiratory muscle training" or "RMT" or "respiratory training" or "respiratory exercise" (Word variations have been searched).....636 #3 MeSH descriptor: [Soccer] explode all tres.....6 #4 MeSH descriptor: [Breathing Exercises] explode all tres.....11 #5 (#1 and #2) or (#3 and #4) Enter terms for searc.....0	30 resultados
PEDro	Soccer "breathing Exercises" Result: 0 Soccer "respiratory muscle training" Result: 1 duplicado (Nick 2009) (Duplicado) Soccer "inspiratory muscle training" Result: 1 Guy (Duplicado) Soccer "expiratory muscle training" Result: 0 Soccer "RMT" Result: 1duplicado (Nick 2009) (Duplicado) Soccer "respiratory training" Result: 0	2 resultados.

	Soccer "respiratory exercise" Result: 0	
	Football* "breathing Exercises" Result: 0	
	Football* "respiratory muscle training" Result: 0	
	Football* "RMT" Result: 0	
PEDro	Football* "respiratory training" Result: 0	
	Football* "respiratory exercise" Result: 0	
EBSCO Host	MH (("Soccer" AND "Breathing Exercises")) OR TX ((soccer OR football*) AND ("breathing exercise" OR "respiratory muscle training" OR "inspiratory muscle training" OR "expiratory muscle training" OR "RMT" OR "respiratory training" OR "respiratory exercise"))	Academic Research Complete: 130 SportDiscus: 258 CINAHL: 78
Web of Science (WoS): WOS Core Collection	TS=((soccer OR football*) AND ("breathing exercise" OR "respiratory muscle training" OR "inspiratory muscle training" OR "respiratory muscle training" OR "RMT" OR "respiratory training" OR "respiratory exercise"))	Web of Science: 40
Science Direct	all((soccer OR football*) AND ("breathing exercise" OR "respiratory muscle training" OR "RMT" OR "respiratory training" OR "respiratory exercise"))	Science direct: 0

3. Criterios de elegibilidad

Se recogieron ensayos clínicos controlados aleatorizados con jugadores de fútbol (profesionales o amateur) de ambos sexos, y se evaluaron los efectos del EMR sobre la fuerza muscular respiratoria, la fatiga y/o el rendimiento deportivo. Los artículos revisados habían sido publicados en revistas internacionales de revisión por pares a texto completo. Se excluyeron estudios realizados en jugadores con alguna patología específica (lesión de la médula espinal) o aquellos que incluyeron tanto jugadores de fútbol como jugadores de otros deportes.

Todos los estudios fueron revisados por dos investigadores de forma independiente y ambos seleccionaron los artículos para después leer a texto completo. Los desacuerdos se resolvieron por consenso entre los dos revisores.

4. Proceso de selección de los estudios

4.1. Extracción de datos

Para la extracción de datos, se siguió la estrategia PICOS (P=paciente; I=intervención; C=comparación; O=resultados; S=tipo de estudio). Los datos que se extrajeron de los artículos fueron; autor, año de publicación, características de la muestra (sexo, edad, número de grupos), las características de la intervención (dispositivo, intensidad, frecuencia y duración de la intervención) y resultados principales de las variables analizadas.

5. Análisis estadístico

La medida del tamaño del efecto utilizada para calcular las estimaciones agrupadas fue la diferencia estandarizada de medias (SDM). Otras medidas estadísticas se transformaron en SDM. Cuando un estudio tenía dos grupos, placebo y experimental, o dos intervenciones de EMR con diferentes intensidades, se calculó la media de cada par de comparaciones.

Al igual que Cooper y col., utilizamos el modelo de efectos aleatorios para estimar los efectos combinados para mejorar la generalización de los resultados del estudio a cualquier jugador de fútbol (154). La prueba Q se utilizó para el análisis de heterogeneidad, completándola calculando el grado de inconsistencia (I^2) de Higgins y col. (155). El sesgo de publicación se evaluó analizando el gráfico en embudo, la prueba de Egger (valor p) y el método "Trim and Fill" (efecto promedio y % de cambio) (156,157). Se utilizó para los cálculos el meta-análisis integral 3.3.070.

6. Evaluación de la calidad de la evidencia

El sistema de evaluación, desarrollo y evaluación de calificaciones (GRADE) se utilizó para evaluar la calidad general de la evidencia (158). El sistema de grados comprende cinco factores: riesgo de sesgo de los estudios individuales, inconsistencia, efecto indirecto, imprecisión y sesgo de publicación. Estos factores se evaluaron mediante la lista de verificación GRADE (159), excepto el primer factor que se evaluó mediante la Herramienta de colaboración Cochrane (160).

Para los resultados de cada meta-análisis, el nivel de calidad general se redujo de alta calidad en 1 nivel para cada factor que encontramos, excepto por limitaciones serias, para las cuales el nivel de calidad se redujo en 2 niveles. El sistema GRADE define la calidad de la evidencia como (158): (1) alta: es improbable que la investigación adicional cambie nuestra confianza en la estimación del efecto; (2) moderado: es probable que la investigación adicional tenga un fuerte impacto en nuestra confianza en la estimación del efecto y puede cambiar la estimación; (3) bajo: es muy probable que la investigación adicional tenga un impacto importante en nuestra confianza en la estimación del efecto y es probable que cambie la estimación; y (4) muy bajo: cualquier estimación del efecto es muy incierta.

RESULTADOS

RESULTADOS

1. Proceso de selección

La estrategia de búsqueda identificó 597 citas (figura 10). Después de eliminar los elementos duplicados, se examinaron 591 artículos leyendo título y resumen. De estos, 550 fueron rechazados y 41 seleccionados para leer a texto completo. De ellos, 33 fueron excluidos. Finalmente, fueron utilizados ocho estudios para esta revisión con meta-análisis.

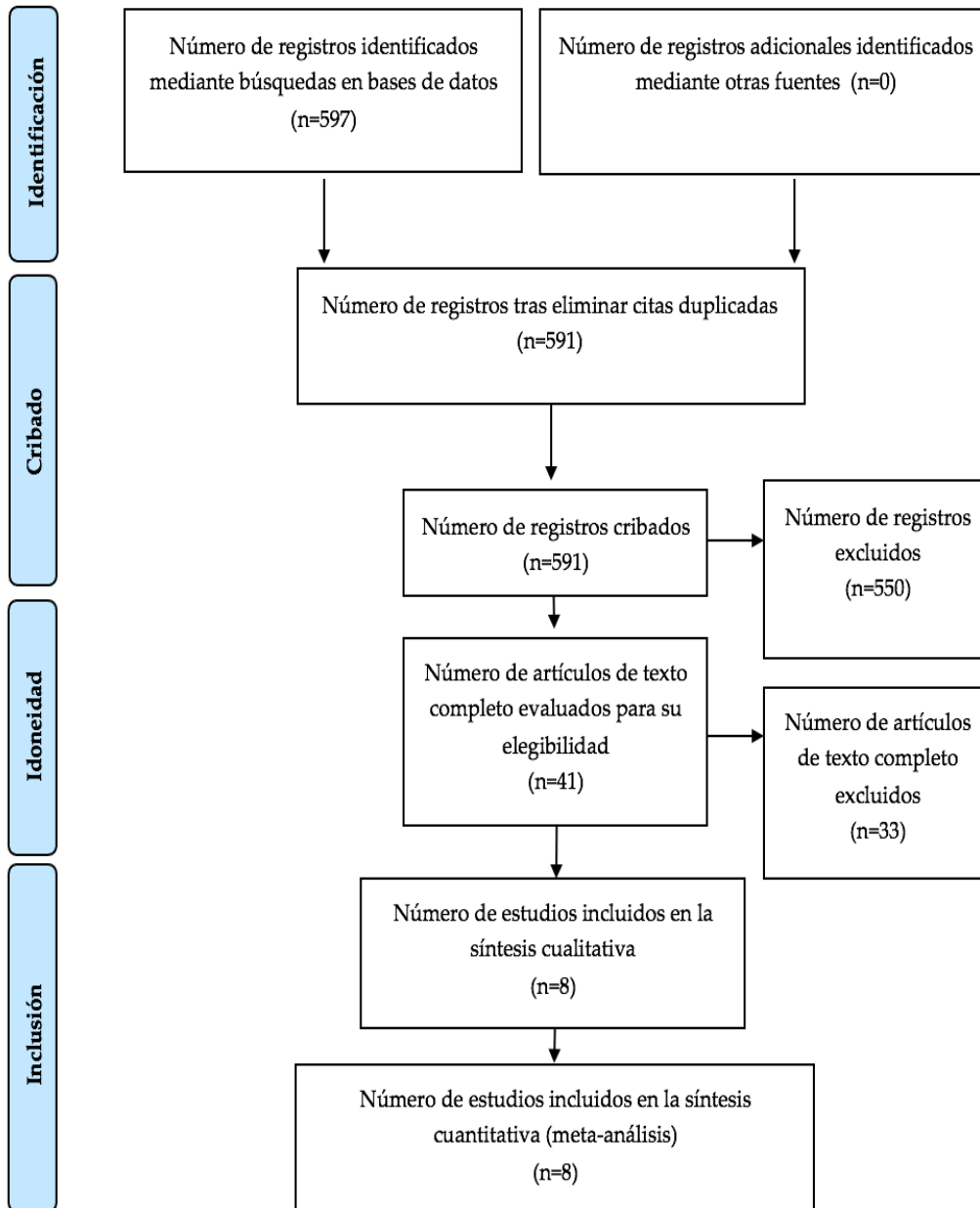


Figura 10. Flujograma del proceso de identificación y selección de los estudios

2. Evaluación de la calidad metodológica

Con respecto a la evaluación del riesgo de sesgo de los estudios individuales (tabla 3), las deficiencias más importantes fueron la explicación de la generación de secuencia aleatoria, la descripción del método utilizado para ocultar la secuencia de asignación y el cegamiento de la evaluación de resultados.

Tabla 3. Calidad de la evidencia escala Cochrane

	1	2	3	4	5	6
Archiza 2017 ⁽¹³⁾	-	?	?	+	+	+
Da Silva 2018 ⁽¹⁶¹⁾	-	?	?	+	+	+
Guy 2014 ⁽⁹⁾	-	?	?	+	+	+
Najafi 2019 ⁽¹⁶²⁾	-	?	?	?	+	+
Nicks 2009 ⁽¹²⁾	-	?	?	+	+	+
Mahajan 2012 ⁽¹⁶³⁾	-	?	?	?	+	+
Özgider 2010 ⁽¹⁶⁴⁾	-	?	?	+	+	+
Ozmen 2017 ⁽¹¹⁾	-	?	?	+	+	+

Criterios: 1 Generación de secuencia aleatoria. 2 Descripción del método utilizado para ocultar la secuencia de asignación. 3 Cegamiento de la evaluación de resultados. 4 Datos de resultado incompletos. 5 Informes selectivos. 6 Otro sesgo. Abreviaturas: + Bajo riesgo de sesgo, - Alto riesgo de sesgo, ? riesgo incierto de sesgo.

3. Características generales de los estudios

Todos los estudios incluidos fueron ECA y los jugadores de fútbol fueron profesionales (11-13,161,162,164) o aficionados (9,163). El tamaño medio de la muestra de los estudios incluidos fue 25,3 participantes con un rango de muestra entre 18-40 y edades entre 16 y 26 años. Respecto al sexo, seis de los ocho estudios

han incluido muestras de jugadores masculinos (9,11,161-164), uno incluyó solo mujeres (13) y un estudio jugadores de ambos sexos (12) (tabla 4).

4. Características de la intervención

Con respecto al tipo de carga de entrenamiento, siete estudios utilizaron el entrenamiento con dispositivo tipo umbral aplicado solo a la inspiración (9,12,13,161-164) y solo un estudio utilizó como tipo de entrenamiento la hiperpnea normocápnica para los músculos inspiratorios y espiratorios (11). Tres de los ocho estudios compararon los efectos del EMI en el GE con un GP (13,162,163), cuatro fueron comparados con un grupo control (GC) (11,12,161,164) y uno con GP y GC (9). Los grupos experimental y placebo fueron similares en todos los aspectos (dispositivo, frecuencia y duración), excepto en la intensidad del entrenamiento; no se realizó ninguna intervención en los grupos control. Respecto a los programas de entrenamiento, todos fueron supervisados por personal especializado (9,11-13,161-164) (tabla 4).

Los jugadores de los grupos experimentales recibieron entrenamiento con una intensidad entre 40-60% de la PIM, determinada por medición directa de la presión o basada en repeticiones máximas, en la mayoría de los estudios (tabla 4). Un estudio no especificó la intensidad del entrenamiento (164). En la mayoría de los casos, la resistencia se ajustó semanalmente (12,13,161-164). Por otro lado, los participantes de los grupos placebo recibieron la resistencia mínima permitida por el dispositivo (163) o una intensidad del 15% de PIM (9,13,162). La frecuencia de los programas fue de 2-3 (11,161) o 5-7 días a la semana (9,12,13,162-164), con sesiones realizadas 1 (11) o 2 veces por día (9,12,13,161-164). La duración del programa fue de 4 semanas (163,164), 5 semanas (11,12), 6 semanas (9,13,161) u 8 semanas (162) (tabla 4).

Tabla 4. Características generales de los estudios.

Autor (año)	Muestra (edad±SD)	Intervención			
		Dispositivo	Intensidad	Frecuencia	Duración
Najafi (2019) (162)	GE1: 10 (16.5±0.7) GE2: 10 (16.7±0.5) GP: 10 (16.7±0.8) Hombres	PowerBreathe	GE1: 1x25-35 rep al 55% PIM GE2: 1x45-55 rep al 40% PIM GP: 1x30 rep at 15% PIM	2 sesión/día 5 día/semana	8 semanas
Da Silva (2018) (161)	GE: 15 (18.4±0.51) GC: 15 (18.3±0.49) Hombres	PowerBreathe	GE: 1x30 rep al 50% PIM GC: no EMI	2 sesión/día 3 día/semana	6 semanas
Archiza (2017) (13)	GE:10 (22.0±3.9) GP:8 (20.1±2.0) Mujeres	PowerBreathe K5	GE: 1x30 rep al 50% PIM GP: 1x30 rep al 15% PIM	2 sesión/día 5 día/semana	6 semanas
Ozmen (2017) (11)	GE: 9 (22.3±1.6) GC: 9 (22.2±1.2) Hombres	SpiroTiger	GE: 15-minutos al 40- 50% capacidad vital y 60% MVV GC: no EMI	1 sesión/día 2 día/semana	5 semanas
Guy (2014) (9)	GE: 12 (26.6±8.2) GC: 10 (21.3±4.9) GP: 9 (23.9±6.7) Hombres	PowerBreathe	GE: 1x30 rep al 55% PIM GP: 1x30 rep al 15% PIM GC: no EMI	2 sesión/día 7 día/semana	6 semanas
Mahajan (2014) (163)	GE: 20 (21.2±1.7) GP: 20 (21.3±1.7) Hombres	PowerBreathe	GE: 1x30 rep al 30RM GP: 1x30 rep mínima resistencia	2 sesión/día 5 día/semana	4 semanas
Özgider (2010) (164)	GE: 9 (18.4±0.5) GC: 9 (18.3±1) Hombres	Powerlung	GE: 1x30 rep al 30RM (50% PIM) GC: no EMI	2 sesión/día 5 día/semana	4 semanas
Nicks (2009) (12)	GE: 13 (19.8±9) GC: 14 (19.9±1.3) 20 Hombres; 7 Mujeres	Powerlung	GE: 1x30 rep al 30RM (50% PIM) GC: no EMI	2 sesión/día 5 día/semana	5 semanas

SD: desviación estándar; GE: grupo experimental; GC: grupo control; GP: grupo placebo; rep: repeticiones; PIM: presión inspiratoria máxima; EMI: entrenamiento muscular inspiratorio; MVV: ventilación máxima voluntaria; RM: repeticiones minuto.

5. Resultados variables principales

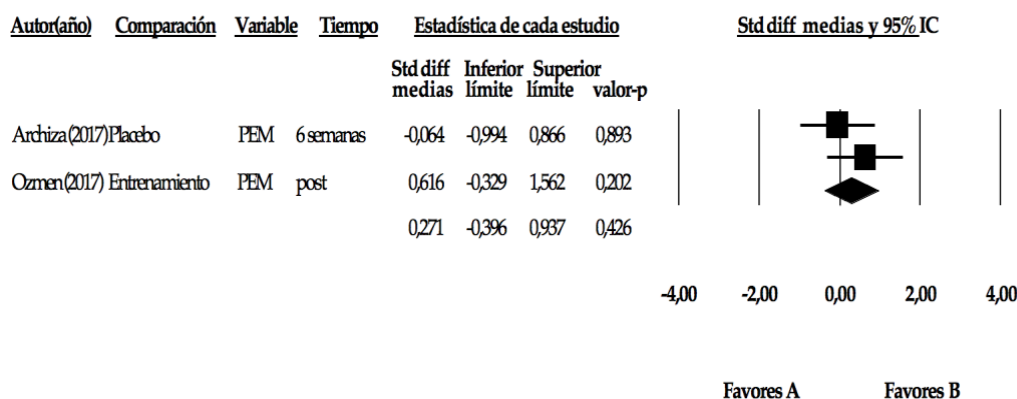
Encontramos datos para el meta-análisis sobre la función muscular respiratoria (presión bucal espiratoria máxima, presión bucal inspiratoria máxima y ventilación voluntaria máxima), función pulmonar (volumen espiratorio forzado en 1 segundo, capacidad vital forzada y flujo espiratorio máximo) y rendimiento deportivo (distancia recorrida).

5.1. Función muscular respiratoria

5.1.1. Presión bucal espiratoria máxima (PEM)

Dos estudios (11,13) informaron datos sobre la PEM (N= 36, promedio por estudio: 18,0) no mostrando diferencias estadísticamente significativas (SDM= 0,27, intervalo de confianza del 95% [IC]= -0,40; 0,94; I²= 0,0%; tabla 5; figura 11). El sesgo de publicación no se pudo evaluar debido al número de estudios incluidos. En función de estos hallazgos y debido a la evaluación de riesgos de los estudios incluidos (riesgo muy serio de sesgo), la calidad de la evidencia se calificó como muy baja.

Meta-análisis



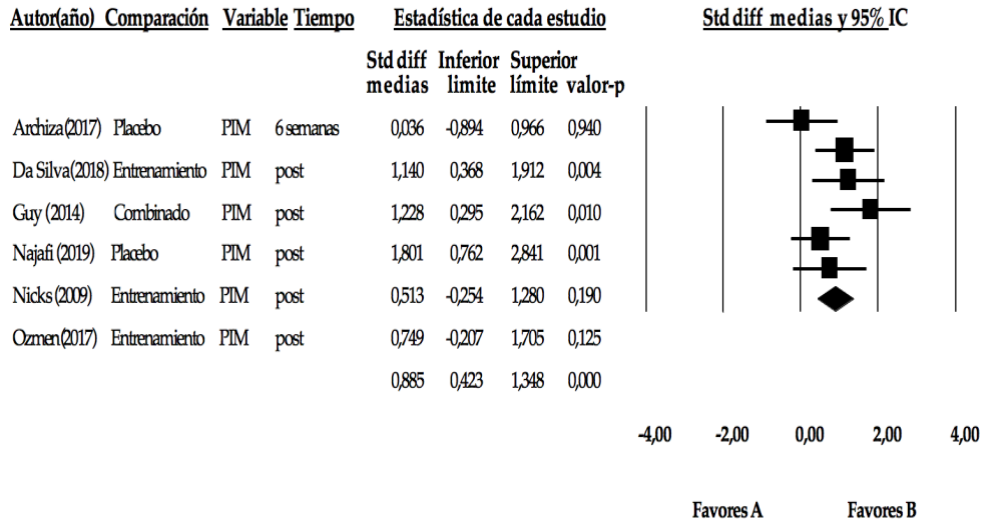
PEM: presión espiratoria máxima; post: posterior; std diff: diferencia estandarizada; IC: intervalo de confianza

Figura 11. Meta-análisis Forest PEM.

5.1.2. Presión inspiratoria máxima de la boca (PIM)

Se incluyeron seis estudios (9,11–13,161,162) con datos sobre la PIM (N= 156, promedio por estudio: 26,0). Mostraron un gran efecto positivo (SDM= 0,89; IC del 95%= 0,42;1,35; tabla 5; figura 12) con muy baja heterogeneidad entre los estudios ($I^2= 4,0\%$). El gráfico en embudo *funnel plot* parece asimétrico (figura 13). Los resultados de la prueba de Egger ($p=0,56$) y Trim and Fill (SMD corregido= 0,86; porcentaje de cambio: 3,4%) confirman la ausencia de sesgo de publicación. En función de estos hallazgos y debido a la evaluación de riesgos de los estudios incluidos (riesgo muy serio de sesgo), la calidad de la evidencia se calificó como baja.

Meta-análisis



PIM: presión inspiratoria máxima; post: posterior; std diff: diferencia estandarizada; IC: intervalo de confianza

Figura 12. Meta-análisis Forest PIM.

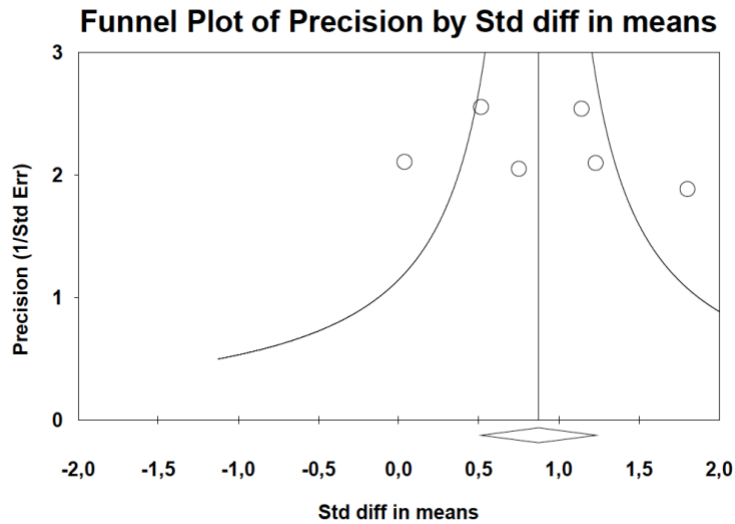
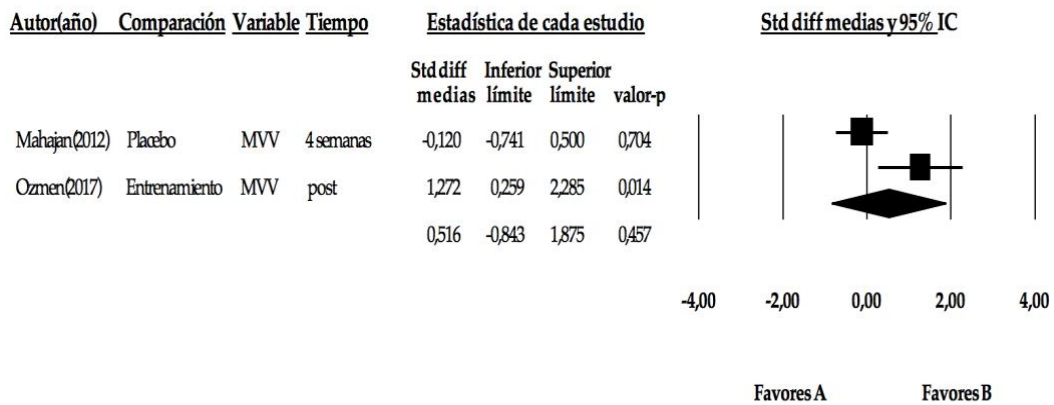


Figura 13. *Funnel plot* de precisión para las diferencias estándar de medias en PIM.

5.1.3. Ventilación máxima voluntaria (MVV)

Dos estudios (11,163) informaron datos sobre la MVV (N= 58, promedio por estudio: 29,0) no mostrando diferencias estadísticamente significativas (SDM= 0,52, intervalo de confianza del 95% [IC]= -0,84;1,88; I²= 0,0%; tabla 5; figura 14). El sesgo de publicación no pudo evaluarse debido al escaso número de estudios incluidos. En función de estos hallazgos y debido a la evaluación del riesgo de los estudios incluidos (riesgo muy serio de sesgo), la calidad de la evidencia se calificó como muy baja.

Meta-análisis



MVV: ventilación máxima voluntaria; post: posterior; std diff: diferencia estandarizada; IC: intervalo de confianza

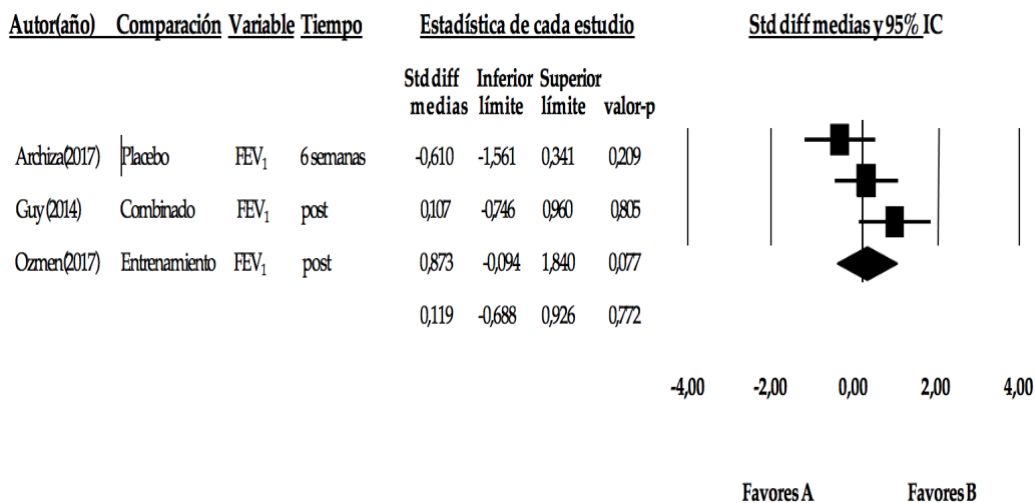
Figura 14. Meta-análisis Forest MVV

5.2. Función pulmonar

5.2.1. Volumen espiratorio forzado 1 segundo (FEV₁).

Se incluyeron tres estudios (9,11,13) con datos sobre FEV₁ (N= 79, promedio por estudio: 26,3). El meta-análisis de estos estudios no mostró diferencias estadísticamente significativas (SDM= 0,12; IC 95%= -0,69; 0,93; tabla 5; figura 15). La heterogeneidad entre los estudios fue muy baja (I²= 4,2%). El gráfico en embudo parece simétrico (figura 16). Los resultados de la prueba de Egger ($p=0,91$) y *Trim and Fill* (SMD corregido= 0,12; porcentaje de cambio: 0,0%) sugieren la ausencia de sesgo de publicación. Estos hallazgos y la presencia de un riesgo muy serio de sesgo aconsejan considerar la calidad de la evidencia como muy baja

Meta-análisis



FEV₁: volumen espiratorio forzado en 1 segundo; post: posterior; std diff: diferencia estandarizada; IC: intervalo de confianza

Figura 15. Meta-análisis Forest FEV₁

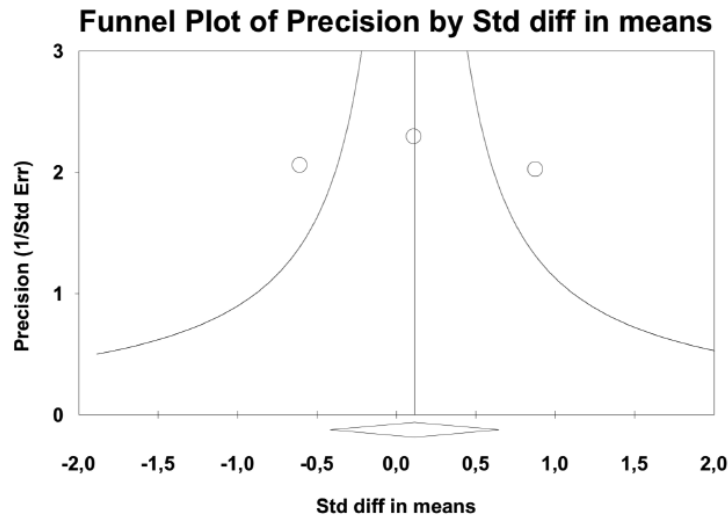
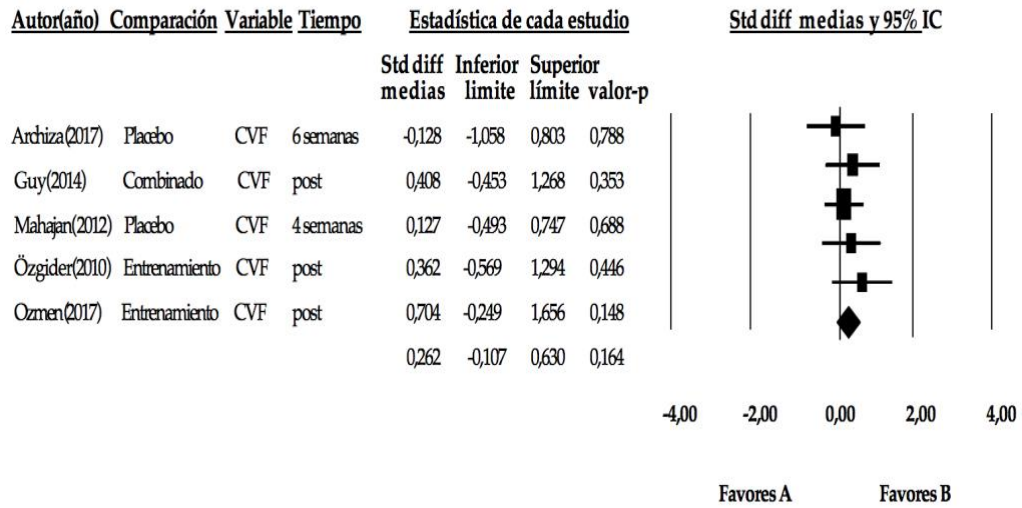


Figura 16. *Funnel plot* de precisión para las diferencias estándar de medias en FEV₁.

5.2.2. Capacidad vital forzada (CVF).

Se incluyeron cinco estudios (9,11,13,163,164) que informaron datos sobre CVF (N=137, promedio por estudio: 27,4). No mostraron diferencias estadísticamente significativas (SDM= 0,26; IC 95%= -0,11; 0,63; tabla 5; figura 17), sin heterogeneidad entre los estudios ($I^2= 0,0\%$). El gráfico en embudo parece asimétrico (figura 18). Los resultados de la prueba de Egger ($p=0,52$) sugieren que no hay sesgo de publicación, pero *Trim and Fill* corrige el SMD (SMD corregido= 0,18; porcentaje de cambio: 30,8%), por lo que estimamos la presencia de sesgo de publicación. En base a estos hallazgos y debido a que la evaluación de riesgos de los estudios incluidos se evaluó como muy grave, la calidad de la evidencia se calificó como muy baja.

Meta-análisis



CVF: capacidad vital forzada; post: posterior; std diff: diferencia estandarizada; IC: intervalo de confianza

Figura 17. Meta-análisis Forest CVF

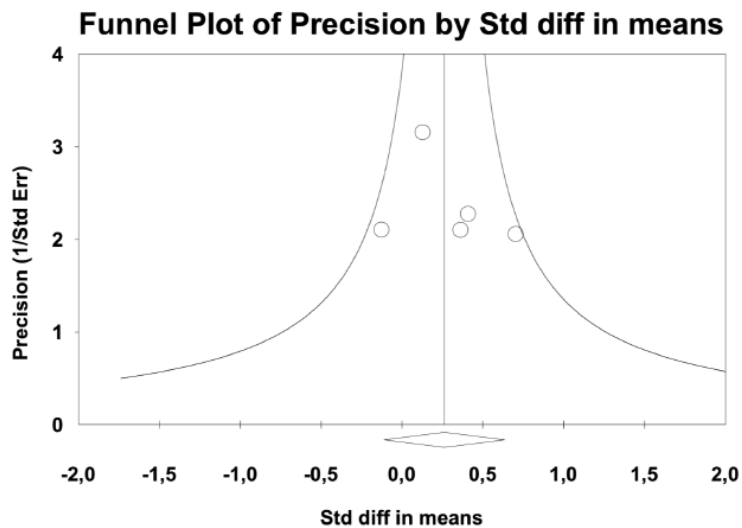
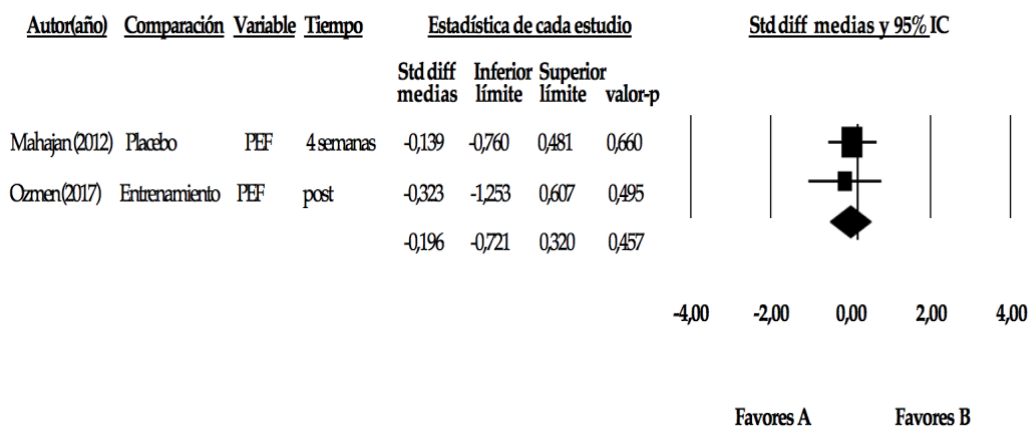


Figura 18. Funnel plot de precisión para las diferencias estándar de medias en CVF.

5.2.3. Flujo espiratorio máximo (PEF).

Se incluyeron en la revisión dos estudios (163,164) con datos sobre PEF (N=58, promedio por estudio: 29,0). No hubo diferencias estadísticamente significativas (SDM= -0,20, intervalo de confianza [IC] del 95%= -0,71; 0,32; I²= 0,0%; tabla 5; figura 19). El sesgo de publicación no pudo evaluarse debido al escaso número de estudios incluidos. En función de estos hallazgos y debido a la evaluación de riesgos de los estudios incluidos (riesgo muy grave de sesgo), la calidad de la evidencia se calificó como muy baja.

Meta-análisis



PEF: flujo espiratorio máximo; post: posterior; std diff: diferencia estandarizada; IC: intervalo de confianza

Figura 19. Meta-análisis Forest PEF

5.3. Rendimiento deportivo

5.3.1. Distancia recorrida.

Se incluyeron seis estudios (9,12,161–164) con datos sobre la distancia recorrida (N=179, promedio por estudio: 29,8). Se llevaron a cabo diferentes pruebas de rendimiento para investigar este resultado: Prueba de Cooper (161), prueba de condición física multietapa (MSFT) (9) y prueba de recuperación intermitente Yo-Yo test (12,162–164). El análisis agrupado mostró diferencias estadísticamente significativas (SDM= 0,88, intervalo de confianza [IC] del 95%= 0,38; 1,38; I²= 0,6%; tabla 5; figura 20). El gráfico en embudo parece asimétrico (figura 21). La prueba de Egger ($p=0,97$) no mostró sesgo de publicación, mientras que el efecto combinado corregido por *Trim and Fill* (SMD=1,05) varió un 19,3% del efecto combinado original, por lo que consideramos el riesgo de sesgo de publicación. Sobre la base de estos hallazgos y debido a que la evaluación del riesgo de los estudios incluidos se calificó como un riesgo de sesgo muy grave, la calidad de la evidencia se evaluó como muy baja.

Meta-análisis

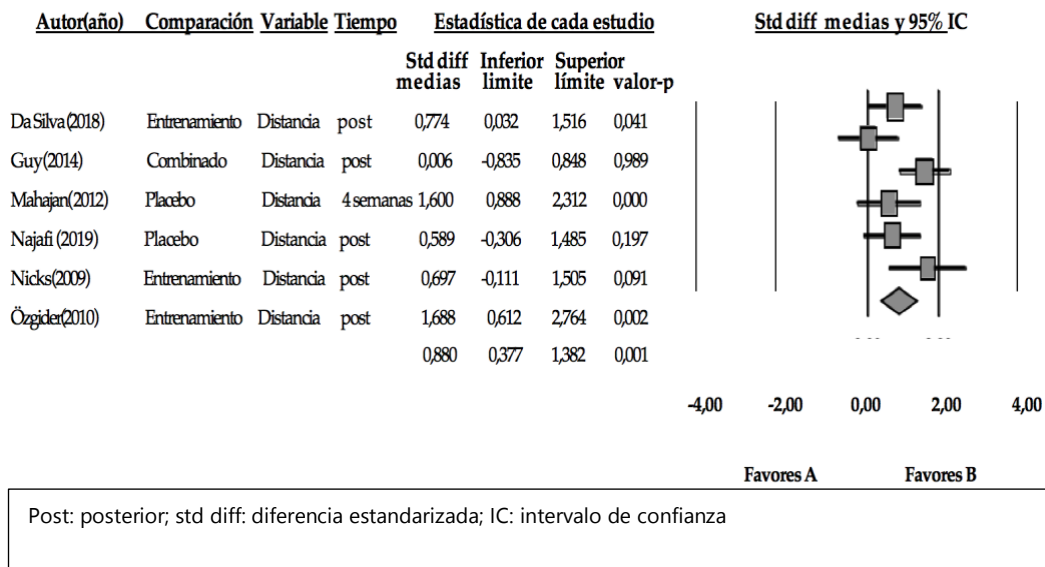


Figura 20. Meta-análisis Forest distancia

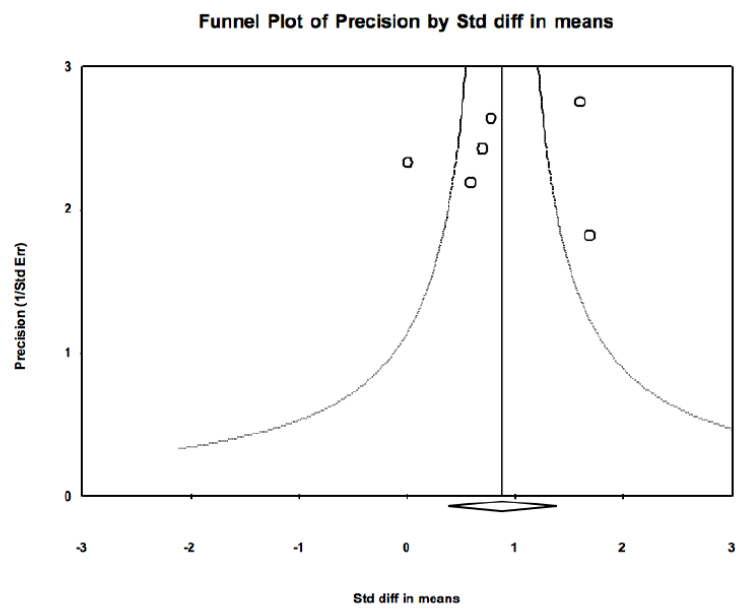


Figura 21. *Funnel plot* de precisión para las diferencias estándar de medias en distancia recorrida.

Tabla 5. Resultados principales de las variables.

	Resumen hallazgos											Calidad de la evidencia (GRADE)						
	k	N	N	Efecto Promedio	IC 95%	Q	p-value	I ²	Sesgo de publicación				Riesgo de sesgo	Inconsistencia	Efecto indirecto	Imprecisión	Sesgo Publicación	Calidad
									Funnel Plot	Egger Valor p	Trim & Fill Efecto promedio	% de cambio						
PEM	2	36	18,0	0,27	-0,40; 0,94	1,00	0,32	0,0	NA	NA	NA	NA	Muy serio	No	No	Si	probable	Muy bajo
PIM	6	156	26,0	0,89	0,42; 1,35	5,21	0,42	4,0	Asim.	0,56	0,86	3,4	Muy serio	No	No	No	improbable	Bajo
FEV ₁	3	79	26,3	0,12	-0,69; 0,93	2,09	0,37	4,2	Sim.	0,91	0,12	0,0	Muy serio	No	No	Si	improbable	Muy bajo
CVF	5	137	27,4	0,26	-0,11; 0,63	1,84	0,74	0,0	Asim.	0,52	0,18	30,8	Muy serio	No	No	Si	probable	Muy bajo
MVV	2	58	29,0	0,52	-0,84; 1,88	1,00	0,32	0,0	NA	NA	NA	NA	Muy serio	No	No	Si	probable	Muy bajo
PEF	2	58	29,0	-0,20	-0,71; 0,32	0,10	1,00	0,0	NA	NA	NA	NA	Muy serio	No	No	Si	probable	Muy bajo
Distancia	6	179	29,8	0,88	0,38; 1,38	5,03	0,41	0,6	Asim.	0,97	1,05	19,3	Muy serio	No	No	Si	probable	Muy bajo

PEM: presión espiratoria máxima; PIM: presión inspiratoria máxima; FEV₁: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; CVF: capacidad vital forzada; MVV: ventilación máxima voluntarias; PEF: flujo espiratorio máximo; k: número de estudios incluidos; N: muestra total del meta-análisis; \bar{N} : promedio de participantes por estudio; IC 95%: intervalo de confianza al 95%; Q: valor de la Q de Cochrane; I²: índice de las consistencia de Higgins; Funnel plot: gráfico de embudo; Egger: test de Egger; Trim & Fill: prueba de Trim & Fill; NA: no aplicable; Asim: asimétrica; Sim: simétrica.

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

El objetivo de la presente revisión con meta-análisis fue evaluar la efectividad del entrenamiento muscular respiratorio (EMR), en jugadores de fútbol. Las novedades del presente estudio son la inclusión de una población compuesta exclusivamente de futbolistas y el análisis de la calidad de la evidencia para cada una de las medidas de resultado incluidas en el meta-análisis.

Nuestros resultados mostraron que EMR tuvo un gran efecto positivo en valores de PIM y en el rendimiento deportivo (distancia recorrida) de jugadores de fútbol. Sin embargo, el intervalo de confianza refleja una precisión deficiente y la calidad de la evidencia es considerada baja o muy baja. No se demostraron beneficios para otras variables de la función muscular respiratoria (PEM y MVV) o función pulmonar (FEV_1 , CVF y PEF).

Varios autores han reportado incrementos significativos en PIM, después de realizar un entrenamiento muscular inspiratorio (EMI), en diferentes deportes (24,25). Se han demostrado adaptaciones estructurales de la musculatura pulmonar, como las adaptaciones de la cadena pesada de miosina (165), cambios en la proporción de fibras musculares tipo I y tipo II (166) y el grosor del músculo diafragma tras un EMI. Funcionalmente, esto se traduce en una mejora en la capacidad para generar mayor fuerza durante la inspiración, generalmente medida indirectamente por la PIM.

Por el contrario, no se observaron cambios significativos en la PEM. Esto es comprensible por el principio de especificidad inspiratoria que hicieron todos los estudios, ya que en todos se realizó un EMI (9,12,13,161–164), excepto Ozmen (11).

Los resultados del meta-análisis indican que la ventilación máxima voluntaria (MVV) no aumentó con el EMR, en jugadores de fútbol. A pesar de que nuestros resultados coinciden con los de una revisión sistemática reciente, (25) creemos que esto puede verse afectado por dos factores. En primer lugar, la

inclusión en el análisis de dos estudios con diferentes métodos de entrenamiento tipo umbral y de tipo hiperpnea: en el meta-análisis realizado por HajGhanbari y cols. (24) de subgrupos, los cuales mostraron que solo la hiperpnea normocápnica tuvo un efecto sobre MVV a favor de EMI/EMR, mientras que el tipo de umbral y el entrenamiento de resistencia dirigido no lo hicieron. En segundo lugar, la MVV es un sprint ventilatorio que requiere contracciones musculares inspiratorias y espiratorias sin carga y de alta velocidad por una duración muy corta; por lo tanto, no refleja las demandas metabólicas y contráctiles alcanzadas durante un EMI (120).

Según estudios previos (6,24,25), los resultados de nuestro meta-análisis indican que ninguna de las variables de la función pulmonar se vieron afectadas por EMR. Las principales explicaciones para la falta de mejora en la función pulmonar tras un EMR es que el volumen espiratorio forzado en 1 minuto (FEV₁) y la capacidad vital forzada (CVF) son variables espirométricas directamente condicionadas por el tamaño del pulmón y el flujo de aire espiratorio, más que por la fuerza de los músculos espiratorios o inspiratorios.

El flujo espiratorio máximo (PEF) es la única variable espirométrica que podría haber sido afectada por el EMR porque está más cerca de poder relacionarse con la fuerza de los músculos espiratorios. Sin embargo, en todos los estudios incluidos en nuestra revisión, excepto Ozmen (11), este parámetro no se vio afectado, ya que todos realizaron un trabajo inspiratorio.

Nuestros resultados apoyan la idea de que un EMR mejora el rendimiento deportivo en jugadores de fútbol. Hemos obtenido un tamaño del efecto moderado en la distancia recorrida. Estos hallazgos concuerdan con los de otras revisiones sistemáticas realizadas en diferentes modalidades deportivas (24,25). Aún se desconocen la mayoría de los mecanismos que pueden generar mejoras de rendimiento, tras un EMR. Algunos autores afirman que una mejora de la fuerza de los músculos inspiratorios no necesariamente condiciona un mejor rendimiento en sí mismo. Sugieren que la mejora en la función de los músculos respiratorios puede afectar otras variables como la disnea y la fatiga, lo que, a su vez, puede alterar el rendimiento (12).

Existe evidencia de que el EMR mejora la percepción de disnea y fatiga (12,24,29). Cuando la musculatura respiratoria no está afectada, es capaz de realizar mucha fuerza y, ante un estímulo mínimo, existe una gran respuesta motora. Cuando existe disnea no sucede esto; el paciente respira más rápido enviando muchos estímulos sin recibir mucha respuesta motora por la alteración de la capacidad de fuerza muscular. Un EMR puede reducir la sensación de disnea al adquirir mayor fuerza muscular respiratoria y obtener una mejor respuesta motora aun con la disminución del flujo de salida para un nivel dado de ventilación por minuto (23).

Por otro lado, se postula que la mejora en la capacidad aeróbica de los músculos respiratorios puede ser debida al aumento de enzimas oxidativas y cambios en las proporciones de los tipos de fibras, pudiendo retrasar la aparición de la fatiga y reducir la competitividad del flujo sanguíneo de los músculos en las extremidades inferiores (167).

Finalmente, aunque hemos evaluado el sesgo de publicación y la calidad de la evidencia para las variables incluidas en el meta-análisis, existen algunas limitaciones relacionadas con los aspectos intrínsecos de los estudios incluidos. Se utilizaron métodos no estandarizados para evaluar algunas medidas de resultados, como el rendimiento deportivo y el programa de entrenamiento. El grupo experimental varió en intensidad, duración, frecuencia semanal y diaria, y progresión de sobrecarga, durante el período de entrenamiento. Además, todos los estudios incluidos en esta revisión han utilizado tamaños de muestra muy pequeños.

**CONSIDERACIONES
FINALES**

CONSIDERACIONES FINALES

I. Limitaciones del estudio

A pesar de que hemos seguido un riguroso proceso en la identificación y selección de los estudios, utilizando la guía PRISMA y el sistema GRADE de evaluación de la calidad, este estudio puede presentar algunas limitaciones que cabe destacar. Primero, respecto a una de nuestras variables principales, el rendimiento deportivo, se ha observado el uso de distintas herramientas/test de medición de este. Además, no pudimos realizar el meta-análisis para la variable “consumo máximo de oxígeno”, puesto que solamente fue reportado en uno de los estudios.

Segundo, algunos de los estudios incluidos no informaron sobre la forma en que fue medida la fuerza muscular inspiratoria, si desde el volumen residual o desde la capacidad residual funcional. Este dato es relevante porque existe evidencia de que puede afectar los valores obtenidos con la prueba, pudiendo sobre o infraestimar los verdaderos valores de los jugadores. Por otra parte, los estudios tampoco informaron de los valores predictivos de PIM (ajustados por variables antropométricas) y, por lo tanto, es difícil interpretar si los valores alcanzados por las muestras estudiadas son similares a la población no deportista o están muy por encima de la normalidad.

Y finalmente, hay que considerar que la calidad de la evidencia para todas las variables examinadas en el meta-análisis fue muy baja o baja, y por lo tanto, los resultados reportados deben ser tomados cautelosamente.

II. Propuestas para futuros estudios

En base a los resultados observados en esta revisión sistemática con meta-análisis, sugerimos que las futuras investigaciones deben ser dirigidas a realizar ensayos clínicos de mayor calidad, en población de futbolistas. Además, estos ensayos deben contar con mayor número de muestra, mayor duración e intensidad de entrenamiento y hacer un seguimiento a medio y largo plazo para observar la durabilidad de los efectos del entrenamiento. Los futuros ensayos clínicos también podrían comparar los efectos del entrenamiento muscular entre diferentes tipos de dispositivos, carga umbral y ventilación hiperpnea isocápnica voluntaria, o incluso incluir estos dos tipos de entrenamiento en el mismo programa. Otra laguna que hemos encontrado en los ensayos incluidos es la ausencia de dos o más grupos experimentales utilizando diferentes intensidades. Por último, sugerimos incluir en futuros estudios otras variables de resultados, tales como evaluación del equilibrio y la percepción de mejoría subjetiva por parte de los jugadores, especialmente durante y tras los partidos.

ESTUDIO 2

EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO
MUSCULAR INSPIRATORIO SOBRE
LA FUNCIÓN MUSCULAR
RESPIRATORIA Y EL EQUILIBIO
ESTÁTICO EN JUGADORES DE
FÚTBOL. ENSAYO CLÍNICO
CONTROLADO ALEATORIZADO

DISEÑO Y METODOLOGÍA

DISEÑO Y METODOLOGÍA

1. Diseño del Estudio

Posteriormente a la revisión sistemática con meta-análisis, se llevó a cabo un ensayo clínico controlado aleatorizado (ECA), a doble ciego (participantes y evaluadores), en una muestra de jugadores de fútbol.

Este estudio fue realizado en el equipo de fútbol Sub-23 de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM) que realizaba sus entrenamientos en el campo de fútbol “El Mayayo”, situado en Sangonera la Verde (Murcia). El desarrollo del estudio estuvo comprendido entre los meses de febrero y mayo de 2018.

Los procedimientos utilizados para la realización de este estudio han seguido los principios éticos para las investigaciones sanitarias en seres humanos según se recoge en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial de 1975, en la versión revisada (clarificación del párrafo 30) de la 55 Asamblea General A.M.M. Tokio octubre de 2004. Este proyecto fue sometido a evaluación por parte del Comité de Ética de la UCAM con el fin de establecer si dicho trabajo se ajusta a las normativas vigentes en España y en la Unión Europea, así como los principios éticos que deben regular cualquier investigación con seres humanos. Dicho comité valoró favorablemente este estudio (anexo I) y ha sido registrado en el ClinicalTrials.gov (ID: NCT03383900) (anexo II). Este estudio formó parte de un proyecto financiado por el plan propio de ayudas a la investigación de la UCAM con el registro de PMAFI 12/16.

2. Participantes

La muestra del ensayo clínico forma parte del equipo de jugadores de fútbol masculino Sub-23 de la UCAM, de la temporada deportiva correspondiente al año 2017-2018.

2.1. Criterios de inclusión

- Pertenecer al equipo de fútbol masculino Sub-23 de la UCAM, durante la temporada del estudio.
- Asistir regularmente a los entrenamientos.
- Haber jugado más del 80% de los partidos desde el inicio de la temporada hasta la primera medición.
- Firmar el consentimiento informado.

2.2. Criterios de exclusión

- No presentar patologías respiratorias.

3. Aleatorización

Los jugadores fueron asignados de forma aleatoria a un grupo experimental (GE) y a un grupo placebo (GP). Esta aleatorización se realizó al azar, a través de una tabla de excel, generando números aleatorios y haciendo, el programa, una clasificación automática de los jugadores asignándolos a dos grupos. Esta asignación la realizó un fisioterapeuta que no participó en las mediciones ni en la intervención.

4. Tamaño muestral

El tamaño de la muestra estuvo condicionada al número de jugadores que hay por equipo, número que es establecido por el reglamento español de fútbol. Para la categoría segunda "B", cada plantilla puede tener un máximo de veintidós jugadores. Dentro del equipo, no podrán tener más de dieciséis jugadores mayores de veintitrés años, siendo el resto, menor de esta edad. En la temporada 2017/18 se consideró Sub-23 al jugador nacido antes del 1 de enero de 1995. Todo ello, conforme al artículo 121 del Reglamento General de la Real Federación Española de Fútbol (168).

5. Mediciones

El primer contacto con todos los participantes tuvo por objetivo explicar en qué consistía el estudio, así como las responsabilidades a las que se comprometían si decidían participar, tanto ellos como los investigadores. Posterior a ello, los participantes firmaron un consentimiento informado de acuerdo con la declaración de Helsinki, en su última revisión de octubre de 2004 (169), tras ser informados en detalle sobre la investigación que se iba a realizar. De esta manera, al inicio de nuestro estudio y como requisito previo indispensable para su inclusión en la muestra del estudio, presentamos a cada participante el modelo de consentimiento informado, ofreciéndole toda clase de explicaciones y solicitando su aceptación mediante la firma del documento (anexo III).

Una vez firmado el consentimiento informado, los jugadores fueron citados dos días consecutivos a la semana, en horario de mañana. Se estimó una media de 90 minutos por jugador, el primer día, y 40 minutos el segundo día, para llevar a cabo las mediciones de forma tranquila y correcta. La sala donde se realizaron todas las mediciones del estudio cumplía con las características

necesarias para conseguir un ambiente óptimo para las mediciones, que fueron descritas por Watson y Macdonncha (170): fondo blanco, 23°C de temperatura ambiente, sala bien iluminada y en una zona tranquila, alejada de ruidos e interrupciones, en la cuál, mientras se realizaba el estudio, no había otra actividad en la sala. Utilizamos una sala de prácticas de Fisioterapia de la UCAM.

El registro de las mediciones se llevó a cabo antes de realizar la intervención (pre-intervención), justo al mes del comienzo de la intervención (durante la intervención), y al terminar la intervención (post-intervención), coincidiendo con el fin de la temporada deportiva. Todas las evaluaciones fueron realizadas por evaluadores cegados siendo estos fisioterapeutas.

5.1. Pre-intervención

La secuencia de mediciones adoptada en la pre-intervención se dividió en dos días, ya que las mediciones respiratorias generarían fatiga. El primer día, se recogieron datos sobre las características sociodemográficas, así como relativos a la evaluación de la fuerza muscular inspiratoria, seguido de variables estabilométricas (equilibrio estático). El segundo día, se llevaron a cabo las mediciones de las variables de resistencia muscular respiratoria.

5.2. Durante la intervención

Las mediciones realizadas, justo al primer mes de intervención, consistieron en obtener un nuevo valor de fuerza muscular inspiratoria para realizar el reajuste de los dispositivos.

5.3. Post-intervención

Las mediciones realizadas en la post-intervención fueron las mismas que se evaluaron inicialmente. El primer día evaluamos la fuerza muscular inspiratoria y las variables estabilométricas. El segundo día, realizamos la medición de las variables de resistencia muscular respiratoria.

6. Procedimiento de intervención de los grupos

6.1. Grupo Experimental (GE)

Los jugadores pertenecientes al GE debían de entrenar la fuerza y resistencia muscular inspiratoria utilizando el dispositivo PowerBreathe®. Este entrenamiento consistió en sesiones diarias (3 series de 15 repeticiones - inspiraciones) durante 6 días a la semana, durante 8 semanas. El EMI se realizó en los vestuarios del campo de fútbol, supervisado por un fisioterapeuta cegado, previo al entrenamiento propio que ellos realizaban (lunes, miércoles, jueves y viernes), y antes de cada partido (sábado o domingo). Los jugadores no sabían a qué grupo pertenecían. Los días que no se entrenaba o si algún jugador no había asistido al entrenamiento, debían mandar un video haciendo el entrenamiento en casa a un grupo de WhatsApp donde el mismo fisioterapeuta era quien supervisaba esta actividad. El protocolo de fuerza y resistencia para el dispositivo PowerBreathe® establecido en el GE, fue el siguiente:

- Primera semana: Resistencia de 20% de su PIM.
- Tras la primera semana: Incremento entre un 5%-10% en cada sesión hasta alcanzar el 80% de la PIM (durante el primer mes).
- Pasadas 4 semanas: se reevaluará el valor de PIM y el jugador entrenará con una resistencia correspondiente al 80% de este nuevo valor, durante todo el segundo mes completando un total de 8 semanas de entrenamiento.

6.2. Grupo Placebo (GP)

Los participantes pertenecientes al GP estaban cegados, debían entrenar la fuerza y resistencia muscular inspiratoria, utilizando el dispositivo PowerBreathe®. Este entrenamiento respecto a frecuencia y duración fue igual

que el del GE. Sin embargo, la intensidad fue diferente, ya que siempre mantuvieron una resistencia mínima del 20% del valor de PIM. El entrenamiento tuvo una duración de 8 semanas al igual que el GE.

7. Variables del estudio e instrumentos de medida

Según su naturaleza en la investigación, se ha organizado la descripción y análisis de las variables en dos grupos: variables principales y variables secundarias.

7.1. Variables principales

7.1.1. Función muscular respiratoria

- Fuerza muscular inspiratoria. La medición de la fuerza muscular inspiratoria se realizó de forma indirecta, a través de la PIM, obteniendo valores tanto del valor absoluto de PIM como del valor predictivo en % de PIM, según la ecuación para la población mediterránea de P. Morales (105). Se utilizó un monitor de presión bucal inspiratoria máxima. La medición se realizó por un fisioterapeuta, previamente entrenado, realizando un máximo ocho mediciones hasta alcanzar tres medidas que obtuvieran una diferencia ≥ -5 cmH₂O, cogiendo el mejor resultado, según el protocolo establecido por la SEPAR (171). Para ello se utilizó un espirómetro digital (Datospir Touch, Sibelmed, Barcelona, España) (figura 22).



Figura 22. Espirómetro Datospir Touch Sibemed (imagen propia del autor).

- Resistencia muscular respiratoria. La resistencia muscular respiratoria se obtuvo midiendo la MVV. Consistió en movilizar la máxima cantidad de aire en un corto período de tiempo (15 segundos) con una frecuencia respiratoria mayor a 80 respiraciones por minuto, según los criterios establecidos por SEPAR. Utilizamos un espirómetro digital (Datospir Touch, Sibemed, Barcelona, España) (figura 22) (171).

7.1.2. Equilibrio estático

- El equilibrio estático se obtuvo a través de un análisis de variables estabilométricas en una plataforma de equilibrio. Los jugadores debían colocarse en la plataforma en bipedestación con apoyo bipodal durante 90 segundos con ojos abiertos y 90 segundos con ojos cerrados. En la plataforma se colocaba una madera que formaba un ángulo para mantener a 45° la posición de los pies del paciente (figura 24). Durante la medición de ojos abiertos, los participantes debían de mantener la mirada en un

punto fijo que coincidía con la altura de sus ojos y estaba justo a unos 2,5 metros de distancia de la plataforma. Utilizamos una plataforma FreeStep (Rome, Italy) (figura 23). Los datos se registraban en un software y se extraían a través del programa excel.

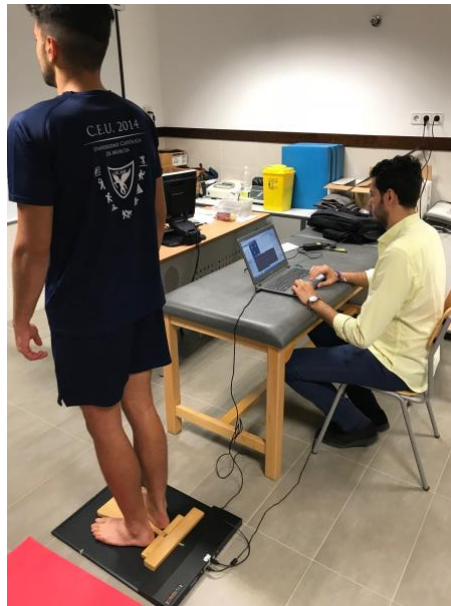


Figura 23. Plataforma de equilibrio FreeStep (imagen propia del autor).



Figura 24. Angulación plataforma apoyo bipodal (imagen propia del autor).

7.2. Variables secundarias

7.2.1. Variables sociodemográficas

Se diseñó una hoja de registro de datos sociodemográficos donde cada participante debía de complementar todos los datos solicitados. Esta hoja se adjunta en el anexo IV. Este registro se llevó a cabo tras la firma del consentimiento informado y fue supervisado por un fisioterapeuta.

7.2.2. Variables antropométricas

Para la toma del peso corporal se utilizó la báscula TANITA BC-601 (Tanita®, Illinois, EE.UU.) (figura 25) con una precisión de 0,1 kg y se midió la talla utilizando un tallímetro PesPerson (113514) (figura 25). El procedimiento de medición fue realizado por un fisioterapeuta.



Figura 25. Báscula (172) y tallímetro (imagen propia del autor).

8. Procesamiento y análisis de los datos

8.1. Procesamiento de los datos

Se elaboró una base de datos utilizando el paquete estadístico IBM SPSS versión 20.0 SPSS para Windows. Previamente a los análisis, se realizaron algunas estrategias de depuración de los datos para evitar y/o corregir posibles errores en la introducción de datos.

Por una parte, uno de los investigadores, experto en el manejo y análisis de datos, entrenó anticipadamente a la persona encargada de introducir los datos en el sistema de codificación, la base y el programa. Por otra parte, se realizó un proceso de depuración de datos, previo a su uso en el análisis, a través de un análisis descriptivo de la frecuencia de todas las variables incluidas, para observar el comportamiento de cada una de ellas, valorando si alguna presentaba un valor fuera del rango de valores establecidos para el resto de los participantes de la muestra.

8.2. Análisis de los datos

Se realizó una comparación de medias para muestras independientes, utilizando la t-Student para determinar diferencias entre los grupos experimental y placebo en la línea de base. Adicionalmente, para la fuerza muscular inspiratoria, se realizó un análisis descriptivo, a través de cuartiles (expuesto en diagrama de caja), en función de los valores predictivos de normalidad.

Un análisis de varianza de 2 factores para medidas repetidas fue utilizado para observar diferencias tras el entrenamiento, tanto dentro del mismo grupo en distintos tiempos (pre-intervención, 4 semanas y post-intervención), como entre los grupos (experimental versus placebo) para cada una de las variables de interés. La significancia estadística se fijó con un valor de $p < 0,05$. El tamaño del efecto fue calculado usando la eta-cuadrado parcial e interpretado como pequeño ($\eta^2 > 0,01$), medio ($\eta^2 > 0,06$) o grande ($\eta^2 > 0,14$) (173). Se realizó un análisis por intención de tratar.

RESULTADOS

RESULTADOS

1. Proceso de selección

Un total de veintidós jugadores pertenecían al equipo de fútbol sub-23 de la UCAM y fueron evaluados como potenciales participantes en el estudio. Una vez firmado el consentimiento informado, este número de muestra inicial se redujo a dieciocho jugadores, ya que no todos cumplían los criterios de inclusión. La asignación aleatoria fue de nueve jugadores para el GE y nueve para el GP. Durante el estudio hubo pérdidas de muestra. Catorce jugadores completaron finalmente el estudio. De tal forma, el GE estuvo constituido por siete jugadores (GE=7) y el GP por otros siete jugadores (GP=7). En la figura 26 se puede observar el proceso de reclutamiento y aleatorización de los pacientes, así como las pérdidas durante el seguimiento.

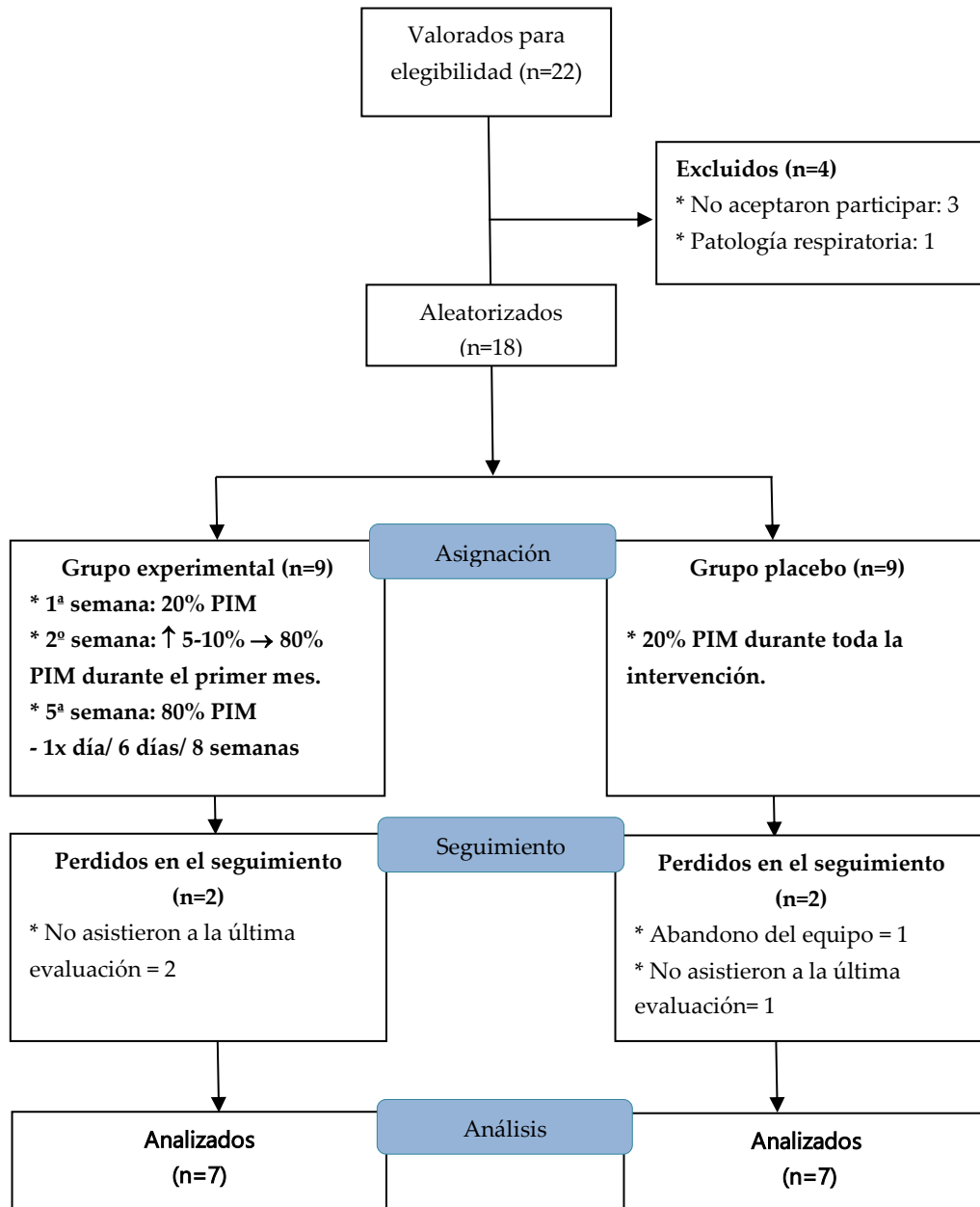


Figura 26. Proceso de selección y aleatorización de los participantes

2. Características de los participantes

La tabla 6 muestra las características sociodemográficas y antropométricas de la función muscular respiratoria y de equilibrio estático en ambos grupos. Se puede observar que los grupos fueron homogéneos en la línea de base, no habiendo diferencias estadísticamente significativas entre ninguna de las variables.

Tabla 6. Características generales de los participantes en la línea de base.

Variables	Grupo Experimental (n=7)	Grupo Placebo (n=7)	<i>p</i>
Sociodemográficas			
Edad, md ± SD (años)	20,00 ± 0,81	20,00 ± 0,57	1,000
Antropométricas			
Talla, md ± SD (cm)	177,57 ± 4,23	180,42 ± 5,79	0,313
Peso, md ± SD (kg)	71,88 ± 3,79	77,45 ± 8,70	0,147
Función muscular respiratoria			
PIM, md ± SD (cmH ₂ O)	161,57 ± 31,11	175,42 ± 30,27	0,415
PIM, md ± SD (% pred)	104,80 ± 21,4	111,50 ± 20,80	0,169
MVV, md ± SD (l)	188,74 ± 30,06	201,78 ± 23,15	0,381
MVV, md ± SD (rpm)	89,89 ± 15,30	86,04 ± 21,58	0,707
MVV, md ± SD (% pred)	98,43 ± 14,00	103,39 ± 12,31	0,495
Equilibrio estático			
BOA_LS, md ± SD (mm)	2904,81 ± 640,03	4358,13 ± 1863,14	0,075
BOA_SE, md ± SD (mm ²)	70,44 ± 42,04	123,14 ± 56,10	0,070
BOA_DX, md ± SD (mm)	10,06 ± 3,16	12,05 ± 4,00	0,322
BOA_DY, md ± SD (mm)	10,91 ± 3,47	14,75 ± 3,92	0,077
BOC_LS, md ± SD (mm)	3166,22 ± 641,30	4290,61 ± 1453,57	0,086
BOC_SE, md ± SD (mm ²)	78,37 ± 63,52	127,21 ± 74,39	0,211
BOC_DX, md ± SD (mm)	10,01 ± 5,72	12,60 ± 2,85	0,305
BOC_DY, md ± SD (mm)	11,19 ± 4,41	17,43 ± 8,75	0,118

Los datos son expresados como media ± desviación estándar.

md= media; SD= desviación estándar; PIM= presión inspiratoria máxima; % pred= % predictivo; MVV= ventilación máxima voluntaria; l= litros; rpm= respiraciones minuto; BOA= bipodal ojos abiertos; LS= longitud de Sway; SE= superficie de la elipse; mm²= milímetros cuadrados; DX= eje lateral; DY= eje antero-posterior; BOC= bipodal ojos cerrados

3. Función muscular respiratoria

Respecto a la fuerza muscular inspiratoria (PIM % predictivo) en la línea de base, la media del porcentaje predictivo de los 14 jugadores (muestra total) fue de 108,1% (IC95% 96,30-120,0). Un 25% de los jugadores presentaron valores promedios por debajo de su normalidad, es decir, por debajo del 100% del predictivo. Por otro lado, un 50% presentaron valores predictivos rozando el valor límite de normalidad, un promedio de 102,4% (figura 27).

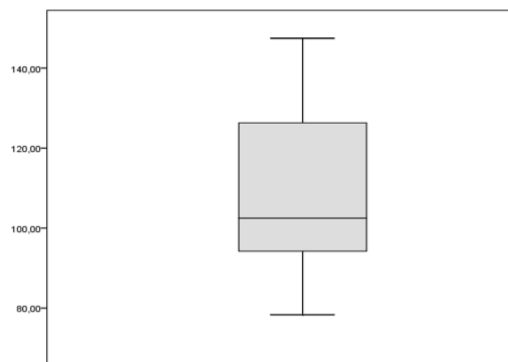


Figura 27. Valores de PIM (% predictivo) pre-intervención de todos los participantes

Después del período de entrenamiento (8 semanas), el GE presentó un incremento desde $-161,5 \pm -31,1$ a $-184,4 \pm -21,5$ cmH₂O con una tenencia a la significancia ($p=0,076$). Respecto al GP, varió desde $-175,4 \pm -30,2$ a $-176,0 \pm -16,4$ cmH₂O ($p=0,951$) (tabla 7). En valores predictivos, el GE mejoró de $-104,8 \pm -21,4$ a $-119,5 \pm -14,5$ cmH₂O mientras que el GP fue inapreciable así como el tamaño del efecto (η) que fue muy grande en el GE comparado al GP (0,432 vs 0,000 respectivamente).

Tabla 7. Diferencias entre grupos pre-post intervención fuerza muscular respiratoria.

	Grupo Experimental (n=7)				Grupo Placebo (n=7)				Dif. entre grupos	
	Pre-I	Post-I	<i>p</i>	Eta	Pre-I	Post-I	<i>p</i>	Eta	<i>p</i>	Eta
PIM, md ± SD (cmH ₂ O)	161,5 ± 31,1	184,4 ± 21,5	0,076	0,434	175,4 ± 30,2	176,0 ± 16,4	0,951	0,001	0,136	0,175
PIM, md ± SD (% pred)	104,8 ± 21,4	119,5 ± 14,5	0,076	0,432	111,5 ± 20,8	111,6 ± 10,5	0,981	0,000	0,128	0,182
MVV, md ± SD (l)	188,7 ± 30,0	169,5 ± 37,9	0,180	0,278	201,7 ± 23,1	197,2 ± 26,6	0,579	0,054	0,339	0,076
MVV, md ± SD (rpm)	89,8 ± 15,3	143,2 ± 21,9	*0,005	0,756	86,0 ± 21,5	197,2 ± 26,6	*0,000	0,890	0,589	0,025
MVV, md ± SD (% pred)	98,4 ± 14,0	88,4 ± 19,0	0,187	0,270	103,3 ± 12,3	147,8 ± 33,4	0,611	0,046	0,332	0,079

Los datos son expresamos como media ± desviación estándar.

Pre-I=pre-intervención; Post-I=post-intervención; PIM= presión inspiratoria máxima; md= media; SD= desviación estándar; % pred= % predictivo; MVV= ventilación máxima voluntaria; l= litros; rpm= respiraciones minuto; Eta= tamaño del efecto.

En la figura 28 se puede observar la evolución en los valores de PIM, incluidos los valores de la medición intermedia a las 4 semanas, que fue utilizada para reajuste de la carga de entrenamiento. Para el GE, cambios significativos ocurrieron entre el inicio y la 4ª semana de entrenamiento con valores de $-161,5 \pm -31,1$ a $-175,4 \pm -24,1$ cmH₂O ($p=0,020$) mientras que entre la 4ª y 8ª semana hubo un incremento, pero no fue significativo, con valores de $-175,4 \pm -24,1$ a $-184,4 \pm -21,5$ cmH₂O ($p=0,334$). Para el GP hubo un incremento entre el inicio y la 4ª semana de entrenamiento sin ser significativo (de $-175,4 \pm -30,2$ a $-182,1 \pm -17,4$ cmH₂O; $p=0,462$) y entre la 4ª y 8ª semana hubo una notable y significativa pérdida de fuerza muscular inspiratoria ($-182,1 \pm -17,4$ a $-176,0 \pm -16,4$ cmH₂O; $p=0,048$).

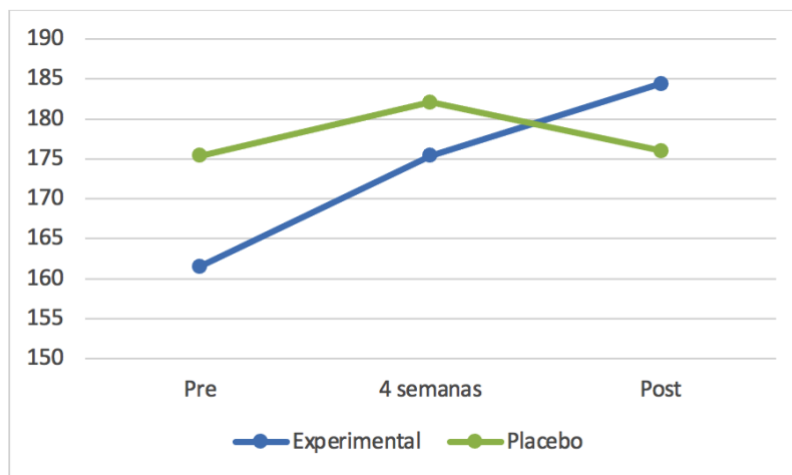


Figura 28. Media de PIM (-cmH₂O) para grupo experimental y placebo en pre-intervención, a las 4 semanas y post-intervención.

En cuanto a la MVV (tabla 7), se han observado incrementos en el número de respiraciones por minuto con cambios estadísticamente significativos en ambos grupos. El GE obtuvo un valor inicial de $89,8 \pm 15,3$ y post-intervención

de $143,2 \pm 21,9$ rpm con un valor de $p=0,005$; mientras que el GP obtuvo un valor pre-intervención de $86,0 \pm 21,5$ y post-intervención de $197,2 \pm 26,6$ con un valor de $p=0,000$. La diferencia entre grupos no obtuvo diferencias significativas, con un valor de $p=0,589$ y un tamaño de efecto $\eta= 0,025$.

Respecto a la MVV en litros y en % del valor predictivo, ninguno de los grupos presentó incrementos significativos ni obtuvo diferencias significativas entre grupos.

4. Equilibrio estático

El equilibrio estático se obtuvo a través de un análisis de variables estabilométricas en condición de ojos abiertos y ojos cerrados con apoyo bipodal (tabla 8). Se observaron cambios significativos tras finalizar las 8 semanas de entrenamiento en el GE en la variable longitud de Sway en condición de ojos abiertos con un incremento del valor inicial de $2904,8 \pm 640,0$ a $3522,4 \pm 509,0$ mm ($p=0,012$). El resto de variables analizadas en condición de ojos abiertos no obtuvieron cambios significativos en ambos grupos.

Respecto a la condición de ojos cerrados, la longitud de Sway también demostró cambios significativos en el GE con un valor inicial de $3166,2 \pm 641,3$ mm y post-intervención de $4173,3 \pm 390,8$ mm ($p=0,004$). Para el resto de variables en esta condición, no hubo cambios significativos en ambos grupos.

En relación a la diferencia entre grupos, hubo cambios significativos en la condición de ojos cerrados en la variable longitud de Sway con un valor de $p=0,025$ y un tamaño del efecto de $\eta=0,354$; en condición de ojos abiertos, esta variable rozó la significancia, pero no fue significativo ($p=0,058$).

Tabla 8. Diferencias entre grupos pre-post intervención equilibrio estático.

	Grupo Experimental (n=7)				Grupo Placebo (n=7)				Dif. entre grupos	
	Pre-IN	Post-IN	p	Eta	Pre-IN	Post-IN	p	Eta	p	Eta
BOA_LS md ± SD (mm)	2904,8± 640,0	3522,4± 509,0	*0,012	0,675	4358,1 ± 1863,1	3643,3 ± 596,7	0,286	0,186	0,058	0,268
BOA_SE md ± SD (mm ²)	70,4 ± 42,0	177,5 ± 17,3	0,175	0,282	123,1 ± 56,1	162,8 ± 115,9	0,375	0,133	0,422	0,054
BOA_DX md ± SD (mm)	10,0 ± 3,1	12,8 ± 5,3	0,220	0,238	12,05 ± 4,0	15,1 ± 7,7	0,329	0,159	0,927	0,001
BOA_DY md ± SD (mm)	10,9 ± 3,4	12,3 ± 3,4	0,090	0,405	14,7 ± 3,9	18,4 ± 8,1	0,223	0,235	0,443	0,050
BOC_LS md ± SD (mm)	3166,2± 641,3	4173,3± 390,8	*0,004	0,779	4290,6 ± 1453,5	4006,5 ± 787,1	0,554	0,062	*0,025	0,354
BOC_SE md ± SD (mm ²)	78,3 ± 63,5	78,4 ± 51,2	0,998	0,000	127,2 ± 74,3	120,8 ± 127,7	0,888	0,004	0,907	0,001
BOC_DX md ± SD (mm)	10,0 ± 5,7	10,7 ± 3,4	0,797	0,012	12,6 ± 2,8	11,7 ± 3,2	0,543	0,065	0,615	0,022
BOC_DY md ± SD (mm)	11,1 ± 4,4	12,5 ± 2,0	0,570	0,057	17,4 ± 8,7	14,8 ± 6,9	0,537	0,067	0,403	0,059

Los datos son expresamos como media ± desviación estándar.

Pre-IN: pre-intervención; Post-IN: post-intervención; md: media; SD: desviación estándar; % pred: % predictivo; Eta= tamaño del efecto. BOA= bipodal ojos abiertos; LS= longitud de Sway; SE= superficie de la elipse; mm²= milímetros cuadrados; DX= eje lateral; DY= eje antero-posterior; BOC= bipodal ojos cerrados

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

El objetivo de nuestro estudio fue analizar los efectos del EMI sobre la función muscular respiratoria y el equilibrio estático en jugadores de fútbol. Por un lado, hemos observado una mejoría importante en la fuerza muscular inspiratoria en los jugadores del GE y, por otro lado, un incremento en la longitud de Sway tanto en la condición de ojos abiertos como en ojos cerrados.

Respecto a la fuerza muscular inspiratoria, se observó un incremento del valor de PIM (14%) tras el EMI en el GE. Este resultado no fue significativo, pero rozó la significancia estadística. La mayoría de los estudios publicados sobre el EMI en jugadores de fútbol han obtenido efectos positivos en los valores de PIM en el GE, comparándolo con el GP (9,11-13,161,162). En nuestro estudio, se realizó un protocolo de intervención de 1 sesión diaria, 6 sesiones a la semana durante 8 semanas de entrenamiento. En los estudios publicados, la frecuencia de los programas de entrenamiento fue de 1 sesión diaria (11) o 2 sesiones diarias (9,12,13,161,162), entre 2-3 (11,161) o entre 5-7 (9,13,161,162) sesiones a la semana, y durante 5 semanas (9,13,161,162) o 6 semanas de entrenamiento (11,12). En casi todos los estudios, la intensidad de la carga de entrenamiento osciló entre el 40-60% del valor de PIM (9,11-13,161,162), mientras que en nuestro estudio, la intensidad de la resistencia en el PowerBreath fue progresiva, hasta alcanzar el 80% del valor de PIM. Existen discrepancias acerca de nuestros resultados respecto a los estudios publicados, por no haber obtenido diferencias significativas. Por un lado, esta discrepancia puede deberse al número reducido de muestra final, tras haber perdido participantes durante el entrenamiento. Por otro lado, puede deberse al hecho de haber realizado un protocolo de entrenamiento donde se incluía 1 sesión al día y no 2, como la mayoría de los estudios, debido a la predisposición de los jugadores y a la logística del equipo. Finalmente, esta ausencia de significancia estadística, también puede deberse a que, aunque realizamos un seguimiento estricto para el cumplimiento del EMI (tales como llamadas telefónicas, vídeos a través de dispositivo móvil), no podemos garantizar que los jugadores hayan cumplido exactamente el protocolo de intervención.

El análisis de los cambios intermedios, realizado para reajuste de la carga de entrenamiento, nos reveló que ambos grupos incrementaron sus valores de PIM de la 1ª a la 4ª semana de entrenamiento, (\uparrow -13,9 cmH₂O en el GE y \uparrow -6,7 cmH₂O en el GP), siendo significativo solamente para el GE. A partir de la 4ª semana hasta el final del entrenamiento (8 semanas), el GE siguió aumentando su valor de PIM de forma progresiva, sin significación estadística. Por el contrario, el GP presentó una pérdida importante y significativa en el valor de PIM desde la 4ª semana hasta el final de la intervención. Desde nuestro conocimiento, ningún estudio revisado ha realizado un análisis de los cambios intermedios (9,11-13,161-164). La resistencia de entrenamiento en el PowerBreath que empleamos para el GP fue de un 20% del valor inicial de PIM. Algunos estudios defienden que un entrenamiento de hasta el 15% del valor de PIM, no produce incrementos en la fuerza muscular inspiratoria (32,174). En nuestro estudio, sí obtuvimos incrementos, pero sin ser significativos. Creemos que este incremento durante el primer mes en ambos grupos, especialmente en el GE, puede ser explicado por la condición respiratoria inicial de los jugadores que, como hemos expuesto en los resultados, han obtenido valores similares, e incluso inferiores, a los valores predictivos de normalidad de PIM.

Curiosamente, en ninguno de los estudios revisados sobre el EMI en fútbol, informan de los valores predictivos de la fuerza de los músculos inspiratorios al inicio del estudio, solo valores absolutos (-cmH₂O). En nuestro estudio, sí hicimos una comparación de los valores de PIM de los futbolistas con los valores de PIM % valor predictivo. Un 25% de los jugadores presentaron valores promedios por debajo de su normalidad y el 50% presentaron valores predictivos rozando el valor límite de normalidad. Se han realizado varios estudios en poblaciones de personas sanas para determinar ecuaciones capaces de predecir los valores que se pueden considerar normales o esperados, en base a características étnicas, demográficas y antropométricas (105,175,175,176). En el campo de la medicina, los valores normativos son ampliamente utilizados y se consideran de extrema importancia para comparar los valores obtenidos por pacientes con los de sujetos sanos. En el caso de los deportistas, esta información sería de interés para comprender las diferencias en los incrementos de PIM observados en los estudios. Otros estudios realizados en jugadores de otras modalidades de fútbol, como fútbol sala, encontraron valores similares de PIM de

los jugadores en comparación con sujetos sedentarios (177). Fuso y cols. defiende la idea de que los valores de PIM son diferentes según la forma de medición (178). En su estudio, comparó una muestra de jugadores de fútbol con sujetos sedentarios, demostrando que los jugadores tienen valores más altos de esta solo cuando PIM se medía a partir de la capacidad residual funcional (CRF) y no cuando se obtenía del volumen residual (VR). En nuestro estudio, los valores de PIM se evaluaron desde el VR y, debido a esto, puede ser que hayamos obtenido valores ligeramente por debajo del valor normal.

Respecto a la MVV, no hemos encontrado cambios significativos en valores de litros/minuto. Similares resultados fueron encontrados por otros autores, quienes realizaron un EMI en jugadores de fútbol sin reportar cambios significativos en la MVV (litros/minuto) (119,163). Por el contrario, Ozmen y cols. sí encontraron cambios en la MVV (litros/minuto), tras realizar un EMI en fútbol (11). Estas diferencias pueden deberse al tipo de dispositivo utilizado para el entrenamiento. Al igual que en nuestro estudio, varios autores (119,163) emplearon un dispositivo tipo umbral, a diferencia de Ozmen y cols., quienes utilizaron un dispositivo de hiperpnea normocápnica (11). Creemos que, tanto nosotros como el resto de autores (en fútbol y otros deportes), no hemos encontrado cambios en la MVV (litros/minuto), posiblemente porque el EMI repercute en la funcionalidad de la musculatura respiratoria, sin modificar parámetros específicos de la función pulmonar.

Adicionalmente, hemos visto interesante medir el número de respiraciones por minuto realizadas durante la prueba de MVV, por la implicación en ello de la musculatura respiratoria. En esta variable, sí que hemos encontrado un incremento importante y significativo en ambos grupos, pero sin diferencias entre ellos. La literatura analizada no registra datos de esta variable. Probablemente, este incremento sea debido al trabajo constante de entrenamiento rutinario que tienen los jugadores.

Los resultados obtenidos en valores de función muscular (fuerza y resistencia) confirman que los jugadores presentan una condición respiratoria no muy diferente a la de la población normal. Además, la medición de la fuerza muscular respiratoria debería ser realizada de forma sistemática a todos los

jugadores. Los jugadores responden satisfactoriamente al EMI incluso con bajas cargas de entrenamiento. Por lo tanto, el EMI sería interesante implantarlo como parte del entrenamiento, tanto en fútbol como en el resto de deportes.

En relación a las variables de equilibrio estático, encontramos que el GE incrementó de forma significativa la longitud de Sway, tanto en la condición de ojos abiertos como en la de ojos cerrados. El GP no obtuvo cambios significativos en ninguna variable. Comparando ambos grupos, en la longitud de Sway hubo diferencias significativas entre ellos para la condición de ojos cerrados ($p=0,025$) y rozó la significancia estadística para la condición de ojos abiertos ($p=0,058$). No podemos comparar nuestros resultados con los estudios publicados ya que, ninguno de los autores, según la literatura revisada, han estudiado variables de equilibrio tras un EMI en fútbol. En otros deportes sí se han analizado las variables de equilibrio cuyos resultados apuestan por que una disminución en la oscilación postural es interpretado como un menor balanceo y, por tanto, una mejor estabilidad (179,180). En nuestro estudio podríamos suponer que este incremento en la longitud de Sway, en ambas condiciones, podría generar mayor inestabilidad en los jugadores, pero hay otras interpretaciones de las variables de equilibrio más afines a nuestro razonamiento.

Actualmente, existen diferentes enfoques acerca de la interpretación de los resultados en variables de equilibrio. Uno de ellos es el enfoque ecológico, que busca información perceptiva mediante la generación activa de movimientos (181). Por un lado, algunos autores afirman que la oscilación postural sobre la base de sustentación de los sujetos jóvenes asintomáticos, generada por fluctuaciones posturales, puede proveer de información exploratoria sensorial acerca de cómo el propio cuerpo interactúa con el entorno (181,182). Estas fluctuaciones generan desplazamientos en el centro de presiones (CoP) y dependen de los patrones posturales de cada individuo (180). El sistema nervioso central (SNC) genera respuestas anticipatorias posturales, no para estabilizar sino para facilitar el movimiento y que exista coordinación. Por otro lado, un menor grado de oscilación generará una posición más rígida en bipedestación (181,183). Reducir los grados funcionales de movimiento puede ser una estrategia de los individuos para reducir las perturbaciones que están constantemente actuando sobre el cuerpo, durante la bipedestación. Cuando la persona realiza un cambio

de movimiento, un cambio dinámico, es necesario que aparezca una coordinación motora, para modular los movimientos posturales y poder realizar bien esta tarea. Esta tarea requiere una mayor precisión, por lo que es necesario realizar una disminución de la oscilación para conseguir el control postural. El sistema postural no controla estrictamente el balanceo postural, lo hace cuando se va a realizar una tarea específica que necesita más precisión (180,181,183–185).

Estudios realizados, en personas sanas, sobre aspectos funcionales en la variabilidad postural y en el control motor muestran que la magnitud de la oscilación (área, longitud y desplazamiento en el eje X y el eje Y) no está relacionada con la estabilidad (163–167). En nuestro estudio, los cambios encontrados en la longitud de Sway, en ambas condiciones, podrían interpretarse como un incremento de la oscilación para coordinar las fluctuaciones posturales y tener una mayor adaptabilidad con el entorno, según el enfoque ecológico. A mayor balanceo, mejor capacidad de adaptación tendrá la persona (184). Por lo tanto, de acuerdo con el enfoque ecológico, podemos suponer que nuestros jugadores presentaron una mejora en el equilibrio. Sin embargo, estos resultados deben ser contrastados en investigaciones futuras.

**CONSIDERACIONES
FINALES**

CONSIDERACIONES FINALES

I. Limitaciones del estudio

Una de las principales limitaciones que presentó el estudio fue el tamaño de la muestra. A pesar de contar inicialmente con todo el equipo, la muestra final fue de catorce jugadores. Habría sido de gran interés aumentar el número de participantes en cada uno de los grupos para aumentar la potencia estadística de los resultados. Aunque planteamos, inicialmente, incluir a otro equipo de fútbol, decidimos, finalmente, no hacerlo, porque el entrenamiento rutinario era diferente en cada equipo y dirigido por entrenadores diferentes.

A pesar de que algunos autores recomiendan que es conveniente llevar a cabo las mediciones de cada uno de los participantes, a la misma hora del día, para evitar modificaciones posturales ocasionadas por las actividades de la vida diaria o la fatiga (186), no pudimos seguir esta recomendación. Los jugadores pertenecían a un equipo de “segunda B” y la mayoría estudiaban o trabajaban al mismo tiempo. Decidimos asumir el posible sesgo que pueda producir la asunción de esta premisa. Aun así, se tomaron todas las mediciones durante la mañana y dos días consecutivos.

Por otra parte, tuvimos limitación en el seguimiento del protocolo de EMI de los jugadores. El programa que realizamos fue de tipo semi-supervisado, en el cual supervisábamos 4 sesiones en el campo y dos a través de vídeos que nos enviaban desde casa. Confiamos en la máxima implicación de los jugadores, por lo que creemos que haya sido una limitación en el estudio.

II. Propuestas para futuros estudios

En base a los resultados observados en este ensayo clínico sugerimos que, para futuras investigaciones, se puedan llevar a cabo estudios que analicen y comparen resultados sobre el EMI en jugadores de fútbol con un mayor número

de muestra y un mayor tiempo de intervención. Otra propuesta sería incluir más de un GE, que trabajen a diferente % de resistencia en el dispositivo, para poder analizar los datos de forma más específica y poder comparar. Además, podrían incluirse diferentes tipos de entrenamiento con sus dispositivos correspondientes.

En relación a las variables de resultados, sugerimos incluir, en futuros estudios, un seguimiento de las variables estudiadas, para comprobar si los efectos del EMI perduran en el tiempo. Incluir también la medición de las variables espiratorias (PEM) al entrenar con dispositivos que trabajan ambas musculaturas respiratorias. Sería interesante evaluar variables de expansibilidad torácica, dinamometría de miembros inferiores, por la repercusión de la fatiga muscular respiratoria en la musculatura esquelética, y una percepción subjetiva por parte de los jugadores tras un EMI. Todas estas propuestas podrían llegar a aportar nuevas formas en la estructura de entrenamiento que tienen los equipos actualmente.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

a) La mayoría de los estudios analizados en la revisión sistemática realizaron entrenamiento muscular inspiratorio y utilizaron dispositivos de tipo carga umbral. Los protocolos fueron muy heterogéneos con respecto a la intensidad, duración y frecuencia. De manera general, las intensidades utilizadas estuvieron entre el 40-60% del valor de PIM, el período de entrenamiento varió entre 4 a 8 semanas, con frecuencia semanal entre de 2 a 7 días y sesiones de 1 o 2 veces al día. Las variables frecuentemente evaluadas en los estudios incluidos han sido relativas a función muscular respiratoria (PIM, PEM y MVV), función pulmonar (FEV₁, FVC y PEF) y rendimiento deportivo (distancia recorrida).

b) Los resultados del meta-análisis revelaron que el entrenamiento muscular respiratorio tiene un considerable efecto sobre la fuerza de los músculos inspiratorios y el rendimiento deportivo en jugadores de fútbol. No se demostraron beneficios para otras variables de la función muscular respiratoria (PEM y MVV) o función pulmonar (FEV₁, FVC y PEF). La calidad de la evidencia para los resultados de la fuerza muscular inspiratoria y rendimiento es baja o muy baja. Por lo tanto, el entrenamiento muscular respiratorio parece ser una intervención prometedora para los jugadores de fútbol, pero se necesitan ensayos clínicos de alta calidad para corroborar estos hallazgos

c) Los resultados del ensayo clínico aleatorizado revelaron que no hubo diferencias significativas entre el grupo experimental y placebo para las variables de función muscular respiratoria tras finalizar las 8 semanas de entrenamiento. Sin embargo, hemos observado un patrón de incremento progresivo de la fuerza muscular inspiratoria en el grupo experimental, con cambios estadísticamente significativos entre la primera y cuarta

semana. El grupo placebo, por otra parte, presentó un patrón irregular, de mejora inicial seguido de pérdida significativa de fuerza.

d) Tras las 8 semanas de entrenamiento muscular inspiratorio hemos encontrado cambios significativos en las variables relativas al equilibrio estático. El grupo experimental demostró incrementos en la longitud de Sway tanto en la condición de ojos abiertos como en la de ojos cerrados. Según el enfoque ecológico, este incremento podría ser interpretado como una mejora del control postural y equilibrio estático en la muestra de estudio

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci.* julio de 2006;24(7):665-74.
2. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Fatigue in soccer: A brief review. *J Sports Sci.* 1 de junio de 2005;23(6):593-9.
3. Insua BA. Efectes de l'entrenament del diafragma i músculs accessoris de la inspiració en atletes d'elit. Balanç inflamatori/anti-inflamatori i impacte funcional específic i sistèmic sobre la capacitat d'exercici [Internet] [<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>]. Universitat Autònoma de Barcelona; 2008 [citado 2 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=87195>
4. Gething A, Williams M, Davies B. Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial. *Br J Sports Med.* diciembre de 2004;38(6):730-6.
5. Enright SJ, Unnithan VB. Effect of Inspiratory Muscle Training Intensities on Pulmonary Function and Work Capacity in People Who Are Healthy: A Randomized Controlled Trial. *Phys Ther.* 1 de junio de 2011;91(6):894-905.
6. Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of Respiratory Muscle Training on Exercise Performance in Healthy Individuals. *Sports Med.* 1 de agosto de 2012;42(8):707-24.
7. Segizbaeva MO, Timofeev NN, Donina ZhA, Kur'yanovich EN, Aleksandrova NP. Effects of Inspiratory Muscle Training on Resistance to Fatigue of Respiratory Muscles During Exhaustive Exercise. En: Pokorski M, editor. *Body Metabolism and Exercise* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2015 [citado 26 de enero de 2021]. p. 35-43. (Advances in Experimental Medicine and Biology). Disponible en: https://doi.org/10.1007/5584_2014_20
8. Taylor BJ, How SC, Romer LM. Exercise-induced abdominal muscle fatigue in healthy humans. *J Appl Physiol.* 1 de mayo de 2006;100(5):1554-62.
9. Guy JH, Edwards AM, Deakin GB. Inspiratory muscle training improves exercise tolerance in recreational soccer players without concomitant gain in soccer-specific fitness. *J Strength Cond Res.* febrero de 2014;28(2):483-91.

10. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci.* julio de 2002;20(7):547-62.
11. Ozmen T, Gunes GY, Ucar I, Dogan H, Gafuroglu TU. Effect of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2017;57(5):507-13.
12. Nicks CR, Morgan DW, Fuller DK, Caputo JL. The influence of respiratory muscle training upon intermittent exercise performance. *Int J Sports Med.* enero de 2009;30(1):16-21.
13. Archiza B, Andaku DK, Caruso FCR, Bonjorno JC, Oliveira CR de, Ricci PA, et al. Effects of inspiratory muscle training in professional women football players: a randomized sham-controlled trial. *J Sports Sci.* abril de 2018;36(7):771-80.
14. Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med Auckl NZ.* 2004;34(3):165-80.
15. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci.* septiembre de 2000;18(9):669-83.
16. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med Auckl NZ.* 2005;35(6):501-36.
17. Gigliotti F, Binazzi B, Scano G. Does training of respiratory muscles affect exercise performance in healthy subjects? *Respir Med.* junio de 2006;100(6):1117-20.
18. Guenette JA, Sheel AW. Physiological consequences of a high work of breathing during heavy exercise in humans. *J Sci Med Sport.* diciembre de 2007;10(6):341-50.
19. Harms CA, Babcock MA, McClaran SR, Pegelow DF, Nিকেle GA, Nelson WB, et al. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985.* mayo de 1997;82(5):1573-83.
20. McConnell AK, Romer LM. Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *Int J Sports Med.* mayo de 2004;25(4):284-93.
21. Sheel AW. Respiratory muscle training in healthy individuals: physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports Med Auckl NZ.* 2002;32(9):567-81.
22. Croix CMS, Morgan BJ, Wetter TJ, Dempsey JA. Fatiguing inspiratory muscle

- work causes reflex sympathetic activation in humans. *J Physiol.* 2000;529(2):493-504.
23. McConnell AK. Respiratory Muscle Training as an Ergogenic Aid. *J Exerc Sci Fit.* 1 de enero de 2009;7(2, Supplement):S18-27.
24. HajGhanbari B, Yamabayashi C, Buna TR, Coelho JD, Freedman KD, Morton TA, et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *J Strength Cond Res.* junio de 2013;27(6):1643-63.
25. Karsten M, Ribeiro GS, Esquivel MS, Matte DL. The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport.* 1 de noviembre de 2018;34:92-104.
26. Holm P, Sattler A, Fregosi RF. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol.* 6 de mayo de 2004;4(1):9.
27. Johnson MA, Sharpe GR, Brown PI. Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *Eur J Appl Physiol.* diciembre de 2007;101(6):761-70.
28. Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur J Appl Physiol.* febrero de 2010;108(3):505-11.
29. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* mayo de 2002;34(5):785-92.
30. Sonetti DA, Wetter TJ, Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. *Respir Physiol.* septiembre de 2001;127(2-3):185-99.
31. Tong T, fu F, Chung P-K, Eston R, Lu K, Quach B, et al. The effect of inspiratory muscle training on high-intensity, intermittent running performance to exhaustion. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme.* 1 de agosto de 2008;33:671-81.
32. Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, McNaughton L, Backx K, Jones DA. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc.* mayo de 2001;33(5):803-9.
33. Wells GD, Plyley M, Thomas S, Goodman L, Duffin J. Effects of concurrent

inspiratory and expiratory muscle training on respiratory and exercise performance in competitive swimmers. *Eur J Appl Physiol*. agosto de 2005;94(5-6):527-40.

34. Wylegala JA, Pendergast DR, Gosselin LE, Warkander DE, Lundgren CEG. Respiratory muscle training improves swimming endurance in divers. *Eur J Appl Physiol*. marzo de 2007;99(4):393-404.

35. Winearls J. Posture: its function in efficient use of the human organism as a total concept. *Agressol Rev Int Physio-Biol Pharmacol Appl Aux Eff Agression*. 1972;13:Suppl B:99-91.

36. Paillard T. Relationship Between Sport Expertise and Postural Skills. *Front Psychol* [Internet]. 2019 [citado 16 de diciembre de 2020];10. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.01428/full>

37. Orchard J. Is There a Relationship Between Ground and Climatic Conditions and Injuries in Football? *Sports Med*. 1 de junio de 2002;32(7):419-32.

38. Gerbino PG, Griffin ED, Zurakowski D. Comparison of standing balance between female collegiate dancers and soccer players. *Gait Posture*. 1 de octubre de 2007;26(4):501-7.

39. Hamaoui A, Gonneau E, Le Bozec S. Respiratory disturbance to posture varies according to the respiratory mode. *Neurosci Lett*. 21 de mayo de 2010;475(3):141-4.

40. Hamaoui A, Hudson AL, Laviolette L, Nierat M-C, Do M-C, Similowski T. Postural disturbances resulting from unilateral and bilateral diaphragm contractions: a phrenic nerve stimulation study. *J Appl Physiol*. 22 de agosto de 2014;117(8):825-32.

41. Stephens RJ, Haas M, Moore WL, Emmil JR, Sipress JA, Williams A. Effects of Diaphragmatic Breathing Patterns on Balance: A Preliminary Clinical Trial. *J Manipulative Physiol Ther*. 1 de marzo de 2017;40(3):169-75.

42. Caron O, Fontanari P, Cremieux J, Joulia F. Effects of ventilation on body sway during human standing. *Neurosci Lett*. 5 de agosto de 2004;366(1):6-9.

43. Malakhov M, Makarenkova E, Melnikov A. The Influence of Different Modes of Ventilation on Standing Balance of Athletes. *Asian J Sports Med* [Internet]. septiembre de 2014 [citado 16 de diciembre de 2020];5(3). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4267484/>

44. Hodges PW, Butler JE, McKenzie DK, Gandevia SC. Contraction of the human

diaphragm during rapid postural adjustments. *J Physiol.* 1 de diciembre de 1997;505(Pt 2):539-48.

45. Hodges PW, Gandevia SC. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *J Physiol.* 2000;522(1):165-75.

46. Kocjan J, Gzik-Zroska B, Nowakowska K, Burkacki M, Suchoń S, Michnik R, et al. Impact of diaphragm function parameters on balance maintenance. *PloS One.* 2018;13(12):e0208697.

47. Bordoni B, Zanier E. Anatomic connections of the diaphragm: influence of respiration on the body system. *J Multidiscip Healthc.* 2013;6:281-91.

48. Hodges PW, Heijnen I, Gandevia SC. Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *J Physiol.* 2001;537(3):999-1008.

49. Lee K, Park D, Lee G. Progressive Respiratory Muscle Training for Improving Trunk Stability in Chronic Stroke Survivors: A Pilot Randomized Controlled Trial. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 1 de mayo de 2019;28(5):1200-11.

50. Penafortes JTS, Guimaraes FS, Moco VJR, Almeida VP, Menezes SLS, Lopes AJ, et al. Relationship between body balance, lung function, nutritional status and functional capacity in adults with cystic fibrosis. *Braz J Phys Ther.* octubre de 2013;17(5):450-7.

51. Villanueva MAM. Análisis de la actividad muscular respiratoria mediante técnicas temporales, frecuenciales y estadísticas [Internet] [<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>]. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC); 2000 [citado 2 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=12781>

52. Martín Sánchez C. Beneficios de la terapia con resistómetro inspiratorio en los pacientes con esclerosis múltiple frente a terapias respiratorias convencionales [Internet]. Universidad de Salamanca; 2016 [citado 2 de septiembre de 2020]. Disponible en: <http://oatd.org/oatd/record?record=handle%5C%3A10366%5C%2F132956>

53. Ricard F. Tratamiento osteopático de las lumbalgias y lumbociáticas por hernias discales. Ed. Médica Panamericana; 2003. 592 p.

54. Hopkins SR, McKenzie DC. Hypoxic ventilatory response and arterial desaturation during heavy work. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. septiembre de 1989;67(3):1119-24.

55. Mizuno M, Secher NH. Histochemical characteristics of human expiratory and inspiratory intercostal muscles. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. agosto de 1989;67(2):592-8.
56. Rochester DF. The diaphragm: contractile properties and fatigue. *J Clin Invest.* mayo de 1985;75(5):1397-402.
57. Belman MJ, Sieck GC. The ventilatory muscles. Fatigue, endurance and training. *Chest.* diciembre de 1982;82(6):761-6.
58. Edwards RHT. The Diaphragm as a Muscle. *Am Rev Respir Dis.* 1 de febrero de 1979;119(2P2):81-4.
59. Alvarez H, María D. El diafragma una visión desde la osteopatía: monografía pasantía [Internet]. Universidad Nacional de Colombia; 2013 [citado 2 de septiembre de 2020]. Disponible en: <http://oatd.org/oatd/record?record=oai%5C%3Awww.bdigital.unal.edu.co%5C%3A11437>
60. Mead J. Functional significance of the area of apposition of diaphragm to rib cage [proceedings]. *Am Rev Respir Dis.* febrero de 1979;119(2 Pt 2):31-2.
61. Mead J, Loring SH. Analysis of volume displacement and length changes of the diaphragm during breathing. *J Appl Physiol.* septiembre de 1982;53(3):750-5.
62. Loring SH, Mead J. Action of the diaphragm on the rib cage inferred from a force-balance analysis. *J Appl Physiol.* septiembre de 1982;53(3):756-60.
63. Ricard F, Sallé J-L. Tratado de osteopatía. Ed. Médica Panamericana; 2003. 340 p.
64. Ricard F. Tratamiento osteopático de las lumbalgias y lumbociáticas por hernias discales. Ed. Médica Panamericana; 2003. 592 p.
65. Ricard F. Tratamiento osteopático de las algias del raquis torácico. Ed. Médica Panamericana; 2007. 472 p.
66. Latarjet M, Liard AR. Anatomía Humana. Ed. Médica Panamericana; 2004. 892 p.
67. Gutiérrez LS. Síntesis de anatomía humana. Universidad de Salamanca; 1989. 616 p.
68. El diafragma | Acland. Video Atlas De Anatomia Humana [Internet]. [citado 30 de enero de 2021]. Disponible en:

<https://es.aclandanatomy.com/MultimediaPlayer.aspx?multimediaid=11053395>

69. Field D. ANATOMÍA. Palpación y localización superficial (Color). Editorial Paidotribo; 2004. 272 p.
70. Williams PL. Anatomía de Gray. Harcourt Brace de España, S.A.; 1998. 2140 p.
71. Busquet L. CADENAS MUSCULARES, LAS (Tomo II). Lordosis, cifosis, escoliosis y deformaciones torácicas (Bicolor). Editorial Paidotribo; 2008. 204 p.
72. Bordoni B, Marelli F, Bordoni G. A review of analgesic and emotive breathing: a multidisciplinary approach. *J Multidiscip Healthc*. 29 de febrero de 2016;9:97-102.
73. Shen MJ, Zipes DP. Role of the autonomic nervous system in modulating cardiac arrhythmias. *Circ Res*. 14 de marzo de 2014;114(6):1004-21.
74. Critchley HD, Nicotra A, Chiesa PA, Nagai Y, Gray MA, Minati L, et al. Slow breathing and hypoxic challenge: cardiorespiratory consequences and their central neural substrates. *PLoS One*. 2015;10(5):e0127082.
75. Kuehn E, Mueller K, Lohmann G, Schuetz-Bosbach S. Interoceptive awareness changes the posterior insula functional connectivity profile. *Brain Struct Funct*. abril de 2016;221(3):1555-71.
76. Giménez M, Servera E, Vergara P. Prevención y Rehabilitación en Patología Respiratoria Crónica. Fisioterapia, entrenamiento y cuidados respiratorios.
77. Canal JMM, Cuesta FJP. Patología básica del sueño. Elsevier España; 2015. 296 p.
78. Danon J, Druz WS, Goldberg NB, Sharp JT. Function of the isolated paced diaphragm and the cervical accessory muscles in C1 quadriplegics. *Am Rev Respir Dis*. junio de 1979;119(6):909-19.
79. Willard FH, Vleeming A, Schuenke MD, Danneels L, Schleip R. The thoracolumbar fascia: anatomy, function and clinical considerations. *J Anat*. diciembre de 2012;221(6):507-36.
80. Skandalakis PN, Zoras O, Skandalakis JE, Mirilas P. Transversalis, endoabdominal, endothoracic fascia: who's who? *Am Surg*. enero de 2006;72(1):16-8.
81. Loukas M, Shoja MM, Thurston T, Jones VL, Linganna S, Tubbs RS. Anatomy and biomechanics of the vertebral aponeurosis part of the posterior layer of the thoracolumbar

fascia. *Surg Radiol Anat SRA*. marzo de 2008;30(2):125-9.

82. Peiper C, Junge K, Prescher A, Stumpf M, Schumpelick V. Abdominal musculature and the transversalis fascia: an anatomical viewpoint. *Hernia J Hernias Abdom Wall Surg*. diciembre de 2004;8(4):376-80.

83. Mihalache G, Indrei A, Tăranu T. [The anterolateral structures of the neck and trunk]. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi*. junio de 1996;100(1-2):69-74.

84. Palastanga N, Field D, Soames R. ANATOMÍA Y MOVIMIENTO HUMANO. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO. Editorial Paidotribo; 2007. 616 p.

85. Petersen LG, Carlsen JF, Nielsen MB, Damgaard M, Secher NH. The hydrostatic pressure indifference point underestimates orthostatic redistribution of blood in humans. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1 de abril de 2014;116(7):730-5.

86. Kimura BJ, Dalugdugan R, Gilcrease GW, Phan JN, Showalter BK, Wolfson T. The effect of breathing manner on inferior vena caval diameter. *Eur J Echocardiogr J Work Group Echocardiogr Eur Soc Cardiol*. febrero de 2011;12(2):120-3.

87. Vietri J, Otsubo T, Montgomery W, Tsuji T, Harada E. The incremental burden of pain in patients with depression: results of a Japanese survey. *BMC Psychiatry [Internet]*. 7 de mayo de 2015 [citado 2 de septiembre de 2020];15. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4424963/>

88. Hodges PW, Gandevia SC. Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. septiembre de 2000;89(3):967-76.

89. Jandt SR, Caballero RM da S, Junior LAF, Dias AS. Correlation between trunk control, respiratory muscle strength and spirometry in patients with stroke: an observational study. *Physiother Res Int J Res Clin Phys Ther*. diciembre de 2011;16(4):218-24.

90. Lee K, Cho J-E, Hwang D-Y, Lee W. Decreased Respiratory Muscle Function Is Associated with Impaired Trunk Balance among Chronic Stroke Patients: A Cross-sectional Study. *Tohoku J Exp Med*. 2018;245(2):79-88.

91. Curtill P, Métra A. TRATADO PRÁCTICO DE OSTEOPATÍA VISCERAL (Color). Editorial Paidotribo; 2004. 82 p.

92. Stecco C, Macchi V, Porzionato A, Duparc F, De Caro R. The fascia: the forgotten

- structure. *Ital J Anat Embryol Arch Ital Anat Ed Embriologia*. 2011;116(3):127-38.
93. Day JA, Copetti L, Rucli G. From clinical experience to a model for the human fascial system. *J Bodyw Mov Ther*. 1 de julio de 2012;16(3):372-80.
94. 3049452. Manual de Procedimientos SEPAR, 3. [Internet]. Issuu. [citado 27 de enero de 2021]. Disponible en: <https://issuu.com/separ/docs/procedimientos3>
95. Moreno JIM. Clarificación de conceptos relacionados con el entrenamiento deportivo. *EA Esc Abierta Rev Investig Educ*. 2004;(7):55-72.
96. Martínez-Llorens J, Ausín P, Roig A, Balañá A, Admetlló M, Muñoz L, et al. Nasal Inspiratory Pressure: an Alternative for the Assessment of Inspiratory Muscle Strength? *Arch Bronconeumol Engl Ed*. 1 de enero de 2011;47(4):169-75.
97. Uranga LS. Evaluación no invasiva de la función muscular respiratoria mediante el análisis de la señal mecanomiográfica en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica [Internet] [<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>]. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC); 2013 [citado 2 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=97717>
98. Río F, Mendieta MA. Exploración funcional respiratoria. Vol. XVIII/2011. Madrid: NEUMOMADRID;
99. J G, JB. Manual de Procedimientos SEPAR, 4 [Internet]. issuu. [citado 27 de enero de 2021]. Disponible en: <https://issuu.com/separ/docs/procedimientos4/1>
100. MEDIDOR DE MUSCULO RESPIRATORIO modelo MicroRPM [Internet]. [citado 3 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.lacasademedico.com.py/medidor-de-musculo-respiratorio-modelo-microrpm.html>
101. Briceño V C, Reyes B T, Sáez B J, Saldías P F. Evaluación de los músculos respiratorios en la parálisis diafragmática bilateral. *Rev Chil Enfermedades Respir*. septiembre de 2014;30(3):166-71.
102. Mora-Romero U de J, Gochicoa-Rangel L, Guerrero-Zúñiga S, Cid-Juárez S, Silva-Cerón M, Salas-Escamilla I, et al. Presiones inspiratoria y espiratoria máximas: Recomendaciones y procedimiento. *Neumol Cir Tórax*. diciembre de 2014;73(4):247-53.
103. Barreiro E, Bustamante V, Cejudo P, Gáldiz JB, Gea J, de Lucas P, et al. Normativa SEPAR sobre disfunción muscular de los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Arch Bronconeumol*. 1 de agosto de 2015;51(8):384-95.

104. Labarga IH. Control de la ventilación y rendimiento de los músculos respiratorios en niños y adolescentes [Internet] [<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>]. Universidad de Zaragoza; 1988 [citado 2 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=205587>
105. Morales P, Sanchis J, Cordero PJ, Díez JL. [Maximum static respiratory pressures in adults. The reference values for a Mediterranean Caucasian population]. Arch Bronconeumol. mayo de 1997;33(5):213-9.
106. Polkey MI, Green M, Moxham J. Measurement of respiratory muscle strength. Thorax. noviembre de 1995;50(11):1131-5.
107. Caruso P, Albuquerque ALP de, Santana PV, Cardenas LZ, Ferreira JG, Prina E, et al. Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. J Bras Pneumol. abril de 2015;41(2):110-23.
108. Rochester DF, Arora NS. Respiratory muscle failure. Med Clin North Am. mayo de 1983;67(3):573-97.
109. Carámbula A, Visca A, D'Amico S, Angulo M. Evaluación muscular respiratoria y periférica en la Unidad de Cuidados Intensivos. Arch Bronconeumol. 1 de mayo de 2019;55(5):258-65.
110. Hérítier F, Rahm F, Pasche P, Fitting JW. Sniff nasal inspiratory pressure. A noninvasive assessment of inspiratory muscle strength. Am J Respir Crit Care Med. diciembre de 1994;150(6 Pt 1):1678-83.
111. Koulouris N, Mulvey DA, Laroche CM, Sawicka EH, Green M, Moxham J. The measurement of inspiratory muscle strength by sniff esophageal, nasopharyngeal, and mouth pressures. Am Rev Respir Dis. marzo de 1989;139(3):641-6.
112. Uldry C, Fitting JW. Maximal values of sniff nasal inspiratory pressure in healthy subjects. Thorax. abril de 1995;50(4):371-5.
113. García-Talvera I, Díaz Lobato S, Bolado PR, Villasente C. Músculos respiratorios. Arch Bronconeumol. 1999;28 (5):239-46.
114. Mirella R. LAS NUEVAS METODOLOGÍAS DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA, LA RESISTENCIA, LA VELOCIDAD Y LA FLEXIBILIDAD. Editorial Paidotribo; 2006. 268 p.
115. Seminario M, Jordan J. Valorar la resistencia a la fuerza en los futbolistas del

equipo sub 15 del Club de Fútbol, Trujillo. Repos Inst - UCV [Internet]. 2019 [citado 27 de enero de 2021]; Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48636>

116. Exploración funcional de los músculos respiratorios [Internet]. [citado 28 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.archbronconeumol.org/es-pdf-S030028961530140X>

117. Pinheiro De C G, Saldías P F. Entrenamiento muscular inspiratorio en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Rev Chil Enfermedades Respir.* junio de 2011;27(2):116-23.

118. González-Montesinos JL, Vaz Pardal C, Fernández Santos JR, Arnedillo Muñoz A, Costa Sepúlveda JL, Gómez Espinosa de los Monteros R. Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica. *Rev Andal Med Deporte.* 1 de diciembre de 2012;5(4):163-70.

119. Boutellier U, Büchel R, Kundert A, Spengler C. The Respiratory System as an Exercise Limiting Factor in Normal Trained Subjects. *Eur J Appl Physiol.* 1992;65(4):347-53.

120. Sales AT do N, Fregonezi GA de F, Ramsook AH, Guenette JA, Lima INDF, Reid WD. Respiratory muscle endurance after training in athletes and non-athletes: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport.* 1 de enero de 2016;17:76-86.

121. Electromedicina S. Spirotiger Smart (Seminuevo) | Sanro Electromedicina [Internet]. [citado 3 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.sanro.com/producto/spirotiger-smart>

122. Bustamante Madariaga V, Gáldiz Iturri JB, Gorostiza Manterola A, Camino Buey J, Talayero Sebastián N, Peña VS. Comparación de 2 métodos de entrenamiento muscular inspiratorio en pacientes con EPOC. *Arch Bronconeumol.* 1 de agosto de 2007;43(8):431-8.

123. Ver detalles del Philips Pflex [Internet]. Philips. [citado 3 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.philips.es/healthcare/product/HCHS553/pflex-inspiratory-muscle-trainer>

124. ¿Puede Powerlung aumentar el VO₂max, Aptitud y oxígeno corporal? – Respiración Normal [Internet]. [citado 3 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.respiracionnormal.org/powerlung/>

125. Keylab Medical · Distribución de productos hospitalarios · Inhaladores · Nebulizadores [Internet]. [citado 4 de febrero de 2021]. Disponible en:

<https://www.keylabmedical.com/es/producto.php?name=Threshold-PEP&id=15>

126. Lorca-Santiago J, Jiménez SL, Pareja-Galeano H, Lorenzo A. Inspiratory Muscle Training in Intermittent Sports Modalities: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 21 de junio de 2020;17(12).
127. Minahan C, Sheehan B, Doutreband R, Kirkwood T, Reeves D, Cross T. Repeated-Sprint Cycling Does Not Induce Respiratory Muscle Fatigue in Active Adults: Measurements from The Powerbreathe® Inspiratory Muscle Trainer. *J Sports Sci Med*. 27 de enero de 2015;14(1):233-8.
128. Nepomuceno Júnior BRV, Gómez TB, Gomes Neto M, Nepomuceno Júnior BRV, Gómez TB, Gomes Neto M. Use of Powerbreathe® in inspiratory muscle training for athletes: systematic review. *Fisioter Em Mov*. diciembre de 2016;29(4):821-30.
129. Gallego Gallego D. Powerbreathe, dispositivo especializado en fisioterapia para el entrenamiento de la musculatura. 2019 [citado 29 de enero de 2021]; Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/38641>
130. POWERbreathe_España [Internet]. [citado 3 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.powerbreathe.es/series.html>
131. Chicharro JL, Mojares LML. *Fisiología Clínica del Ejercicio*. Ed. Médica Panamericana; 2008. 524 p.
132. Gaskell DV, Webber BA. *Fisioterapia respiratoria: guía del Hospital Brompton*. EUNSA; 1979. 232 p.
133. Sangenis Pulido M. *Fisioterapia respiratoria*. *Arch Bronconeumol*. 1 de febrero de 1994;30(2):84-8.
134. Turcotte R, Kiteala L, Marcotte JE, Perrault H. Exercise-induced oxyhemoglobin desaturation and pulmonary diffusing capacity during high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol*. 1 de mayo de 1997;75(5):425-30.
135. Mafé ED. Utilidad de la electroestimulación muscular funcional y el entrenamiento de la musculatura inspiratoria en pacientes con insuficiencia cardiaca y función sistólica preservada. Ensayo clínico training-hf [Internet] [<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>]. Universitat de València; 2018 [citado 28 de enero de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=252176>
136. Downey AE, Chenoweth LM, Townsend DK, Ranum JD, Ferguson CS, Harms

- CA. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respir Physiol Neurobiol.* 14 de mayo de 2007;156(2):137-46.
137. Inbar O, Weiner P, Azgad Y, Rotstein A, Weinstein Y. Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc.* julio de 2000;32(7):1233-7.
138. Lemaitre F, Coquart JB, Chavallard F, CASTRES I, MUCCI P, Costalat G, et al. Effect of Additional Respiratory Muscle Endurance Training in Young Well-Trained Swimmers. *J Sports Sci Med.* 1 de diciembre de 2013;12(4):630-8.
139. Castellano J, Casamichana D. Heart Rate and Motion Analysis by GPS in Beach Soccer. *J Sports Sci Med.* 1 de marzo de 2010;9(1):98-103.
140. Giulianotti R, Robertson R. The globalization of football: a study in the glocalization of the 'serious life'. *Br J Sociol.* 2004;55(4):545-68.
141. Giulianotti R. Supporters, Followers, Fans, and Flaneurs: A Taxonomy of Spectator Identities in Football. *J Sport Soc Issues.* 1 de febrero de 2002;26(1):25-46.
142. MOHR M, KRUSTRUP P, BANGSBO J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 1 de enero de 2003;21(7):519-28.
143. Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsø F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci J Can Sci Sport.* junio de 1991;16(2):110-6.
144. Ekblom B. Applied physiology of soccer. *Sports Med Auckl NZ.* febrero de 1986;3(1):50-60.
145. Cyrino ES, Altimari LR, Okano AH, Coelho C de F. Efeitos do treinamento de futsal sobre a composição corporal e o desempenho motro de jovens atletas. *Rev Bras Ciênc Mov.* enero de 2002;10(1):41-6.
146. Milioni F, Vieira LHP, Barbieri RA, Zagatto AM, Nordsborg NB, Barbieri FA, et al. Futsal Match-Related Fatigue Affects Running Performance and Neuromuscular Parameters but Not Finishing Kick Speed or Accuracy. *Front Physiol [Internet].* 2016 [citado 8 de septiembre de 2020];7. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2016.00518/full>
147. Scarfone R, Ammendolia A. Match analysis of an elite beach soccer team. *J Sports Med Phys Fitness.* agosto de 2017;57(7-8):953-9.

148. Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci.* 1994;12 Spec No:S5-12.
149. Malone JJ, Di Michele R, Morgans R, Burgess D, Morton JP, Drust B. Seasonal training-load quantification in elite English premier league soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* mayo de 2015;10(4):489-97.
150. Lomax M, Grant I, Corbett J. Inspiratory muscle warm-up and inspiratory muscle training: separate and combined effects on intermittent running to exhaustion. *J Sports Sci.* marzo de 2011;29(6):563-9.
151. Edwards AM, Wells C, Butterly R. Concurrent inspiratory muscle and cardiovascular training differentially improves both perceptions of effort and 5000 m running performance compared with cardiovascular training alone. *Br J Sports Med.* octubre de 2008;42(10):823-7.
152. Chatham K, Baldwin J, Griffiths H, Summers L, Enright S. Inspiratory Muscle Training Improves Shuttle Run Performance in Healthy Subjects. *Physiotherapy.* 1 de diciembre de 1999;85(12):676-83.
153. Urrútia G, Bonfill X. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clínica.* 2010;135(11):507-11.
154. Cooper H, Hedges LV, Valentine JC. *The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis.* Russell Sage Foundation; 2009. 632 p.
155. Higgins J, Thompson S, Deeks J, Altman D. Statistical heterogeneity in systematic reviews of clinical trials: a critical appraisal of guidelines and practice. *J Health Serv Res Policy.* enero de 2002;7(1):51-61.
156. Egger M, Smith GD, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ.* 13 de septiembre de 1997;315(7109):629-34.
157. Duval S, Tweedie R. A Nonparametric "Trim and Fill" Method of Accounting for Publication Bias in Meta-Analysis. *J Am Stat Assoc.* 1 de marzo de 2000;95(449):89-98.
158. Atkins D, Eccles M, Flottorp S, Guyatt GH, Henry D, Hill S, et al. Systems for grading the quality of evidence and the strength of recommendations I: Critical appraisal of existing approaches The GRADE Working Group. *BMC Health Serv Res.* 22 de diciembre de 2004;4(1):38.
159. Meader N, King K, Llewellyn A, Norman G, Brown J, Rodgers M, et al. A

checklist designed to aid consistency and reproducibility of GRADE assessments: development and pilot validation. *Syst Rev.* 24 de julio de 2014;3(1):82.

160. HIGGINS J. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. Version 5.1.0 [updated March 2011]. The Cochrane Collaboration. [Wwwcochrane-Handbookorg](http://www.cochrane-handbook.org) [Internet]. 2011 [citado 15 de octubre de 2020]; Disponible en: <https://ci.nii.ac.jp/naid/20000796633/>

161. Silva HP da, Moura TS de, Silveira F dos S. Efeitos do treinamento muscular inspiratório em atletas de Futebol. *RBPFEEX - Rev Bras Prescrição E Fisiol Exerc.* 11 de agosto de 2018;12(76):616-23.

162. Najafi A, Ebrahim K, Ahmadizad S, Jahani Ghaeh Ghashlagh GR, Javidi M, Hackett D. Improvements in soccer-specific fitness and exercise tolerance following 8 weeks of inspiratory muscle training in adolescent males. *J Sports Med Phys Fitness.* diciembre de 2019;59(12):1975-84.

163. Mahajan AA, Kulkarni N, Khatri SM, Kazi A, Shinde N. Effectiveness of Respiratory Muscle Training in Recreational Soccer Players: A Randomized Controlled Trial. *Romanian J Phys Ther Rev Romana Kinetoterapie.* diciembre de 2012;18(30):64-70.

164. Özgüider C. Four weeks of respiratory muscle training improves intermittent recovery performance but not pulmonary functions and maximum oxygen consumption (VO₂max) capacity in young soccer players. Middle east technical university.; 2010.

165. Gea JG. Myosin gene expression in the respiratory muscles. *Eur Respir J.* 1 de octubre de 1997;10(10):2404-10.

166. Ramirez-Sarmiento A, Orozco-Levi M, Guell R, Barreiro E, Hernandez N, Mota S, et al. Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: structural adaptation and physiologic outcomes. *Am J Respir Crit Care Med.* 1 de diciembre de 2002;166(11):1491-7.

167. Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol.* 2007;584(3):1019-28.

168. Martínez JLL. Traumatología deportiva en el fútbol. Paidotribo; 2016. 281 p.

169. Manzini JL. DECLARACIÓN DE HELSINKI: PRINCIPIOS ÉTICOS PARA LA INVESTIGACIÓN MÉDICA SOBRE SUJETOS HUMANOS. *Acta Bioethica.* diciembre de

2000;6(2):321-34.

170. Watson AW, Mac Donncha C. A reliable technique for the assessment of posture: assessment criteria for aspects of posture. *J Sports Med Phys Fitness*. septiembre de 2000;40(3):260-70.

171. Giner J, Casan P, Berrojalbiz MA, Burgos F, Macian V, Sanchis J. Cumplimiento de las "recomendaciones SEPAR" sobre la espirometría. *Arch Bronconeumol*. 1 de diciembre de 1996;32(10):516-22.

172. fitnessdigital. Báscula Tanita BC-601 Gold [Internet]. fitnessdigital. [citado 4 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.fitnessdigital.com/bascula-tanita-bc-601-gold/p/10001143/>

173. López-Martín O, Segura Fragoso A, Rodríguez Hernández M, Dimbwadyo Terror I, Polonio-López B. Efectividad de un programa de juego basado en realidad virtual para la mejora cognitiva en la esquizofrenia. *Gac Sanit*. 1 de marzo de 2016;30(2):133-6.

174. Edwards AM, Maguire GP, Graham D, Boland V, Richardson G. Four weeks of inspiratory muscle training improves self-paced walking performance in overweight and obese adults: a randomised controlled trial. *J Obes*. 2012;2012:918202.

175. Enright PL, Kronmal RA, Manolio TA, Schenker MB, Hyatt RE. Respiratory muscle strength in the elderly. Correlates and reference values. Cardiovascular Health Study Research Group. *Am J Respir Crit Care Med*. febrero de 1994;149(2 Pt 1):430-8.

176. Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res*. junio de 1999;32(6):719-27.

177. Santos ML de MD, Rosa BD, Ferreira CDR, Medeiros A de A, Batiston AP. Maximal respiratory pressures in healthy boys who practice swimming or indoor soccer and in healthy sedentary boys. *Physiother Theory Pract*. enero de 2012;28(1):26-31.

178. Fuso L, Di Cosmo V, Nardecchia B, Sammarro S, Pagliari G, Pistelli R. Maximal inspiratory pressure in elite soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. marzo de 1996;36(1):67-71.

179. Hrysomallis C. Relationship Between Balance Ability, Training and Sports Injury Risk. *Sports Med*. 1 de junio de 2007;37(6):547-56.

180. van Emmerik REA, van Wegen EEH. On the functional aspects of variability in

postural control. *Exerc Sport Sci Rev.* octubre de 2002;30(4):177-83.

181. Haddad JM, Ryu JH, Seaman JM, Ponto KC. Time-to-contact measures capture modulations in posture based on the precision demands of a manual task. *Gait Posture.* 1 de octubre de 2010;32(4):592-6.

182. Lozano-Quijada C, Poveda-Pagán EJ, Segura-Heras JV, Hernández-Sánchez S, Prieto-Castelló MJ. Changes in Postural Sway After a Single Global Postural Reeducation Session in University Students: A Randomized Controlled Trial. *J Manipulative Physiol Ther.* 1 de septiembre de 2017;40(7):467-76.

183. Haddad JM, Van Emmerik REA, Wheat JS, Hamill J. Developmental changes in the dynamical structure of postural sway during a precision fitting task. *Exp Brain Res.* octubre de 2008;190(4):431-41.

184. Davids K, Glazier P, Araújo D, Bartlett R. Movement systems as dynamical systems: the functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports Med Auckl NZ.* 2003;33(4):245-60.

185. Haddad JM, Gagnon JL, Hasson CJ, Van Emmerik REA, Hamill J. Evaluation of time-to-contact measures for assessing postural stability. *J Appl Biomech.* mayo de 2006;22(2):155-61.

186. Iunes DH, Castro FA, Salgado HS, Moura IC, Oliveira AS, Bevilaqua-Grossi D. Confiabilidade intra e interexaminadores e repetibilidade da avaliação postural pela fotogrametria. *Braz J Phys Ther Impr.* 2005;327-34.

ANEXOS

ANEXO I



COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

DATOS DEL PROYECTO

Título:	"Efectos del entrenamiento muscular respiratorio sobre la función pulmonar, la fuerza muscular inspiratoria y el rendimiento deportivo y en jugadores de fútbol"	
Investigador Principal	Nombre	Correo-e
Dra.	Silvana Loana de Oliveira Sousa	sloana@ucam.edu

INFORME DEL COMITÉ

Fecha	25/11/2016
--------------	------------

Tipo de Experimentación

Investigación experimental clínica con seres humanos.	X
Utilización de tejidos humanos procedentes de pacientes, tejidos embrionarios o fetales.	
Utilización de tejidos humanos, tejidos embrionarios o fetales procedentes de bancos de muestras o tejidos.	
Investigación observacional con seres humanos, psicológica o comportamental en humanos.	
Uso de datos personales, información genética, etc.	X
Experimentación animal.	
Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o las plantas.	
Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs).	

Comentarios Respecto al tipo de Experimentación

Nada obsta

Comentarios Respecto a la metodología de experimentación

Nada obsta

ANEXO II

ClinicalTrials.gov PRS
Protocol Registration and Results System

ClinicalTrials.gov PRS DRAFT Receipt (Working Version)
Last Update: 07/23/2020 03:48

ClinicalTrials.gov ID: NCT03383900

Study Identification

Unique Protocol ID: PMAFI-12/16

Brief Title: Inspiratory Muscle Training (EMI) on Inspiratory Muscle Strength, Pulmonary Capacity and Performance in Soccer Players

Official Title: Inspiratory Muscle Training (EMI) on Inspiratory Muscle Strength, Pulmonary Capacity and Performance in Soccer Players

Secondary IDs:

Study Status

Record Verification: July 2020

Overall Status: Recruiting

Study Start: April 30, 2018 [Actual]

Primary Completion: July 30, 2018 [Actual]

NOTE : It is unusual for Primary Completion Date to be in the past for a study that has not finished recruiting.

Study Completion: December 30, 2020 [Anticipated]

Sponsor/Collaborators

Sponsor: Grupo de Investigacion en Fisioterapia Cardiovascular y Respiratoria

Responsible Party: Principal Investigator

Investigator: Martha Cecilia León Garzón [mgarzon]

Official Title: Doctor en Fisioterapia

Affiliation: Grupo de Investigacion en Fisioterapia Cardiovascular y Respiratoria

Collaborators: Universidad Católica San Antonio de Murcia

Oversight

U.S. FDA-regulated Drug: No

U.S. FDA-regulated Device: No

U.S. FDA IND/IDE: No

Human Subjects Review: Board Status: Approved

Approval Number: PMAFI-12/16

Board Name: Ethics committee of the Catholic University of Murcia

Board Affiliation: Catholic University of Murcia

Phone: 968278806

Email: mcleon@ucam.edu
Address:

Campus of the Jerónimos.30107. Guadalupe (Murcia).

Data Monitoring: Yes

FDA Regulated Intervention: No

Study Description

Brief Summary: The training of the respiratory muscles seems to be fundamental in people who require a high physical demand. There is abundant scientific evidence that relates the respiratory variables and the limitation to exercise. The published studies are athletics and cycling, however it is scarce in football. Objective. To assess the effects of inspiratory muscle training on lung function and sports performance in soccer players.

Detailed Description: Objective. To assess the effects of inspiratory muscle training (EMI) on lung function, inspiratory muscle strength and athletic performance in soccer players.

Method. Participants will be randomized into two groups: experimental (G-IMT) and sham (Gn-IMT). The two groups will perform a protocol of 12 weeks of training (4 days / week) with the PowerBreathe device. The G-IMT will use progressive resistance loads up to 80% of the Mmax, while the Gn-IMT will use the device with a minimum load (10% PImax) during the 12 weeks. All participants will have the following tests before and after the intervention and 3 months after the end of the program: spirometry (FVC, FEV1), PImax, biophotogrammetry, and fit 30/15 test. For the statistical analysis, a 2-factor variance analysis will be performed for repeated measures and Pearson's correlations. The statistical significance will be set with a value of $p < 0.05$. The effect size will be calculated using the partial eta-square.

Conditions

Conditions: Breathing Exercises: Inspiratory Muscle Training

Keywords:

Study Design

Study Type: Interventional

Primary Purpose: Treatment

Study Phase: N/A

Interventional Study Model: Parallel Assignment

Participants will be randomized into two groups: experimental (G-IMT) and sham (Gn-IMT). The two groups will perform a protocol of 12 weeks of training (4 days / week) with the PowerBreathe

Number of Arms: 2

Masking: Double (Participant, Outcomes Assessor)

Allocation: Randomized

Enrollment: 22 [Anticipated]

Arms and Interventions

Arms	Assigned Interventions
<p>Experimental: G-IMT The experimental group will first carry out a diaphragmatic reeducation program, followed a posteriori by an inspiratory muscle training program use progressive resistance loads up to 80% of the P_{lmax} during the 12 weeks</p>	<p>Device: Inspiratory muscle training The inspiratory muscle training program will be of the "strength and endurance" type, using the POWERbreathe® device and composed of: daily sessions (3 sets of 15 repetitions -inspiration), 4 days a week for 12 weeks. Participants will begin training breathing with a resistance of 20% of their P_{lmax} during the first week. After the first week, the resistance will increase between 5% and 10% in each session until reaching 80% of the P_{lmax}, which will be maintained during the first month. Upon completion, the P_{lmax} value will be re-evaluated and the player will train 80% of this new value during the second month. At the end of the second month, the P_{lmax} is evaluated and the player will train the third month with a resistance of 80% of this new value.</p> <p>Other Names:</p> <ul style="list-style-type: none"> • G-IMT
<p>Placebo Comparator: Gn-IMT The Gn-IMT will use by an inspiratory muscle training program use resistance loads up to 10% P_{lmax} during the 12 weeks.</p>	<p>Device: Inspiratory muscle training The inspiratory muscle training program will be of the "strength and endurance" type, using the POWERbreathe® device and composed of: daily sessions (3 sets of 15 repetitions -inspiration), 4 days a week for 12 weeks. Participants will begin training breathing with a resistance of 20% of their P_{lmax} during the first week. After the first week, the resistance will increase between 5% and 10% in each session until reaching 80% of the P_{lmax}, which will be maintained during the first month. Upon completion, the P_{lmax} value will be re-evaluated and the player will train 80% of this new value during the second month. At the end of the second month, the P_{lmax} is evaluated and the player will train the third month with a resistance of 80% of this new value.</p> <p>Other Names:</p> <ul style="list-style-type: none"> • G-IMT

Outcome Measures

Primary Outcome Measure:

1. RESPIRATORY CAPACITY

The variable P_{lmax} will be measured through spirometry whose value will be expressed in cm / H₂O

[Time Frame: 1 week]

Secondary Outcome Measure:

2. Biofotogrametry

Biofotogrametry is a tool used to measure the thoracic expansion, the respiratory pattern and its cadence; by recording a video of the breathing pattern that observes the pre- and post-breathing of the subjects.

The unit of measurement in which the results are expressed for the variable thoracic extension will be in cm, and for the respiratory pattern and its percentage cadence (%).

[Time Frame: 1 week]

3. Sports performance

The performance variable will be evaluated using the "fit" 30/15 test, a tool used in athletes to determine the maximum intermittent aerobic speed (VO2max); the results of this test allow later to plan the specific training protocol of the sports team.

[Time Frame: 1 week]

4. Lactate in blood

The amount of blood lactate will be measured after inspiratory muscle training with a lactate meter, its results will be expressed in the unit of measure mg / dL.

[Time Frame: 1 week]

Eligibility

Minimum Age: 18 Years

Maximum Age: 22 Years

Sex: Male

Gender Based: Yes

Male soccer players

Accepts Healthy Volunteers: Yes

Criteria: Inclusion Criteria:

- Soccer players

Exclusion Criteria:

- Soccer players with disabilities

Contacts/Locations

Central Contact Person: Martha C León Garzón, Therapy
Telephone: 968278806 Ext. 806
Email: mcleon@ucam.edu

Central Contact Backup: Felipe León Morillas, Therapy
Telephone: 968278806 Ext. 806
Email: fleon@ucam.edu

Study Officials: Martha C León Garzón, Therapy
Study Principal Investigator
Catholic university San Antonio of Murcia

Locations: **Spain**

Mayayo Sports Center

[Recruiting]

Murcia, Spain, 30835

Contact: Martha C León Garzón, Therapy 968278806 Ext. 806
mcleon@ucam.edu

Contact: Felipe León Morillas, Therapy 968278806 Ext. 806
fleon@ucam.edu

Principal Investigator: Martha C León Garzón, Therapy

Sub-Investigator: Felipe León Morillas, Therapy

Sub-Investigator: Silvana L De Oliveira Sousa, Therapy

Sub-Investigator: Javier Reina Abellán, Therapy

catholic university san antonio of murcia
[Not yet recruiting]
Murcia, Spain, 30107
Contact: UCAM 968278806 Ext. 806 gifiscar@gmail.com
Contact: Martha C León Garzón, Therapy 968278806 Ext. 806
mcleon@ucam.edu

IPDSharing

Plan to Share IPD: No

References

Citations: Ozmen T, Gunes GY, Ucar I, Dogan H, Gafuroglu TU. Effect of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017 May;57(5):507-513. doi: 10.23736/S0022-4707.16.06283-6. Epub 2016 Feb 12. PubMed 28399624

Guy JH, Edwards AM, Deakin GB. Inspiratory muscle training improves exercise tolerance in recreational soccer players without concomitant gain in soccer-specific fitness. *J Strength Cond Res*. 2014 Feb;28(2):483-91. doi: 10.1519/JSC.0b013e31829d24b0. PubMed 23722111

Nicks CR, Morgan DW, Fuller DK, Caputo JL. The influence of respiratory muscle training upon intermittent exercise performance. *Int J Sports Med*. 2009 Jan;30(1):16-21. doi: 10.1055/s-2008-1038794. Epub 2008 Oct 30. PubMed 18975258

Links:

Available IPD/Information:

ANEXO III



CONSENTIMIENTO INFORMADO

El grupo de investigación en Fisioterapia Vascular y Cardiorespiratoria (GIFISCAR), informa a D./Dña de la existencia de un proyecto de investigación sobre el entrenamiento de la musculatura respiratoria en futbolistas, para el cual *pide su participación*.

Este proyecto está subvencionado por el plan propio de investigación de la UCAM (PMAFI 12-18) y por lo tanto ha sido aprobado por el comité de Ética de la Universidad.

Uno de los objetivos de este proyecto es analizar la relación entre la fuerza muscular respiratoria, la función pulmonar y el equilibrio postural en sujetos sanos (estudiantes universitarios) y comparar con jugadores de fútbol profesional.

El estudio *no supone ningún riesgo conocido* para los participantes en el mismo y los beneficios se trasladan a la comunidad científica en profundizar el conocimiento de la relación entre la fuerza de la musculatura respiratoria y el equilibrio postural.

Los responsables del estudio son docentes e investigadores de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM) y la Universidad Miguel Hernández (UMH). El equipo investigador garantiza la confidencialidad respecto a la identidad del participante y los resultados derivados de la investigación serán utilizados para los fines descritos y no otros.

He sido informado de la naturaleza del estudio que se resume en esta hoja, he podido hacer preguntas que aclaran mis dudas y finalmente he tomado la decisión de participar, sabiendo que la decisión no afecta a mi entrenamiento habitual y que me puedo retirar del estudio en cualquier momento.

	Nombre y Apellido	Fecha	Firma
Participante:			
Investigador:			

ANEXO IV

PROYECTO PMAFI-12/16



Código: _____



Efectos del entrenamiento específico de la musculatura respiratoria sobre la función pulmonar y fuerza muscular inspiratoria y el rendimiento deportivo en jugadores del equipo masculino de fútbol de la categoría sub-23 de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)

HOJA DE RECOGIDA DE DATOS

PARTE 1. DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS

Datos de afiliación

Nombre:

Género: M F Edad:años.Nivel de estudios: Primaria Secundaria Bachillerato Universitaria Estado civil: Soltero Casado/Pareja Divorciado/separado Viudo Ocupación: Estudia Estudia/Trabaja Parado Jubilado

Profesión:

Morfotipo: Ectomorfo Mesomorfo Endomorfo

Raza:

Peso: Kg. Talla:cm.

Antecedentes clínicosPatología infantil a nivel respiratorio: Si Cuál?:..... NoCirugías previas: Si Cuál?:..... No Material de osteosíntesis: Si Dónde?:.....No Fumador: Si Cuántos cigarrillos fumas diariamente? No Exfumador: Si No Toma algún medicamento o fármaco?: Si No

Nombre medicamento	Dosis	Tiempo

PROYECTO PMAFI-12/16



Código: _____

**Antecedentes clínicos:**Cardiopatía Neumopatía Neurológica Otra ¿Ha realizado alguna vez entrenamiento respiratorio?: Si No ¿Desde qué edad juega al fútbol?: 4-5 años 6-7 años 8-9 años 10-11 años 12-13 años 14-15 años 16-17 años ¿Qué posición tiene dentro del equipo?: Portero Lateral izquierdo Lateral Derecho Central Medio centro Delantero centro Extremo Derecho Extremo Izquierdo Otro , Cuál?.....Durante la temporada de competición, ¿cuántos partidos ha participado?: 1-5 6-10 11-15 16-20 .¿Desde que empezó la temporada participa usted durante todo el partido?: Si Menos de 45 minutos Más de 45 minutos . No ¿Realiza otro tipo de deporte a parte del fútbol?: Si No Cuál?.....**Dinamometría:**Lado dominante: Derecho Izquierdo Ambidiestro

	Pierna Derecha	Pierna Izquierda
Maniobra 1		
Maniobra 2		
Maniobra 3		

Patrón respiratorio: Torácico Abdominal .

PROYECTO PMAFI-12/16



Código: _____



PARTE 2. FISIOTERAPIA

Nombre del paciente:.....

Disnea:

- | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Grado 0: ausencia de disnea
<input type="checkbox"/> Grado 1: disnea a los dos pisos
<input type="checkbox"/> Grado 2: disnea a un piso o en marcha rápida
<input type="checkbox"/> Grado 3: disnea en marcha sobre terreno llano
<input type="checkbox"/> Grado 4: disnea en marcha lenta
<input type="checkbox"/> Grado 5: disnea ante un esfuerzo mínimo (hablar, vestirse, lavarse) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Valoración pre-intervención: _____

Valoración post-intervención: _____

Valoración a los 3 meses: _____

Espirometría (Anexar hojas)

1. Pre-intervención

2. Post-intervención

3. Tres meses finalizado

PROYECTO PMAFI-12/16

Código: _____



Examinador: _____	Examinador: _____	Examinador: _____

Presiones respiratorias máximas**1. Pre-intervención**

PIM (cmH ₂ O)			PEM (cmH ₂ O)			15% PIM	60% PIM
1ª medida	2ª medida	3ª medida	1ª medida	2ª medida	3ª medida		

Examinador: _____ Fecha: ____/____/____

2. Al finalizar 1º mes

PIM (cmH ₂ O)			PEM (cmH ₂ O)			60% PIM
1ª medida	2ª medida	3ª medida	1ª medida	2ª medida	3ª medida	

Examinador: _____ Fecha: ____/____/____

PROYECTO PMAFI-12/16

Código: _____



3. Al finalizar 2º mes

PIM (cmH ₂ O)			PEM (cmH ₂ O)			60% PIM
1ª medida	2ª medida	3ª medida	1ª medida	2ª medida	3ª medida	

Examinador: _____ Fecha: ____ / ____ / ____

4. Post-intervención (Al finalizar 3º mes)

PIM (cmH ₂ O)			PEM (cmH ₂ O)		
1ª medida	2ª medida	3ª medida	1ª medida	2ª medida	3ª medida

Examinador: _____ Fecha: ____ / ____ / ____

5. A los tres meses tras finalización del programa

PIM (cmH ₂ O)			PEM (cmH ₂ O)		
1ª medida	2ª medida	3ª medida	1ª medida	2ª medida	3ª medida

Examinador: _____ Fecha: ____ / ____ / ____

