



**Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Carrera de Medicina**

**Año 2023
Trabajo Final de Carrera (Tesis)**

**LA FUNCION DE LOS MÚSCULOS
RESPIRATORIOS DURANTE LA
VENTILACIÓN ESPONTANEA EN EL ADULTO
SANO. REVISIÓN SISTEMÁTICA**

Año: 2023

**FUNCTION OF THE RESPIRATORY
MUSCLES DURING SPONTANEOUS
VENTILATION IN THE HEALTHY ADULTS**

Year: 2023

Alumno:

López Arias Mayra Belén

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3660-1399>

MayraBelen.Lopez.Arias@alumnos.uai.edu.ar (Debe ser correo institucional UAI)

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universidad Abierta Interamericana

Tutor:

Gustavo A. Plotnikow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0115-870X>

Gustavoadrian.plotnikow@uai.edu.ar (Debe ser correo institucional UAI o personal del tutor)

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Universidad Abierta Interamericana

La función de los músculos respiratorios durante la ventilación espontánea en el adulto sano. Revisión sistemática.

Año: 2023

Function of the respiratory muscles during spontaneous ventilation in the healthy adult. Systematic review

Year: 2023

Autores: López Arias Mayra, 2 °Tutor: Plotnikow G.

Resumen

Introducción: El sistema respiratorio es el responsable de la respiración, es decir, ingreso de O₂ a los pulmones y eliminación de CO₂. Para llevar a cabo este proceso, se necesita, de un grupo de músculos respiratorios para que lleve a cabo la función de inspiración y espiración, dichos músculos son: Diafragma como principal músculo respiratorio, le siguen, músculos intercostales externos e internos, músculos accesorios (escalenos-esternocleidomastoideo) y músculos abdominales. Cuyos efectos fisiológicos son movilizar el volumen de aire, intercambio gaseoso y aportar oxígeno a los diferentes tejidos. **Material y métodos:** Revisión sistemática a partir de una búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos, PUBMED, el cual me redirigió a sciencedirect, y google académico. Utilizando los términos MESH: Respiratory muscles, Intercostal muscle, Diaphragmatic muscle, Respiratory system. Se utilizó la opción de filtros, la cual se excluyó por "antigüedad de 10 años", "personas adultas no pediátricos", "edad de 18 años o más". **Resultados:** El sistema respiratorio, es esencial para una buena ventilación espontánea, para realizar dicha función, cada músculo que participa en la respiración, debe trabajar de manera adecuada, desde el momento que ingresa el O₂ y el egreso de CO₂., a su vez el grupo de músculos inspiratorios cumple la función de contracción, para que se expanda la caja torácica y así mantener las diferencias de presiones, tanto la negativa como el ingreso de aire por diferentes presiones. **Conclusión:** La utilización de cada uno de los músculos respiratorios, logra diferentes efectos fisiológicos, los cuales pueden trabajar individualmente o combinados con otros músculos, por ende, la interrelación de su estructura y su función, son las que permiten que este objetivo se cumpla.

Palabras Clave: Respiratory muscles, Diaphragmatic muscle, Intercostal muscles, Respiratory System, Respiratory physiology.

Abstract

Background: The respiratory system is responsible for breathing, that is, the entrance of O₂ into the lungs and the elimination of CO₂. To carry out this process, a group of respiratory muscles is needed to carry out the function of inspiration and expiration, these muscles are: Diaphragm as the main respiratory muscle, followed by external and internal intercostal muscles, accessory muscles (scalene-sternocleidomastoid) and abdominal muscles. Whose physiological effects are to mobilize the air volume, gas exchange and provide oxygen to the different tissues.

Material and methods: Systematic review based on a literature search in the following databases, PUBMED, which redirected me to sciencedirect, and google academic. Using the terms MESH: Respiratory muscles, Intercostal muscle, Diaphragmatic muscle, Respiratory system. The filter option was used, which was excluded by "age 10 years", "non-pediatric adults", "age 18 years or older". **Results:** The respiratory system is essential for a good spontaneous ventilation, to perform this function, each muscle involved in breathing, must work properly, from the time that O₂ enters and CO₂ exits, in turn the inspiratory muscle group performs the function of contraction, to expand the rib cage and thus maintain the pressure differences, both negative and the entry of air by different pressures.. **Conclusion:** The use of each of the respiratory muscles achieves different physiological effects, which can work individually or combined with other muscles, therefore, the interrelation of their structure and function, are the ones that allow this objective to be fulfilled.

Keywords: Respiratory muscles, Diaphragmatic muscle, Intercostal muscles, Respiratory System, Respiratory physiology.

INTRODUCCIÓN

Como sabemos, el Sistema Respiratorio, tiene como principal función la de incorporar O₂ y eliminar CO₂.

La manera de llevar este proceso, es la siguiente: el aire que contiene el oxígeno entra al cuerpo a través de la nariz y la boca. De ahí atraviesa la faringe en su camino hacia la tráquea. La tráquea se divide en dos vías aéreas principales llamadas bronquios, los cuales llegan a los pulmones (izquierdo y derecho respectivamente). Los bronquios, se subdividen formando bronquios más pequeños, quienes a su vez se vuelven a ramificar formando bronquiolos. Estos bronquios y bronquiolos se denominan el Árbol bronquial. Tras aproximadamente 23 divisiones, los bronquiolos terminan en los conductos alveolares. Al final de cada conducto alveolar, se encuentran cúmulos de alveolos (sacos alveolares). El oxígeno conducido a través del sistema respiratorio es finalmente transportado al torrente sanguíneo a nivel de los alveolos. Los vasos sanguíneos del sistema de la arteria pulmonar acompañan a los bronquios y a los bronquiolos. Estos vasos sanguíneos también se ramifican en unidades cada vez más pequeñas hasta terminar en capilares, los cuales se encuentran en contacto directo con los alveolos. El intercambio gaseoso sucede a través de esta membrana alveolar-capilar cuando el oxígeno se desplaza hacia adentro y el dióxido se desplaza hacia afuera del torrente sanguíneo. [1] (Figura 1)

Por lo tanto, ya explicado cómo se incorpora el oxígeno al organismo, decimos que en este sistema se incluye, la nariz,

la cavidad oral, la faringe, la tráquea, el árbol bronquial, los pulmones y los músculos respiratorios.

Entendiendo así, la primera parte y básica del sistema respiratorio, se pretende realizar una revisión sistemática actualizada sobre los músculos respiratorios que intervienen en el proceso de la respiración, ya sea, su anatomía y efectos fisiológicos relacionados al mismo, con el fin de facilitar la interpretación fisiológica normal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica formulada para la base de datos Pubmed y adaptada para google académico, utilizando los siguientes términos MESH: Respiratory muscle, respiratory system, acotando resultados a las publicaciones realizadas desde 2013 (inclusive), hasta la actualidad.

La mejor combinación de términos que arrojó mejores resultados, fueron los dichos anteriormente combinados con operadores booleanos "AND", "NOT" y además para la búsqueda combine palabras claves como: Respiratory muscles, Intercostal muscle, Diaphragmatic muscle, Respiratory system, Respiration. Se restringió la búsqueda por "edad de 18 años o más", "límite de antigüedad de 10 años" y se excluyeron los artículos pediátricos y los relacionados con el covid 19.

Concretamente, se obtuvieron 50 artículos, se seleccionaron 15 artículos, según el título y lectura del

resumen e introducción. Luego de una lectura exhaustiva, obtuve 7 artículos e incorpore un par de capítulos de libros, los cuales utilice para refinar términos de anatomía específicos de dicho tema, los cuales serán mencionados en esta revisión.

DESARROLLO

En los últimos 10 años, se evidencia la importancia de los músculos respiratorios y los órganos que trabajan en conjunto para que dicho sistema tenga un adecuado funcionamiento en cada individuo.

Es de conocimiento que ante un proceso patológico o factores de riesgo, todo este grupo, ya sea de los músculos respiratorios o los órganos que participan en el ingreso de O₂ pueden fallar y conlleva a diferentes patologías como por ejemplo la insuficiencia respiratoria.

En dicha situación, la eficacia del sistema depende en gran parte de cuanto O₂ ingresa, si los órganos que participan en dicha entrada de aire actúan eficazmente y principalmente que los músculos respiratorios trabajen fisiológicamente normal.

Cuando hablamos de músculos respiratorios, hay que tener en cuenta que tienen similares propiedades estructurales y funcionales básicas que los músculos estriados. Por lo tanto, decimos que el sarcómero es la unidad organizativa fundamental de los músculos estriados y las proteínas sarcoméricas son la base de las propiedades mecánicas pasivas y activas de las fibras musculares. Dentro del sarcómero, la interacción entre los filamentos gruesos y delgados al nivel de los puentes cruzados proporciona la unidad elemental de generación de fuerza y contracción. [2] Estos músculos actúan de diferentes maneras:

1-Contrayéndose para hacer un movimiento respiratorio. Es lo que llamamos una contracción concéntrica. Por ejemplo: la contracción del pectoral mayor eleva las costillas y hace una inspiración costal anterior.

2-Contrayéndose para mantener una posición respiratoria. Por ejemplo: después de una espiración profunda, para mantener una apnea de VRE (volumen de reserva espiratorio), los músculos abdominales permanecen contraídos.

3- Contrayéndose para retener un movimiento respiratorio. Por ejemplo: después de una gran inspiración (VRI), queremos espirar lentamente. Para eso, retenemos el elástico pulmonar con una contracción "frenadora" de los pectorales mayores. [3]

Todas estas funciones, nos lleva a que los músculos respiratorios son necesarios para la ventilación pulmonar y para mantener la permeabilidad de las vías respiratorias superiores.

Cuando hablamos de ventilación, nos referimos al movimiento de aire hacia adentro y hacia afuera del pulmón y que la contracción de los músculos inspiratorios hagan que se expanda la caja torácica, generando presión negativa y el ingreso de aire por diferencia de presiones y cuando se habla de vías respiratorias superiores, nos

referimos a la nariz, la cavidad nasal, la boca, la garganta (faringe) y la laringe.

A partir del análisis de artículos actualizados, en los últimos 10 años, cabe determinar que existen, como dijimos anteriormente, un grupo de músculos respiratorios importantes, que tanto individualmente como en conjunto, contribuyen a una buena mecánica ventilatoria, entre ellos:

1. **Diafragma**
2. **Intercostales**
3. **Escalenos y esternocleidomastoideos**
4. **Músculos abdominales**

Cabe destacar la importancia de la caja torácica, la cual es la formación osteocartilaginosa que contiene a los pulmones, el corazón, y los demás órganos mediastinales. La misma está formada:

-En la línea media posterior, por las doce vertebrae torácicas.

-En la línea mediana anterior, por un hueso único: el esternón.

-Lateralmente, por veinticuatro arcos (doce de cada lado) formados por las costillas y los cartílagos costales correspondientes. [4]

Una vez explicado a que se denomina la caja torácica y la anatomía de la misma, decimos que es importante en el sistema respiratorio, porque tiene dos compartimentos dispuestos de manera paralela: el de la parrilla costal y el abdomen, separados por una estructura delgada musculotendinosa, el diafragma, musculo más importante de la respiración. La disposición de estos dos compartimentos, posee una importante consecuencia mecánica, ya que la expansión de los pulmones puede lograrse, ya sea por la expansión de la caja torácica, del abdomen o de ambos en simultáneo. [1]

1-DIAFRAGMA

Es un músculo plano, ancho y delgado, que forma un tabique entre el tórax y el abdomen. Tiene la forma de una cúpula con convexidad superior, torácica. Se inserta en la circunferencia inferior del tórax y esta escotado atrás por la saliente de la columna vertebral toracolumbar. Presenta en su centro una formación tendinosa, el centro tendinoso. El músculo es atravesado por numerosos órganos que pasan del tórax al abdomen y viceversa. [4]

El diafragma es el principal músculo respiratorio y la contracción de dicho musculo es vital para la ventilación, por lo que cualquier enfermedad que interfiera con la innervación diafragmática, la función de los músculos contráctiles o el acoplamiento mecánico a la pared torácica puede causar disfunción del diafragma. Ese músculo separa la cavidad torácica de la cavidad abdominal, y esta innervado por los nervios frénicos (PN) que surgen de las raíces nerviosas C₃-C₅. Durante la inspiración tranquila, la forma de cúpula del diafragma cambia muy poco y la acción muscular provoca un acortamiento de la zona de aposición (área en la que la caja torácica inferior y el diafragma están en contacto directo) que hace que el diafragma se mueva caudalmente como pistón, lo que aumenta la presión

abdominal y disminuye la presión pleural. Este último se transmite al pulmón, provocando su insuflación, y a la pared costal, que tendera a colapsarse. Esta acción es compensada por un aumento de la presión abdominal, que hace que la caja torácica se expanda en la zona de aposición, y la contracción del diafragma en las costillas inferiores, que también abre la caja torácica. [5]

Al ser un músculo clave en el proceso de inspiración, se puede medir la fuerza muscular diafragmática. Esta fuerza muscular, puede medirse mediante, la presión transdiafragmática (Pdi), la ventilación voluntaria máxima (VVM) y la presión inspiratoria máxima (PIM), este último es un índice de fuerza del diafragma medido con un manómetro mecánico con válvula cerrada en la boca durante una inspiración. La PIM es un indicador de la fuerza inspiratoria y un determinante de la capacidad vital, la disminución de la misma, puede conducir a una ventilación inadecuada y a una eliminación deficiente de las secreciones de las vías respiratorias. [6]

Este músculo más allá de ser muy importante en el respiratorio, tiene múltiples funciones, las cuales son importantes conocerlas, como la función cardiaca, el retorno venoso y linfático, las funciones gastroesofágicas (èmesis, deglución, vomito), la regulación de los estados emocionales y el umbral del dolor. El diafragma también tiene propiedades relacionadas con el mantenimiento de la estabilidad de la columna lumbar. [7]

(Figura 2)

2-INTERCOSTALES

En cuanto a su anatomía, ocupan el espacio intercostocondral, limitado atrás por la articulación costotransversa, adelante por el esternón (para los seis primeros espacios) y el cartílago costal común (para los cuatro espacios siguientes). Formaciones membranosas limitan por delante de los dos últimos espacios comprendidos debajo de la 10ª costilla relacionados con las costillas flotantes. Para cada espacio, se describen los músculos intercostales externos y los músculos intercostales internos. [4]

Los intercostales externos, se extienden desde los tubérculos de las costillas dorsalmente hasta las uniones costocondrales ventralmente. Las fibras de esta capa están orientadas oblicuamente, en dirección caudal-ventral, desde la costilla superior hasta la costilla inferior. Por el contrario, los intercostales internos, se extienden desde las uniones esternocostales hasta cerca de los tubérculos de las costillas, y sus fibras van en dirección caudal-dorsal desde la costilla de arriba hasta la costilla de abajo.

Las ventajas mecánicas de los intercostales externos e internos dependen en parte de la orientación del musculo, pero principalmente del número de espacios intercostales y de la posición del musculo dentro de cada espacio intercostal. Por lo tanto, los intercostales externos en la porción dorsal de los espacios intermedios rostrales tienen una gran ventaja mecánica inspiratoria, pero esta ventaja disminuye ventral y caudalmente de tal manera que en la porción ventral de los espacios intermedios caudales se invierte en una ventaja mecánica espiratoria. [8]

En definitiva, a volúmenes pulmonares bajos ambos músculos intercostales (externos e internos) cuando se contraen son inspiratorios, y a volúmenes pulmonares altos ambos grupos son espiratorios, es decir, tanto los intercostales externos como los internos actúan de manera individual, pero a su vez actúan de forma similar sobre las costillas que se insertan y además, este efecto tiene relación con cambios en la caja torácica en relación al volumen pulmonar.

3-ESCALENOS Y ESTERNOCLEIDOMASTOIDEO

Tenemos por un lado a los músculos escalenos, donde se encuentran en las caras laterales del cuello, debajo del musculo esternocleidomastoideo. Están dispuestos en forma de escalera y lo forman tres: anterior, medio y posterior, los cuales son el resultado de un mismo musculo que se ha separado en tres fascículos.

Los estudios realizados sobre los escalenos, utilizando electrodos de aguja, demostraron que tienen actividad eléctrica durante la inspiración, incluso durante la respiración tranquila. [1]

Por otro lado tenemos al esternocleidomastoideo, este músculo es muy visible en la parte anterior del cuello. Situado bajo la piel, forma con su musculo simétrico una V que va desde la región de debajo de las orejas hasta la parte alta del esternón. Nace por abajo del esternón y la clavícula sube hacia atrás, franqueando la región del cuello sin insertarse en él. Termina arriba y atrás, en la base del cráneo, con una amplia inserción que se instala sobre la apófisis mastoides y, más hacia atrás, en el occipital. Este músculo, eleva la caja torácica traccionando de ella desde la parte alta del esternón. Contribuye de esta manera a la inspiración muy alta. [3]

Este grupo de músculos son los llamados "músculos accesorios", ya que cumplen un rol determinante, el de estabilizar la caja torácica superior durante la inspiración.

4- MÚSCULOS ABDOMINALES

Los músculos abdominales que están relacionados a la inspiración son:

-Oblicuo externo: Se origina en la cara lateral externa, en el borde inferior de las siete u ocho ultimas costillas, por digitaciones cuyo conjunto dibuja una línea dentada, orientada de arriba hacia abajo, de adelante hacia atrás, y lateralmente, que se entrecruzan con las digitaciones de los músculos serrato anterior y dorsal ancho, abajo. De esta línea de inserción, el musculo oblicuo externo se expande en abanico y se dirige a la vez hacia abajo, adelante y medialmente.

-Oblicuo interno: ocupa el espacio iliocostal, la dirección de las fibras de dicho músculo se cruzan en forma de X con las del músculo oblicuo externo. Sus fibras son oblicuas hacia arriba, adelante y medialmente.

-Transverso: su denominación se debe a la dirección de sus fibras. Se sitúan, arriba y adelante, en la cara medial de las seis últimas costillas, mediante digitaciones que se entrecruzan con las del diafragma. Atrás, en la apófisis transversas o costales de las vértebras lumbares desde la

12ª torácica a la 5ª lumbar por intermedio de una hoja tendinosa. [4]

Estos músculos abdominales, son eléctricamente "silentes" durante la respiración tranquila en posición supina, pero cuando la persona esta erecta poseen actividad tónica (mayor en el abdomen inferior) por lo que este ha sido considerado como músculo enteramente postural. Sin embargo, la contracción activa de los mismos puede tener un rol relevante en las dos fases de la respiración (durante la inspiración y la espiración), lo que demuestra que esta actividad es en gran parte ventilatoria. [1]

Como dijimos, la contracción de los músculos abdominales aumenta la presión abdominal, esto tiende a expandir la caja torácica inferior generando así un movimiento inspiratorio.

Descripto cada función muscular, podemos decir que en la actualidad, se sabe que el control central de la ventilación requiere una sofisticada integración del sistema muscular respiratorio, músculos que a su vez son solicitados como posturales y motores del cuerpo, y a la vez de las respiración.

Otras de las funciones que cabe destacar y que se relaciona con el sistema respiratorio, es la mecánica respiratoria, cuando se habla de la misma, nos enfocamos en la distensibilidad, que es el cambio de volumen en relación con el cambio de presión. La distensibilidad pulmonar determina la velocidad y la fuerza de la espiración y la distensibilidad torácica determina la carga elástica durante la inspiración. [6]

Este concepto descripto, cumple uno de los papeles importantes, tanto a nivel pulmonar como en la pared torácica. Hay que tener en cuenta que con el envejecimiento, se producen cambios estructurales en la caja torácica que provocan una reducción de la distensibilidad de la pared torácica.

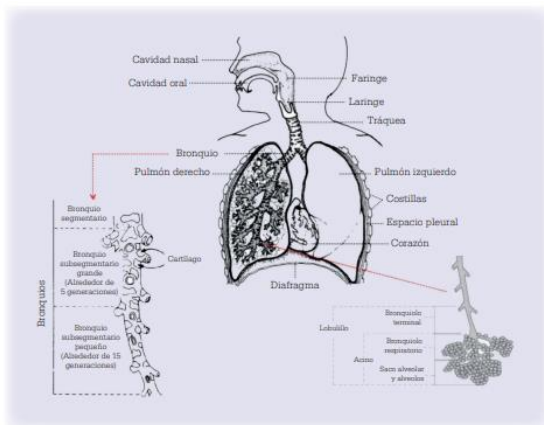


FIGURA 1: DESCRIPCION DEL SISTEMA RESPIRATORIO

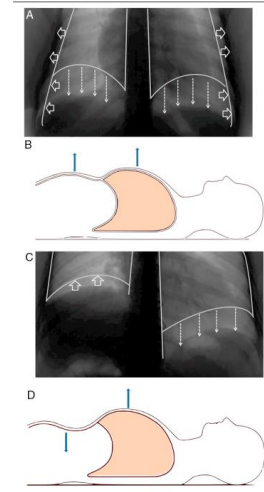


FIGURA 2: A) Contracción normal del diafragma durante la inspiración tranquila: la acción muscular hace que el diafragma se mueva como un pistón en dirección caudal (dirección de las flechas), aumentando así la presión abdominal y disminuyendo la presión pleural. Este último se transmite al pulmón, provocando su insuflación. B) En posición supina, se puede ver que tanto la caja torácica como el abdomen se mueven hacia afuera. C) Cuando hay parálisis del diafragma (lado derecho), la presión intratorácica negativa arrastra el diafragma y las vísceras abdominales hacia el tórax (dirección de las flechas), lo que genera una presión abdominal negativa. D) En decúbito supino, se observa como esta presión abdominal negativa provoca un movimiento paradójico durante la inspiración: el abdomen se desplaza hacia dentro.

CONCLUSIÓN

Los músculos respiratorios, cumplen un papel muy importante tanto actuando individualmente como combinados, y son claves en el proceso respiratorio normal para el ingreso de O₂ y eliminación de CO₂ adecuados. También hay que tener en cuenta que como son indispensables para una correcta mecánica ventilatoria, dichos músculos, ante una elevada carga de trabajo, están expuestos a fatiga, y ante esto, puede estar presente la hipoxemia, la hipercapnia y desencadenar a una insuficiencia respiratoria y justificar, en gran parte, la utilidad del soporte ventilatorio, ya sea ventilación mecánica no invasiva, invasiva u oxigenoterapia a alto flujo.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no presentan conflictos de interés.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anatomía y fisiología del aparato respiratorio. Capítulo 1. Fundación para el desarrollo de la enfermería. Autores: GUSTAVO ADRIÁN PLOTNIKOW EMILIANO GOGNIAT
2. Sieck GC, Ferreira LF, Reid MB, Mantilla CB. Mechanical properties of respiratory muscles. *Compr Physiol.* 2013 Oct; 3(4):1553-67. doi: 10.1002/cphy.c130003. PMID: 24265238; PMCID: PMC3977503.
3. Blandine Calais-Germain La respiración ANATOMÍA PARA EL MOVIMIENTO - TOMO IV (google académico)
4. Anatomía Humana-4TA edición-LA TARJET
5. J. Ricoy, N. Rodríguez-Núñez, J.M. Álvarez-Dobaño, M.E. Toubes, V. Riveiro, L. Valdés, Diaphragmatic dysfunction, *Pulmonology*, Volume 25, Issue 4, 2019, Pages 223-235, ISSN 2531-0437, <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2018.10.008>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2531043718301624>)
6. Sharma G, Goodwin J. Effect of aging on respiratory system physiology and immunology. *Clin Interv Aging.* 2006;1(3):253-60. doi: 10.2147/cia.2006.1.3.253. PMID: 18046878; PMCID: PMC2695176.
7. Kocjan J, Gzik-Zroska B, Nowakowska K, Burkacki M, Suchoń S, Michnik R, Czyżewski D, Adamek M. Impact of diaphragm function parameters on balance maintenance. *PLoS One.* 2018 Dec 28; 13(12):e0208697. doi: 10.1371/journal.pone.0208697. PMID: 30592726; PMCID: PMC6310257
8. De Troyer A, Kirkwood PA, Wilson TA. Respiratory action of the intercostal muscles. *Physiol Rev.* 2005 Apr; 85(2):717-56. doi: 10.1152/physrev.00007.2004. PMID: 15788709.

