

DOI: <https://doi.org/10.5554/22562087.e1070>

Evaluación de la función diafragmática a través de electromiografía de superficie en personas sanas. Estudio observacional de corte transversal

Assessment of diaphragmatic function through surface electromyography in healthy individuals. A cross-section observational study

Claudia-Yaneth Rodríguez-Triviño^a , María Erika Molina-Peña^b , Adrián Mauricio Zamora^b, Camila del Mar Sánchez-Sánchez^b ^aFacultad de Salud, Universidad del Valle. Cali, Colombia.^bFacultad de Ciencias de la Salud, Fundación Universitaria Navarra. Neiva, Colombia.**Correspondencia:** Facultad de Salud, Universidad del Valle, calle 13 No. 100-00. Cali, Colombia.**E-mail:** claudia.yaneth.rodriguez@correounivalle.edu.co

Resumen

¿Qué sabemos acerca de este problema?

La EMG es un procedimiento no invasivo, sencillo y con potencial de alta sensibilidad, no causa dolor y reduce las posibles complicaciones invasivas, por lo que favorecería el bienestar, la comodidad y la costo-efectividad en la atención de los pacientes con alteraciones respiratorias comparado con otros métodos.

Sin embargo, los valores de referencia y las técnicas de captura de datos y los equipos para este fin aún no son comparables entre ellos.

¿Qué aporta este estudio de nuevo?

Este estudio realiza una exploración inicial de la función diafragmática con EMGs, en personas sanas, para aportar a la estandarización de los métodos y los valores fisiológicos para esta variable.

¿Cómo citar este artículo?

Rodríguez-Triviño CY, Molina-Peña ME, Zamora AM, Sánchez-Sánchez CdM. Assessment of diaphragmatic function through surface electromyography in healthy individuals. A cross-section observational study. Colombian Journal of Anesthesiology. 2023;51:e1070.

Introducción: La electromiografía de superficie diafragmática es un procedimiento para la evaluación diafragmática. Los valores fisiológicos de la actividad eléctrica tendrían aplicaciones potenciales en rehabilitación, entrenamiento deportivo, en el retiro ventilatorio en unidades de cuidado crítico y en el seguimiento a patologías respiratorias.

Objetivo: Evaluar y describir la función diafragmática a través de electromiografía de superficie diafragmática en una población de sujetos durante la respiración espontánea y la respiración forzada.

Métodos: Estudio observacional exploratorio de corte transversal en el que se incluyeron sujetos sin comorbilidades. Se realizó electromiografía de superficie diafragmática midiendo la raíz cuadrática media durante respiraciones de volumen corriente y capacidad vital. Adicionalmente, se valoró la composición corporal de los participantes.

Resultados: Se incluyeron 28 hombres y 22 mujeres. La raíz cuadrática media de volumen corriente por dos minutos fue de 13,94 μ V para mujeres y 13,31 μ V para hombres, mientras que la capacidad vital fue 23,24 μ V para hombres y 22,4 μ V para mujeres. Se encontró una correlación entre la raíz cuadrática media, el peso y la superficie corporal.

Conclusiones: Se han documentado los valores de la raíz cuadrática media de volumen corriente por dos minutos en mujeres y hombres sanos. Los valores de la raíz cuadrática media se correlacionan con características fisiológicas y funcionales de los participantes.

Palabras clave: Diafragma; Electromiografía; Electromiografía de superficie; Anestesiología; Anestesia.

Abstract

Introduction: Diaphragmatic surface electromyography is a procedure designed to assess the diaphragm. The physiological values of the electrical activity may have potential use in rehabilitation, sports training, ventilatory support withdrawal in critical care units and follow-up of respiratory disease.

Objective: To assess and describe the diaphragmatic function through surface electromyography in a population of individuals during spontaneous and forced breathing.

Methods: Observational, exploratory cross-sectional study including subjects with no comorbidities. Diaphragmatic surface EMG was performed measuring the mean quadratic root during tidal volume and vital capacity breathing. The body composition of the participants was also assessed.

Results: 28 males and 22 females were included in the study. The mean quadratic root of the tidal volume for two minutes was 13.94 μV for females and 13.31 μV for males. The vital capacity was 23.24 μV for males and 22.4 μV for females. A correlation was identified between the mean quadratic root, weight, and body surface.

Conclusions: Mean quadratic root values of tidal volume in two minutes in healthy females and males have been documented. The mean quadratic root values are correlated with the physiological and functional characteristics of the participants.

Keywords: Diaphragm; Electromyography; Surface electromyography; Anesthesiology; Anesthesia.

INTRODUCCIÓN

El diafragma es el principal músculo inspiratorio (1,2) y su función está implicada en la modulación de presión intraabdominal, la estabilidad postural, la función cardíaca, el flujo linfático, el proceso de parto, la deglución y la emesis, y sirve de barrera contra el reflujo gastroesofágico, entre otros procesos fisiológicos (1). La evaluación de este músculo tiene importancia desde el punto de vista clínico, dado que muchas patologías causan debilidad, parálisis y fatiga del diafragma, que podrían ser irreversibles (3). Las alteraciones más comunes son la disfunción diafragmática, la parálisis diafragmática, o cambios estructurales como agenesia congénita, duplicación congénita, eventración, hernia diafragmática, entre otros (3,4).

La evaluación diafragmática se puede realizar con métodos invasivos, no invasivos y marcadores biológicos (5-8). Estos métodos podrían tener utilidad para predecir la función respiratoria, como coadyuvantes en el proceso de retiro de la asistencia ventilatoria mecánica o en rehabilitación cardiopulmonar. Entre los métodos más conocidos se encuentran la excursión diafragmática (8), la estimación de la presión transdiafragmática con globos esofágicos y

gástricos (5), la ecografía transdiafragmática (9) y la medición de troponina I esquelética (sTnl) (8); sin embargo, muchos de ellos son invasivos, dolorosos y otros son observador dependiente.

Por su parte, la electromiografía de superficie diafragmática (EMG) es un procedimiento no invasivo, sencillo y con un potencial de alta sensibilidad (10), no causa dolor y reduce las posibles complicaciones invasivas. Podría fomentar el bienestar, la comodidad y la costo-efectividad en la atención de los pacientes, comparado con otros métodos, si logra ser estandarizado adecuadamente. Sin embargo, no hay datos precisos ni en personas sanas ni con patologías respiratorias para determinar valores de referencia y aún la técnica de captación de datos y los equipos para este fin no son comparables entre ellos (8,11). Es necesario crear una base de estudios fisiológicos exploratorios y longitudinales, entre otros diseños, en diferentes grupos de personas según su edad, condiciones respiratorias y físicas. El objetivo inicial es generar parámetros que sean base para estudios subsecuentes, sobre todo para el ajuste de la técnica y de los monitores para captar las señales, y para los procedimientos de filtrado de las señales electrofisiológicas cardíacas. Por esta razón, en este estudio se

realiza una exploración inicial en personas sanas (12).

El objetivo del estudio fue evaluar y describir la función diafragmática mediante EMG en una población de personas sanas de 18 a 40 años, según sus características físicas como edad, sexo y algunas variables antropométricas, para aportar a la estandarización de los métodos y los valores fisiológicos para esta variable.

MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional, de tipo exploratorio y corte transversal en personas sin comorbilidades y edades entre 18 y 40 años (4,13). El rango de edad se eligió teniendo en cuenta los hallazgos de varios autores, quienes encontraron que en promedio los procesos de sarcopenia inician a partir de los 40 años (4,14,15).

La muestra fue de 50 individuos, la cual se calculó con una fórmula de intervalos de confianza para medias con base en la desviación estándar obtenida en el estudio de Oliveira da Silva et al., quienes encontraron una raíz cuadrática media (RMS) $\text{SD} = 17,88 \mu\text{V}$ de la RMS (μV) para sujetos sanos en el programa Epidat 3.1 (16). Se excluyeron personas que tuvieran alguna contraindicación

para la realización de EMG, portadores de marcapasos o cardiodesfibrilador, con antecedentes de cirugías recientes o lesiones diafragmáticas, que hayan recibido ventilación mecánica en las últimas 48 horas en cualquier modalidad, antecedentes de consumo de corticoides o relajantes musculares en las últimas dos semanas y personas con patologías de base que pudieran interferir con los resultados de tipo neurológico, musculoesquelético, neuromuscular, respiratorias y cardiovasculares.

Este proyecto fue evaluado y aprobado por el comité de ética de la institución Fundación Universitaria Navarra en el acta 007-1, del 4 de junio del 2020, y todos los participantes firmaron un consentimiento informado previa inclusión al estudio.

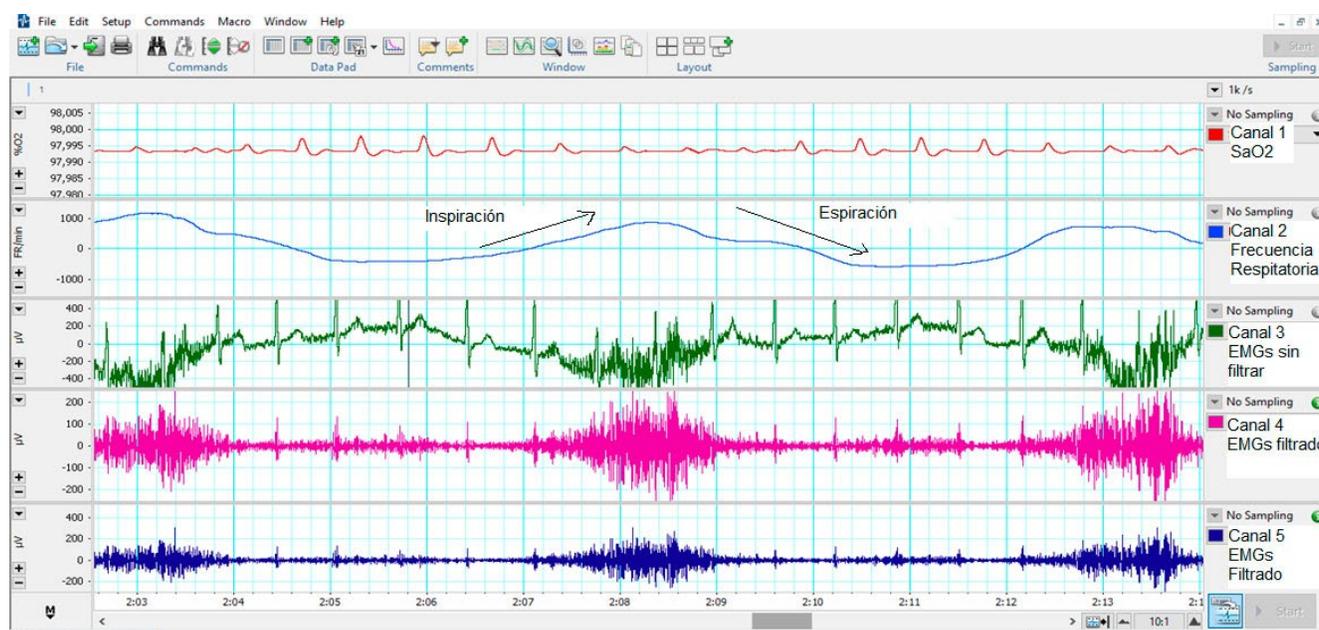
La medición de los potenciales eléctricos originados a partir de la contracción muscular se realizó mediante EMG (10). Se registraron los potenciales de acción de unidad motora, junto con la frecuencia o variaciones de presión por unidad de tiempo (1 segundo) en la señal de la EMG que oscila entre 2-500 Hz, así como las variaciones

de la amplitud, equivalente a los cambios de energía de la señal generada durante el paso de una onda que están alrededor de 2,1 microvoltios (μV) para grandes músculos, con una frecuencia de 500 Hz y amplitud de señal de sensibilidad de 500 μV para diafragma y una frecuencia de 300 Hz y amplitud de señal de sensibilidad de 300 μV para otros músculos, como los abdominales (17-20). El circuito electrónico medido fue evaluado en un computador portátil, para el registro de la EMG se utilizó el hardware Power Lab® y el software Labchart® con los números registrados que representan el RMS (16).

Se pidió a los voluntarios mantenerse en posición supina con una elevación de cabecera de 35° y la disposición de electrodos fue de matriz/línea (3M®), dos electrodos adhesivos en la región paraxifoidea, 5 cm por debajo del proceso xifoides, y otros dos en la región del margen costal bilateral a una distancia de 16 cm entre ellos (10). Posteriormente, se posicionó la banda respiratoria aproximadamente sobre el sexto espacio intercostal, para el registro de la

frecuencia y profundidad de las ventilaciones. Con base en el protocolo de manejo del equipo se inició el registro en 5 canales del Labchart® (Figura 1): en el canal 1 se registró la saturación de oxígeno; en el canal 2, los movimientos respiratorios que fueron medidos a través de la banda respiratoria; en el canal 3 se registró toda la señal eléctrica del tórax, tanto las señales de la actividad respiratoria, como de la actividad cardiaca; en el canal 4 se realizó el primer trazado filtrado de la actividad eléctrica del diafragma y músculos respiratorios con un filtro tipo Notch de 1200 Hz, y en el canal 5 se filtró el canal 4 con un filtro de banda 500 Hz. Se filtraron las señales de tal modo que la actividad respiratoria fuera la dominante para lograr su estudio, minimizando al máximo la onda de la actividad cardiaca, manejando los cortes de alta y baja frecuencia expresados en Hz. A continuación, se le indicó al participante respirar durante 2 minutos de manera habitual, con el fin de tener el registro del volumen corriente; posteriormente, se le solicitó realizar 3 inspiraciones y espiraciones forzadas (Figura 1).

Figura 1. Valores y canales de medición de la electromiografía de superficie diafragmática de capacidad vital y volumen corriente.



Canal 1: SaO₂ de los participantes. Canal 2: Registro de la banda respiratoria posicionada en el tórax. Canal 3: Actividad eléctrica del diafragma, otros músculos respiratorios y del corazón durante tres ciclos de respiración forzada. Canal 4: Primer trazado es el filtrado de la actividad eléctrica del diafragma y músculos respiratorios con un filtro tipo Notch de 1200 Hz. Canal 5: Filtra el canal 4 con un filtro de banda 500 Hz.

Fuente: Autores.

Análisis estadístico

Las variables discretas o nominales se expresaron en frecuencias y proporciones. Para las variables continuas se utilizaron medidas de tendencia central y dispersión y se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar el comportamiento de las variables continuas. Se realizaron medidas de correlación (coeficiente de Spearman para determinar la correlación de las variables de interés). La prueba estadística utilizada para analizar las diferencias de medias fue la U de Mann-Whitney y para diferencias de proporciones la prueba de Fisher. En todos los análisis se aceptó un nivel de significación del 5 % ($\alpha = 0,05$) y se describieron las diferencias junto con intervalos de confianza al 95 %. El análisis estadístico fue realizado con el software epi R.

RESULTADOS

En este estudio se incluyeron 50 participantes: 22 mujeres (44 %) y 28 hombres (56 %), con una edad promedio de 23,3 años, (DS \pm 4,5), y 27,1 años para los hombres (DS \pm 6,4) (Tabla 1). El promedio del peso en mujeres fue de 59,3 kg (DS \pm 11,39), y el de los hombres en 82,3 kg (DS \pm 16,1). Los detalles acerca de las características de los participantes se presentan en la Tabla 1.

La RSM para mujeres fue de 13,94 μ V (DS \pm 4,05 μ V). Para los hombres se obtuvo un valor medio de 13,31 μ V (DS \pm 5,48 μ V) (Tabla 2).

En la medición de la RMS durante tres respiraciones seguidas de capacidad vital se obtuvieron valores mayores para el grupo de los hombres 23,24 μ V (DS \pm 8,58). También se compararon variables antropométricas como talla, peso e IMC, entre otras características de los individuos, como edad y superficie corporal total (SCT) con la RMS a VT, CV y R1, R2 y R3, se encontró una correlación entre el peso y la RMS R1 al igual que con la SCT (Tabla 3).

Adicionalmente, se compararon las categorías del IMC y las distintas RMS medidas sin documentar diferencias relevantes. Se realizó una estratificación según la edad

Tabla 1. Características generales de los participantes del estudio (n = 50).

| Variable | Mujeres (n = 22) Media \pm DS n (%) | Hombres (n = 28) Media \pm DS n (%) |
|--|--|--|
| Edad (años) | 23,3 \pm 4,5 | 27,1 \pm 6,4 |
| Talla (cm) | 163 \pm 5,4 | 174 \pm 7,6 |
| Peso (kg) | 59,3 \pm 11,3 | 82,3 \pm 16,1 |
| Superficie corporal (m ²) | 1,62 \pm 0,16 | 1,93 \pm 0,18 |
| Índice de masa corporal (kg/m ²) | 22,2 \pm 4,1 | 27 \pm 4 |
| Bajo peso | 3 (13) | 1 (4) |
| Peso normal | 16 (73) | 7 (25) |
| Sobrepeso | 2 (9) | 57,14 (16) |
| Obesidad I | 0 | 2 (7) |
| Obesidad II | 1 (5) | 2 (7) |
| Ejercicio físico > 150 min/semana | 11 (50) | 15 (54) |
| Ejercicio físico < 150 min/semana | 11 (50) | 13 (46) |

DS: desviación estándar.

Fuente: Autores.

Tabla 2. Resultados de raíz cuadrática media (RMS) de volumen corriente y capacidad vital por 2 minutos.

| Volumen corriente | Mujeres | Hombres |
|----------------------------|----------------------|------------------------|
| Media μ V (IC 95 %) | 13,94 (12,1-15,7) | 13,31 (11,17-15,43) |
| DS μ V | 4,05 | 5,48 |
| P25 μ V | 9,92 | 10,22 |
| P50 μ V | 15,28 | 13,29 |
| P75 μ V | 17,14 | 16,11 |
| P90 μ V | 17,57 | 19,27 |
| P95 μ V | 18,99 | 24,65 |
| Capacidad vital | Mujeres | Hombres |
| Media μ V (IC 95 %) | 22,4 (18,9-25,9) | 23,24 (19,9-26,56) |
| DS μ V | 7,9 | 8,58 |
| P25 μ V | 16,73 | 16,53 |
| P50 μ V | 20,51 | 22,52 |
| P75 μ V | 28,23 | 28,47 |
| P90 μ V | 35,34 | 33,73 |
| P95 μ V | 37,61 | 41,5 |

μ V: Microvoltios; DS: desviación estándar.

Fuente: Autores.

y las medias de las medidas de RMS para cada rango, mostrando que el 52 % de la muestra se encuentra en un rango de edad entre 18 y 21 años. La media más alta de la RMS en respiraciones de VT corresponde al rango de edad de 37 a 39 años (20,01 μ V). Por otra parte, el valor más bajo de RMS VT se encontró en el grupo de 27-30 años (6,52 μ V). Mientras que la RMS CV de menor valor se encontró en el rango de 30-33 años (19,95 μ V). Para todos los rangos de edad, la desviación estándar de las RMS en general no mostró valores muy dispersos, con excepción del rango entre los 27-30 años (DS \pm 23,4).

DISCUSIÓN

En el presente estudio se evaluó la función diafragmática por medio EMG para aportar a los valores de referencia de la RMS en adultos jóvenes de 18 a 40 años. Además, se analizaron algunas características corporales como sexo, edad, SCT, IMC y condición física. Mediante EMG se detectó y analizó la actividad eléctrica del músculo diafragmático asociada a la actividad contráctil y motora tanto voluntaria como espontánea (21).

Se encontraron algunas diferencias según las características corporales de los sujetos estudiados, las cuales tuvieron

Tabla 3. Correlación entre características físicas de los participantes y RMS VT, RMS CV promedio y en R1, R2 y R3.

| Variable | RMS VT | RMS CV | RMS R1 | RMS R2 | RMS R3 |
|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Edad | Rho = 0,209 p = 0,144 | Rho = 0,188 p = 0,190 | Rho = 0,129 p = 0,370 | Rho = 0,070 p = 0,629 | Rho = 0,109 p = 0,448 |
| Talla | R2 = 0,141 p = 0,232 ** | Rho = 0,160 p = 0,265 | Rho = 0,224 p = 0,116 | Rho = 0,129 p = 0,371 | Rho = 0,160 p = 0,266 |
| Peso | Rho = 0,129 p = 0,369 | R2 = 0,246 p = 0,084 | Rho = 0,298 p = 0,035 | Rho = 0,154 p = 0,284 | Rho = 0,181 p = 0,206 |
| IMC | Rho = 0,07 p = 0,585 | Rho = 0,227 p = 0,112 | Rho = 0,246 p = 0,084 | Rho = 0,113 p = 0,430 | Rho = 0,162 p = 0,258 |
| SCT | Rho = 0,129 p = 0,369 | Rho = 0,246 p = 0,084 | Rho = 0,298 p = 0,035 | Rho = 0,154 p = 0,284 | Rho = 0,181 p = 0,206 |

Coefficiente de Spearman, **Coeficiente de Pearson; R1: Respiración uno; R2: Respiración dos; R3: Respiración tres. **Fuente:** Autores.

coincidencias y divergencias con la literatura disponible. Oliveira da Silva et al. (16) estudiaron las diferencias de la actividad eléctrica del diafragma en dos grupos (personas sanas y con enfermedad hepática), incluyeron personas con pesos y características físicas similares entre ellas, con edades promedio mayores a los del presente estudio. La RMS para los sujetos sanos fue de $49,39 \mu\text{V}$, ($DS \pm 17,88$) y para los pacientes con enfermedad hepática, de $56,56 \mu\text{V}$ ($DS \pm 34,64$), los cuales quienes pudieron tener procesos de sarcopenia, la cual aparece a partir de los 40 años, además de las patologías subyacentes a la edad, cambios en el estado nutricional y metabólico, que influyen en la dinámica muscular. Oliveira da Silva et al. concluyeron que los valores superiores de RMS en los pacientes con enfermedad hepática estaban asociados a mayor esfuerzo ventilatorio (4,16,22); aunque coincidieron en que este instrumento tiene futuro como herramienta de monitoreo ventilatorio.

En el presente estudio los valores promedio de RMS fueron menores que los encontrados por Oliveira da Silva et al.: $22,4 \mu\text{V}$ para mujeres y $23,24 \mu\text{V}$ para hombres en ventilaciones de CV, la media más alta de RMS de VT y de CV correspondió al rango de edad de 37 a 39 años, pero solo el 6 % de la muestra estuvo en este rango. Así mismo, para el valor más bajo de RMS en VT para el

grupo de 27-30 años, que correspondió al 4 % del grupo estudiado. Estas discrepancias podrían estar relacionadas con diferencias de la edad y de la composición corporal de los participantes entre ambos estudios (16). Sin embargo, Duarte et al. (10) encontraron que los valores RMS de diafragma derecho e izquierdo en modo espontáneo con parámetros de ventilación mínimos fueron $26,68 \pm 10,92 \mu\text{V}$ y $26,55 \pm 10,53 \mu\text{V}$, respectivamente, y los valores RMS después de la extubación fueron $31,93 \pm 18,69 \mu\text{V}$ a $34,62 \pm 13,55 \mu\text{V}$, muy similares a los encontrados por el estudio aquí presentado (10).

Otros estudios, como el de Hawkes et al., examinaron personas sanas y verificaron el efecto de adicionar carga inspiratoria sobre la actividad eléctrica del diafragma (23). Encontraron un aumento de los valores de RMS durante la presión inspiratoria máxima relacionado con el incremento del trabajo respiratorio durante las inspiraciones forzadas (presión inspiratoria máxima: $125,6 \pm 30,8 \text{ cm H}_2\text{O}$). Las características físicas y la edad de los sujetos del estudio de Hawkes et al. fueron similares a los incluidos en este estudio, así como los valores de RMS reseñados (23). Adicionalmente, otros análisis como el de Lokin et al. mostraron que EMG diafragmática y la EMG transefófica tenían una correlación temporal y concordancia. Con la optimización de la estabilidad de la señal, la EMG diafragmática

puede convertirse en una herramienta útil de monitoreo respiratorio, aunque hay una necesidad de estudios longitudinales de diferentes poblaciones para ajustar la técnica y los valores de referencia (24,25). Actualmente hay lineamientos claros para los métodos de electromiografía para diversos músculos (17); sin embargo, el paquete muscular respiratorio sigue siendo un reto por su función y ubicación anatómica.

En esta investigación además se exploraron algunas correlaciones con respecto a características físicas descritas por otros autores como relevantes; se encontró correlación entre la SCT y valores más altos de RMS; dado que el 72,7 % de las mujeres participantes tuvieron un IMC adecuado y el 57,14 % de los hombres estaba en sobrepeso, se observó que los valores de la RMS fueron mayores en las personas con un mayor IMC. Hay una tendencia al aumento de la RMS cuando el IMC del individuo es mayor, lo que concuerda con la literatura similar (26-28). En el estudio realizado por Steier et al. utilizaron electromiografía transefófica con electrodo multipolar y describieron que a mayor IMC hay aumento del trabajo respiratorio (27); esto podría relacionarse con los cambios en el tórax de las personas con obesidad que se reflejan en aumento de las resistencias elásticas tanto del pulmón como de la pared torácica, aumentando el trabajo respiratorio por sobrecarga mecánica. Además, lo relacionaron con disminución de los volúmenes pulmonares afectando la capacidad inspiratoria, el volumen de reserva espiratorio y la CV (28).

Adicionalmente, se han descrito casos de infiltración de grasa en los músculos respiratorios que se acompañarían de disfunción muscular, aumento de la actividad electromiográfica del diafragma, lo que no necesariamente significa aumento de la presión muscular inspiratoria o contracción muscular insuficiente (28). Según Kelly et al., la obesidad disminuye la distensibilidad del tórax hasta en un 65 %, porque el exceso de tejido adiposo en el tórax y abdomen se oponen a la expansión del tórax (29). Por otra parte, las personas con obesidad, a diferencia de las personas con

peso normal, generan presiones inspiratorias más altas de VT para contrarrestar su bajo desempeño respiratorio, lo que hace que aumente la proporción del trabajo respiratorio, haciendo que esta población desarrolle mayor fuerza y capacidad de los músculos respiratorios; esto podría explicar el aumento de la RMS en los sujetos con sobrepeso y obesidad (29).

El comportamiento de la RMS en relación con el sexo no tuvo diferencias en este estudio. Sin embargo, las mediciones se realizaron en reposo y algunos estudios han encontrado diferencias durante la actividad física. Molgat-Seon et al. encontraron valores mayores de RMS diafragmática en mujeres y adultos mayores durante la actividad física (30). Además, Mitchell et al. también evaluaron la EMG de diafragma y de los músculos inspiratorios extradiafragmáticos durante periodos de ejercicio; ellos encontraron diferencias entre sexos y documentaron que la RMS de los músculos inspiratorios extradiafragmáticos fue mayor en todos los tiempos de ejercicio submáximos en mujeres (31). Concluyeron que podría haber mayor dependencia de los músculos inspiratorios extradiafragmáticos en las mujeres en comparación con los hombres (31).

Estas diferencias entre sexos también fueron reportadas por Guenette et al., quienes sugieren que la fatiga muscular en mujeres puede ser menor, dado que durante el ejercicio se distribuye la carga sobre los músculos respiratorios de manera más uniforme y hay uso coadyuvante de los músculos inspiratorios extradiafragmáticos, permitiendo que el diafragma esté sometido a menos carga. Este fenómeno se ha relacionado con la menor masa muscular en mujeres que genera la necesidad de tal distribución de carga sobre diversos músculos respiratorios (32,33). Adicionalmente, Hawkes et al. (23) identificaron algunas diferencias entre sexos, pero no fueron concluyentes (2,34).

Los participantes que realizaban actividad física regular >150 minutos por semana tuvieron los valores de RMS de VT menores con respecto a los que tenían cierto grado

de sedentarismo. Esto podría relacionarse con sobrepeso o disminución de masa muscular dado que el aumento de peso genera mayor esfuerzo respiratorio; por el contrario, la actividad física causa un efecto muscular favorable (3).

En cuanto a la utilidad para el seguimiento de la función respiratoria, Hernández-Valdivieso et al. evaluaron la relación de la presión al final de la espiración (PEEP) sobre la actividad muscular respiratoria mediante EMG en individuos que tenían ventilación mecánica no invasiva, obteniendo valores que se asociaban con trabajo muscular durante la inspiración y espiración. Concluyeron que la EMG se relaciona de manera cuantitativa con el nivel de PEEP y el cambio de la actividad diafragmática y del esternocleidomastoideo (11,20,35,36). Esto podría indicar utilidad en la monitoría en la cabecera del paciente crítico; no obstante, aún es necesario seguir estandarizando los valores de referencia y la técnica de filtrado de la señal específica para estos grupos musculares con el fin de que sean comparables entre pacientes.

Esta investigación aporta datos fisiológicos exploratorios que servirán de base para estudios de un futuro instrumento en la cabecera del paciente para monitoreo de la función muscular respiratoria, una vez se sorteen los retos mencionados. Las limitaciones principales fueron la ausencia de mediciones espirométricas completas para correlacionar con los resultados de la EMG a través de la RMS, adicionalmente no se realizó medición del dominio de frecuencia de las ondas electromiográficas y la muestra fue reducida. Por otra parte, hay un vacío en el conocimiento sobre los valores de referencia para la normalización de la amplitud de EMG diafragmática durante las contracciones voluntarias isométricas máximas y durante la actividad física de moderada a intensa. Los hallazgos en estos sujetos jóvenes sanos no pueden generalizarse para otras poblaciones como adultos mayores, pacientes críticamente enfermos o pacientes con insuficiencia respiratoria.

CONCLUSIONES

Se evaluó la función diafragmática a través de EMG en una población de personas sanas de 18 a 40 años. Se encontró que la RMS de volumen corriente por dos minutos fue de 13,94 μ V para mujeres y 13,31 μ V para hombres, mientras que a capacidad vital fue 23,24 μ V para hombres 22,4 μ V para mujeres.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Aval de comité de ética

El estudio cuenta con el aval del Comité de la institución Fundación Universitaria Navarra, bajo el acta 007-1, del 4 de junio del 2020.

Protección de personas y animales

Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Confidencialidad de los datos

Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes o personas participantes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

RECONOCIMIENTOS

Contribución de los autores

CYRT y CMSS: Planificación del estudio, obtención de datos, interpretación de los resultados y redacción del manuscrito.

MEMP: Planificación del estudio, obtención de datos, interpretación de los resultados, análisis de los datos y redacción del manuscrito.

AMZ: Obtención de datos, redacción del manuscrito

Asistencia para el estudio

Ninguna declarada.

Apoyo financiero y patrocinio

El presente estudio fue financiado por los autores, y participación en especie de la Fundación Universitaria Navarra y la Universidad del Valle

Conflictos de interés

Declaramos que no hay conflicto de intereses por parte de ninguno de los autores

Presentaciones

Ninguna declarada.

Agradecimientos

Ninguno declarado.

REFERENCIAS

- Kocjan J, Adamek M, Gzik-Zroska B, Czyżewski D, Rydel M. Network of breathing. Multifunctional role of the diaphragm: a review. *Adv Respir Med.* 2017;85(4):224-32. doi: <https://doi.org/10.5603/ARM.2017.0037>
- Aslan SC, McKay WB, Singh G, Ovechkin AV. Respiratory muscle activation patterns during maximum airway pressure efforts are different in women and men. *Respir Physiol Neurobiol.* 2019; 259:143-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resp.2018.09.004>
- Ramsook AH, Molgat-Seon Y, Schaeffer MR, Wilkie SS, Camp PG, Reid WD, et al. Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle electromyography and dyspnea during exercise in healthy men. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 2017;122(5):1267-75. doi: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00046.2017>
- Molina Peña ME, Sánchez CM, Rodríguez-Triviño CY. Physiopathological mechanisms of diaphragmatic dysfunction associated with mechanical ventilation. *Rev Esp Anestesiol Reanim Engl Ed.* 2020;67(4):195-203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.redare.2019.12.003>
- Oppersma E, Hatam N, Doorduyn J, van der Hoeven JG, Marx G, Goetzenich A, et al. Functional assessment of the diaphragm by speckle tracking ultrasound during inspiratory loading. *J Appl Physiol.* 2017;123(5):1063-70. doi: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00095.2017>
- Hayat A, Khan A, Khalil A, Asghar A. Diaphragmatic excursion: Does it predict successful weaning from mechanical ventilation? *J Coll Physicians Surg—Pak.* [Internet]. 2017;27(12):743-50. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29185398/>
- Yoo JW, Lee SJ, Lee JD, Kim HC. Comparison of clinical utility between diaphragm excursion and thickening change using ultrasonography to predict extubation success. *Korean J Intern Med.* 2018;33(2):331-9. doi: <https://doi.org/10.3904/kjim.2016.152>
- Sánchez Sánchez CDM, Molina-Peña ME, Rodríguez-Triviño CY. Comprehensive assessment of respiratory function, a step towards early weaning from the ventilator. *Adv Respir Med.* 2021;89(3):299-310. doi: <https://doi.org/10.5603/ARM.a2021.0055>
- Ricoy J, Rodríguez-Núñez N, Álvarez-Dobaño JM, Toubes ME, Riveiro V, Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology.* 2019;25(4):223-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2018.10.008>
- Duarte RP, Sentanin AC, da Silva AMO, Tonella RM, Duarte GL, Ratti LSR, et al. Diaphragm muscle surface electromyography in patients submitted to liver transplant and eligible for extubation. *Transplant Proc.* 2017;49(4):829-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2017.01.059>
- Dos Reis IMM, Ohara DG, Januário LB, Basso-Vanelli RP, Oliveira AB, Jamami M. Surface electromyography in inspiratory muscles in adults and elderly individuals: A systematic review. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol.* 2019;44:139-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.01.002>
- Kaufman MR, Elkwood AI, Colicchio AR, CeCe J, Jarrahy R, Willekes LJ, et al. Functional restoration of diaphragmatic paralysis: an evaluation of phrenic nerve reconstruction. *Ann Thorac Surg.* 2014;97(1):260-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.09.052>
- Elm E von, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP. The Strengthening of Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *J Clin Epidemiol.* 2008;61(4):344-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2007.11.008>
- Nedergaard A, Karsdal MA, Sun S, Henriksen K. Serological muscle loss biomarkers: an overview of current concepts and future possibilities. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2013;4(1):1-17. doi: <https://doi.org/10.1007/s13539-012-0086-2>
- Banus MS, Birchall MA, Graveston JA. Developing control algorithms of a voluntary cough for an artificial bioengineered larynx using surface electromyography of chest muscles: A prospective cohort study. *Clin Otolaryngol Off J ENT-UK Off J Neth Soc Oto-Rhino-Laryngol Cervico-Facial Surg.* 2018;43(2):562-6. doi: <https://doi.org/10.1111/coa.13022>
- Oliveira da Silva AM, Maturi S, Boin IFSF. Comparison of surface electromyography in respiratory muscles of healthy and liver disease patients: preliminary studies. *Transplant Proc.* 2011;43(4):1325-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2011.03.058>
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(5):361-74. doi: [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
- Gila Useros L, Malanda Trigueros A, Rodríguez Carreño I, Rodríguez Falces J, Navallas

- Irujo J. Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas. 2009;32(Supp 3):27-43. doi: <https://doi.org/10.4321/S1137-66272009000600003>
19. Papagiannis GI, Triantafyllou AI, Roupelakis IM, Zampeli F, Garyfallia Eleni P, Koulouvaris P, et al. Methodology of surface electromyography in gait analysis: review of the literature. *J Med Eng Technol.* 2019;43(1):59-65. doi: <https://doi.org/10.1080/03091902.2019.1609610>
 20. de Souza Costa HLL, de Souza LC, da Silva Neto AE, da Silva Guimarães BL, de Azeredo LM, Godoy MDP, et al. Involvement of respiratory muscles during the timed inspiratory effort index measurement with surface electromyography. *Respir Care.* 2020;65(12):1857-63. doi: <https://doi.org/10.4187/respcare.07465>
 21. Dimitrova NA, Arabadzhiev TI, Hogrel JY, Dimitrov GV. Fatigue analysis of interference EMG signals obtained from biceps brachii during isometric voluntary contraction at various force levels. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol.* 2009;19(2):252-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.08.007>
 22. Carvalho E, Isern M, Lima P, Machado C, Biagini A, Massarollo P. Força muscular e mortalidade na lista de espera de transplante de fígado. *Rev Bras Fisioter.* 2008;12(3):235-40. doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-35552008000300012>
 23. Hawkes EZ, Nowicky AV, McConnell AK. Diaphragm and intercostal surface EMG and muscle performance after acute inspiratory muscle loading. *Respir Physiol Neurobiol.* 2007;155(3):213-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resp.2006.06.002>
 24. Lokin JL, Dulger S, Glas GJ, Horn J. Transesophageal versus surface electromyography of the diaphragm in ventilated subjects. *Respir Care.* 2020;65(9):1309-14. doi: <https://doi.org/10.4187/respcare.07094>
 25. Zhang DD, Lu G, Zhu XF, Zhang LL, Gao J, Shi LC, et al. Neural respiratory drive measured using surface electromyography of diaphragm as a physiological biomarker to predict hospitalization of acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease patients. *Chin Med J (Engl).* 2018;131(23):2800-7.
 26. Bailey CA, Corona F, Pilloni G, Porta M, Fastame MC, Hitchcott PK, et al. Sex-dependent and sex-independent muscle activation patterns in adult gait as a function of age. *Exp Gerontol.* 2018;110:1-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.05.005>
 27. Steier J, Jolley CJ, Seymour J, Roughton M, Polkey MI, Moxham J. Neural respiratory drive in obesity. *Thorax.* 2009;64(8):719-25. doi: <https://doi.org/10.1136/thx.2008.109728>
 28. Dixon AE, Peters U. The effect of obesity on lung function. *Expert Rev Respir Med.* 2018;12(9):755-67. doi: <https://doi.org/10.1080/17476348.2018.1506331>
 29. Kelly TM, Jensen RL, Elliott CG, Crapo RO. Maximum respiratory pressures in morbidly obese subjects. *Respir Int Rev Thorac Dis.* 1988;54(2):73-7. doi: <https://doi.org/10.1159/000195504>
 30. Molgat-Seon Y, Dominelli PB, Ramscook AH, Schaeffer MR, Romer LM, Road JD, et al. Effects of age and sex on inspiratory muscle activation patterns during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50(9):1882-91. doi: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001648>
 31. Mitchell RA, Schaeffer MR, Ramscook AH, Wilkie SS, Guenette JA. Sex differences in respiratory muscle activation patterns during high-intensity exercise in healthy humans. *Respir Physiol Neurobiol.* 2018;247:57-60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resp.2017.09.002>
 32. Guenette JA, Romer LM, Querido JS, Chua R, Eves ND, Road JD, et al. Sex differences in endurance-induced diaphragmatic fatigue in endurance-trained athletes. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985 2010;109(1):35-46.* doi: <https://doi.org/10.1164/ajrccm-conference.2010.181.1.MeetingAbstracts.A5319>
 33. Geary CM, Welch JF, McDonald MR, Peters CM, Leahy MC, Reinhard PA, et al. Diaphragm fatigue and inspiratory muscle metaboreflex in men and women matched for absolute diaphragmatic work during pressure-threshold loading. *J Physiol.* 2019;597(18):4797-808. doi: <https://doi.org/10.1113/JP278380>
 34. Mauvais-Jarvis F. Sex differences in metabolic homeostasis, diabetes, and obesity. *Biol Sex Differ.* 2015;6:14. doi: <https://doi.org/10.1186/s13293-015-0033-y>
 35. Hernández-Valdivieso AM, Salazar-Sánchez MB, Muñoz-Ortega IC. Efecto del incremento de la PEEP en la actividad muscular respiratoria evaluado con electromiografía de superficie en individuos sanos bajo ventilación espontánea. *Iatreia.* 2016;29(3):280-91. doi: <https://doi.org/10.17533/udea.iatreia.v29n3a03>
 36. Ajiro Y, Shiga T, Shoda M, Hagiwara N. Surface electromyography of myopotential oversensing provoked by simultaneous straining and leftward twisting in a patient with an implantable cardioverter defibrillator. *Heart Vessels.* 2017;32(3):364-8. doi: <https://doi.org/10.1007/s00380-016-0888-9>