



Revisión

Factores que afectan a la función pulmonar: una revisión bibliográfica

Alejandro Talaminos Barroso^a, Eduardo Márquez Martín^b, Laura María Roa Romero^{a,c}
y Francisco Ortega Ruiz^{b,d,*}

^a Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

^b Unidad Médico-Quirúrgica de Enfermedades Respiratorias, Instituto de Biomedicina de Sevilla (IBiS), Hospital Universitario Virgen del Rocío, Sevilla, España

^c Centro de Investigación Biomédica en Red de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina, España

^d Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Respiratorias CIBERES, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 23 de noviembre de 2017

Aceptado el 30 de enero de 2018

On-line el 26 de febrero de 2018

Palabras clave:

Función pulmonar

Pruebas funcionales respiratorias

R E S U M E N

Los valores de referencia de las pruebas de función pulmonar están basados históricamente en factores antropométricos como el peso, la altura, el género y la edad. La FVC y el FEV₁ disminuyen con la edad y, en contraposición, volúmenes y capacidades como el RV y la FRC se incrementan. La TLC, CV, RV, FVC y FEV₁ se ven afectados por la altura, puesto que son proporcionales al tamaño corporal. Esto significa que un individuo alto sufrirá un mayor decremento de sus volúmenes pulmonares a medida que aumente su edad. Algunas variables decrecen exponencialmente con el incremento del peso, como la FRC y el ERV, de tal forma que los sujetos con obesidad mórbida pueden llegar a alcanzar un volumen corriente cercano al RV. Los hombres poseen vías aéreas de conducción más largas que las mujeres, dando lugar a una mayor resistencia específica de las vías respiratorias. El mayor trabajo respiratorio en mujeres para aumentar la ventilación provoca que, en condiciones con la misma intensidad física, el consumo de oxígeno sea más alto que en hombres. En posición vertical los volúmenes pulmonares son más altos que en el resto de las posturas. La DLCO es significativamente mayor en posiciones supinas que en posición sentada y vertical, no existiendo diferencias significativas en posición sentada y de pie. Las características antropométricas no son suficientes para explicar las diferencias existentes en la función pulmonar entre diferentes etnias y ponen de manifiesto la importancia de considerar otros factores adicionales a los clásicos antropométricos para su medición.

© 2018 SEPAR. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Factors Affecting Lung Function: A Review of the Literature

A B S T R A C T

Lung function reference values are traditionally based on anthropometric factors, such as weight, height, sex, and age. FVC and FEV₁ decline with age, while volumes and capacities, such as RV and FRC, increase. TLC, VC, RV, FVC and FEV₁ are affected by height, since they are proportional to body size. This means that a tall individual will experience greater decrease in lung volumes as they get older. Some variables, such as FRC and ERV, decline exponentially with an increase in weight, to the extent that tidal volume in morbidly obese patients can be close to that of RV. Men have longer airways than women, causing greater specific resistance in the respiratory tract. The increased work of breathing to increase ventilation among women means that their consumption of oxygen is higher than men under similar conditions of physical intensity. Lung volumes are higher when the subject is standing than in other positions. DLCO is significantly higher in supine positions than in sitting or standing positions, but the difference between sitting and standing positions is not significant. Anthropometric characteristics are insufficient to explain differences in lung function between different ethnic groups, underlining the importance of considering other factors in addition to the conventional anthropometric measurements.

© 2018 SEPAR. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords:

Lung function

Respiratory function tests

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: francisco.ortega.sspa@juntadeandalucia.es (F. Ortega Ruiz).

Introducción

Las pruebas de función pulmonar (PFP) son una combinación de test que son realizados en la práctica clínica para determinar la capacidad pulmonar, así como el posible deterioro de la función mecánica de los pulmones, los músculos respiratorios y la pared torácica. Estas pruebas son útiles para confirmar posibles patologías pulmonares y su severidad, permitiendo también la evaluación de la respuesta respiratoria ante posibles intervenciones terapéuticas¹.

Los valores de referencia tomados en la práctica clínica para la realización de las PFP son a menudo complejos de estimar. La interpretación de la función pulmonar expuesta por estándares clínicos ha estado basada históricamente en los factores antropométricos más importantes, incluyendo el peso, la estatura, el género y la edad². Sin embargo, a medida que el conocimiento en este ámbito ha aumentado, otros factores han ido cobrando una especial relevancia. Entre ellos pueden destacarse algunos corporales (ritmos circadianos³, ciclo menstrual⁴, diámetro torácico⁵, tamaño de la tráquea⁶), sociosanitarios (nivel educativo⁷, estatus socioeconómico⁸, exposiciones en el ámbito laboral⁹) medioambientales (contaminación, polución atmosférica¹⁰, condiciones climatológicas¹¹, desastres naturales¹², altitud¹³), raza o grupo étnico¹⁴, los asociados a hábitos de vida (nutrición¹⁵, nivel de actividad física¹⁶, tabaquismo¹⁷), a patologías (diabetes¹⁸, trastornos musculares u hormonales¹⁹), la postura del individuo²⁰, factores genéticos²¹, contiendas bélicas (conflictos militares²², ataques terroristas²³) e incluso factores que pueden influir durante la etapa infantil²⁴ o el embarazo²⁵.

A pesar de que existe en mayor o menor medida una amplia bibliografía acerca de cómo afectan cada uno de los factores comentados con anterioridad a la morfología y a la función pulmonar, hasta el conocimiento de los autores no existe una revisión reciente que incluya todos estos aspectos y sean integrados en una única fuente completa. Esta revisión va a centrarse en los factores antropométricos, la posición del individuo y la raza o grupo étnico, tratando de dar una visión integrada de cómo afectan estos factores a la función pulmonar (fig. 1).

Material y métodos

El presente estudio se ha fundamentado principalmente en una búsqueda sistemática de la bibliografía existente acerca de los factores que afectan a la función pulmonar. Para ello se ha recurrido a diferentes motores de búsqueda de libre acceso, entre los que se encuentran las bases de datos PubMed, Lilacs, SciELO, GoPE-Dro, Google Scholar y Scopus. Revisiones, estudios observacionales, experimentos clínicos y modelos matemáticos han sido seleccionados, particularizando en los últimos 5 años, aunque también se han considerado otros trabajos más antiguos pero de especial trascendencia con la temática tratada.

La búsqueda bibliográfica se ha fundamentado en diferentes palabras clave utilizadas de forma independiente o en combinación mediante el uso de operadores de tipo OR y AND. Entre las expresiones buscadas se encuentran: «lung function testing», «pulmonary function tests», «pulmonary function», «pulmonary impairment», «spirometry», «plethysmograph», «lung volumes», «diffusing capacity», «arterial blood gases», «chronic obstructive pulmonary disease» y «lung function values», así como todas y cada una de las variables espirométricas que son tratadas en este trabajo, relaciones entre ambas, etnias (caucásicos, afroamericanos y asiáticos principalmente) y cada uno de los factores influyentes en la función pulmonar.

Resultados

En esta sección se irán desglosando uno a uno los factores de mayor influencia en la función pulmonar y que han sido considerados de interés para este estudio.

Edad

La edad ha sido históricamente uno de los componentes fundamentales en la evaluación de la función pulmonar. La madurez pulmonar es alcanzada aproximadamente a los 20-25 años²⁶, momento tras el cual comienza un deterioro progresivo de la función pulmonar²⁷.

Las variables afectadas son principalmente la FVC y el FEV₁, que disminuyen con la edad²⁸ debido a la reducción de la adherencia en la pared torácica, a la caída de la fuerza muscular espiratoria y a una mayor tendencia de las vías respiratorias más pequeñas a cerrarse durante el esfuerzo espiratorio forzado²⁹. Concretamente para el FEV₁, su caída es alrededor de 20 ml/año en edades comprendidas entre los 25 y los 39 años, mientras que paulatinamente este declive se acentúa hasta los 35 ml/año a partir de los 65 años³⁰. La relación FEV₁/FVC también disminuye con la edad, con una caída más pronunciada en las edades comprendidas entre los 3 y los 10 años debido al aumento más notorio de la FVC respecto al FEV₁ en esas edades. Esta tendencia es revertida temporalmente durante la infancia, donde se produce una subida ligera de la relación FEV₁/FVC hasta los 16 años y una disminución continua a partir de esa edad. Esta caída es debida presumiblemente a la pérdida gradual de la elasticidad del pulmón. En contraposición, los volúmenes y las capacidades como el RV y la FRC se incrementan, mientras que la VC y la IC disminuyen como resultado del cierre de las vías respiratorias, del progresivo endurecimiento del tejido pulmonar y de la disminución del retroceso de las fuerzas elásticas del pulmón³¹. Por último, la TLC generalmente permanece constante en ausencia de patología^{30,32}.

El intercambio de gases tiende a disminuir con la edad debido a la pérdida de la superficie alveolar y a la caída del volumen sanguíneo³³. Durante la infancia, la PAO₂ y la PACO₂ no cambian significativamente, pero la PAO₂ se incrementa paulatinamente durante la adolescencia. Las respuestas ventilatorias tanto a la hipercapnia como a la hipoxia son más altas en la infancia temprana y disminuyen progresivamente hasta la edad adulta³⁴. Concretamente, en relación con la DLCO la caída es alrededor de 0,2 mlCO/min/mmHg/año^{30,35}. Esto provoca también una disminución progresiva de la PaO₂ desde los 95 mmHg a los 20 años hasta los 75 mmHg a los 70 años, aunque la PaCO₂ permanece inalterada a costa del aumento de la ventilación.

Con respecto al impacto del incremento de la edad sobre la capacidad de ejercicio, existen pocos trabajos en la literatura que hayan tratado de abordar esta problemática mediante estudios longitudinales³⁶. El VO_{2max} disminuye con la edad, aunque este declive se retrasa considerablemente en los sujetos físicamente activos. La caída de la capacidad de esfuerzo se vuelve más drástica a partir de los 60 años, momento en el cual una persona con salud normal puede comenzar a sufrir episodios de disnea con frecuencia durante la realización de la práctica física²⁷.

Trabajos más específicos centrados en el deterioro del sistema respiratorio a partir de la edad, y también con cierta relevancia clínica, tratan de estudiar aspectos centrados en niños con bajo peso al nacer³⁷, mujeres menopáusicas³⁸ o el papel de la senescencia celular en el envejecimiento de los pulmones³⁹. También existe

Factores que afectan a la función pulmonar

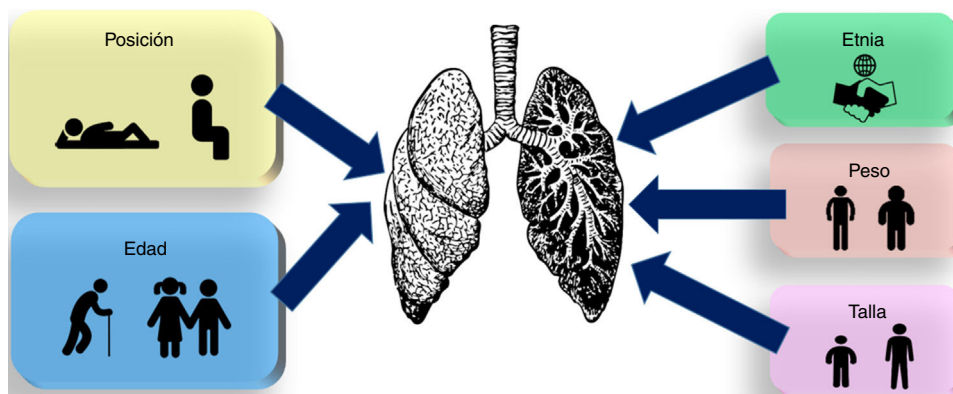


Figura 1. Factores que afectan a la función pulmonar.

bibliografía centrada en el estudio de algunos factores que influyen a edades tempranas y su incidencia en la etapa adulta⁴⁰.

Estatura

Distintos parámetros, como la TLC, la CV, el RV, la FVC y el FEV₁, se ven afectados por la estatura, puesto que son proporcionales al tamaño corporal⁴¹. Esto significa que un individuo alto —y, por tanto, con gran capacidad pulmonar— sufrirá un mayor decremento de sus volúmenes pulmonares a medida que aumente su edad con respecto a individuos con talla más baja⁴². Por otra parte, el flujo espiratorio máximo (PEF) también aumenta con la estatura, existiendo ecuaciones predictoras como la escala Wright⁴³, la EN1382 o la NHANESIII⁴⁴, que son ampliamente utilizadas en la práctica clínica. Por último, a nivel de intercambio gaseoso se ha comprobado que el valor de la DLCO aumenta con la estatura⁴⁵.

Peso

En general, puede afirmarse que la TLC decae con el incremento del índice de masa corporal (IMC), aunque el declive se produce de forma poco significativa, incluso en obesidad mórbida⁴⁶. Esta preservación de la TLC, junto al mantenimiento también de la VC, es debida al efecto compensatorio de la CI, que aumenta en la obesidad. Este incremento de la CI, y la consecuente disminución del RV, se deben al desplazamiento que experimenta el diafragma hacia el tórax como resultado de la carga mecánica a la que es sometido por el exceso de grasa. Como consecuencia, el V_T en reposo y en el ejercicio físico tiende a ocurrir en volúmenes pulmonares operacionales más bajos, lo que provoca que las reservas de flujo espiratorio sean más pequeñas⁴⁷.

Otras variables que se han observado que decrecen exponencialmente con el incremento del IMC son la FRC y el ERV, de tal forma que los sujetos con obesidad mórbida pueden llegar a alcanzar un V_T cercano al RV¹⁴. Este declive de la FRC puede provocar que su valor disminuya rebasando a la capacidad de cierre. Este fenómeno tiene implicaciones clínicas, pudiendo provocar el colapso de los pulmones y convertir las zonas inferiores de los pulmones en atelectasias, conduciendo a una distribución no uniforme caracterizada por un intercambio de gases que principalmente tiende a producirse en las zonas altas⁴⁸.

En cuanto a los flujos inspiratorios/espiratorios, el PEF decae con el incremento del IMC. Con respecto al FEV₁ y a la FVC, existen discrepancias en la literatura. Por una parte, algunos autores afirman que la obesidad generalmente no disminuye el FEV₁ y la FVC, a menos que los pacientes sufran de obesidad mórbida, por lo que la relación FEV₁/FVC también se mantiene constante⁴⁹. Sin

embargo, otros estudios sugieren que la obesidad puede causar una limitación en las vías respiratorias, lo que conlleva una reducción paralela del FEV₁ y de la FVC y, en consecuencia, a una preservación de la relación FEV₁/FVC⁵⁰. Se ha observado que la obesidad abdominal está generalmente relacionada con reducciones del FEV₁ y de la FVC en mujeres y en ciertos grupos de edades⁵¹.

Respecto a la DLCO, los estudios publicados al respecto presentan también resultados contradictorios. Algunas publicaciones han encontrado que su valor baja con el incremento del IMC, mientras que otros trabajos exponen que sube o se mantiene^{52,53}. Estas contradicciones pueden ser debidas a que la DLCO depende de diversos factores no asociados exclusivamente a la función pulmonar como, por ejemplo, la concentración de hemoglobina o el KCO. En general, el incremento de IMC provoca el deterioro del intercambio de gases a nivel alveolar, produciendo un declive de la PaO₂⁵⁴.

Con respecto a las implicaciones respiratorias derivadas del peso durante el ejercicio, puede afirmarse que el V_T es más bajo y la frecuencia respiratoria más alta en sujetos obesos que en no obesos⁵⁵. Además, el exceso de grasa en la pared torácica provoca el aumento del VO₂ para cada respiración, intensificando la demanda ventilatoria que es manifestada mediante un mayor coste metabólico, incrementando el VO₂ y el VCO₂^{47,56}.

Por último, los sujetos delgados presentan un relativo impacto sobre la función pulmonar. En general, la mayoría de los valores espirométricos decaen con el bajo peso, lo que repercute en una disminución de la capacidad ventilatoria. De esta forma, individuos con bajo peso poseen reducidas FVC y FEV₁ y deficitaria musculatura respiratoria. Otros valores espirométricos que disminuyen son la VC y el ERV⁵⁷. Estos mismos efectos son aplicables también en niños y en neonatos con bajo peso al nacer⁵⁸.

Algunas contradicciones halladas en los estudios centrados en la incidencia del peso sobre la función pulmonar podrían ser debidas al uso exclusivo de estos trabajos del concepto de IMC como medida de la obesidad. En este sentido, otros aspectos que podrían tener una incidencia relevante habitualmente son ignorados, como la obesidad central (predominante principalmente en los hombres), la adiposidad periférica (más común en mujeres)⁵⁹, así como el espesor del pliegue cutáneo, la circunferencia de la cintura o la relación cintura/cadera⁶⁰.

Género

Métodos morfométricos estándares confirman que los hombres poseen pulmones de mayor tamaño que las mujeres y, en consecuencia, un mayor número de bronquios, una mayor superficie alveolar y un diámetro de las vías respiratorias más amplio, considerando sujetos del mismo peso y estatura⁶¹.

El desarrollo pulmonar posnatal ocasiona un aumento del número y el tamaño de los alveolos, y aunque el pulmón femenino es más pequeño que el masculino y posee un menor número de bronquiolos respiratorios, el número de alveolos por unidad de superficie tanto en niños como en niñas es el mismo. Durante la adolescencia se produce un fenómeno conocido como disanapsis, o desproporción en la relación entre el tamaño pulmonar y el tamaño de las vías respiratorias. En este sentido, el crecimiento de las vías respiratorias es proporcional al del tejido pulmonar en mujeres, mientras que en hombres se produce un crecimiento desmesurado de las vías respiratorias que se manifiesta con un número de alveolos desproporcionadamente menor en relación con el número de vías respiratorias. De este modo, los hombres poseen unas vías aéreas de conducción más largas que las mujeres, estando en clara desventaja durante el proceso de espiración durante esta etapa de la vida, dando lugar a una mayor resistencia específica de las vías respiratorias y a menores tasas de PEF⁶². Incluso con pulmones del mismo tamaño, los hombres siguen teniendo vías respiratorias mayores que las mujeres. Sin embargo, cuando el crecimiento cesa y va acercándose la madurez pulmonar, la situación se normaliza y la FRC, la VC, la TLC, el RV y los flujos máximos son mayores en hombres que en mujeres. Con relación a las propiedades de retroceso del pulmón o a las características de la pared torácica y de la compliancia pulmonar, no parece haber diferencias significativas entre hombres y mujeres, aunque el diámetro de la tráquea sí es más pequeño en mujeres^{63,64}.

Los hombres también poseen valores más altos de flujos que las mujeres, aunque la relación entre FEV₁/FVC se mantiene⁶⁵. La ventilación, el pico inspiratorio y los flujos de espiración también son más altos en hombres que en mujeres. El FEV₁ disminuye con la edad, pero la reducción es más rápida en hombres que en mujeres, puesto que la fuerza muscular respiratoria disminuye más drásticamente en hombres que en mujeres^{26,30}.

Respecto al proceso de difusión de gases, la DLCO es mayor en hombres que en mujeres, con un decremento de aproximadamente 0,2 mlCO/min/mmHg/año en hombres y de 0,15 mlCO/min/mmHg/año en mujeres³⁰. Esta diferencia puede ser debida a la influencia del estrógeno, que mantiene la integridad de los vasos sanguíneos en las mujeres. Se ha comprobado también que el ciclo menstrual modifica los mecanismos de difusión de gases, caracterizándose por una máxima DLCO justo antes del comienzo de la menstruación y una sucesiva bajada rápida que alcanza su punto mínimo al tercer día⁴. Las razones de estos cambios son presumiblemente debidas al nivel del volumen capilar sanguíneo⁶⁶. Por otra parte, no hay diferencias significativas en la relación DLCO/V_A para los dos sexos.

A nivel de ejercicio físico, el menor diámetro de las vías respiratorias y los reducidos volúmenes pulmonares en mujeres da lugar a picos de flujo espiratorio más bajos. Así, las mujeres poseen una capacidad mucho menor para aumentar la ventilación durante el ejercicio en comparación con los hombres. Sin embargo, ni hombres ni mujeres alcanzan su máxima ventilación efectiva durante un ejercicio físico de gran intensidad, acercándose más las mujeres a este valor que los hombres. Este mayor trabajo respiratorio en mujeres para aumentar la ventilación provoca que en condiciones con la misma intensidad física, el consumo de oxígeno sea más alto que en hombres, influyendo negativamente en el rendimiento general del ejercicio⁶⁷. Además, las mujeres son más propensas a la desaturación arterial durante un ejercicio intenso, por lo que su rendimiento se ve aún más limitado^{68,69}. En general, el VO_{2max} disminuye en razón de 32 ml/min/año en hombres y de 14 ml/min/año en mujeres a partir de los 20-30 años³⁰. Asimismo, las particularidades morfológicas de los pulmones de las mujeres pueden contribuir a una inadecuada hiperventilación y a un consecuente incremento de hipoxemia inducida por el ejercicio⁷⁰. Por último, durante la práctica del ejercicio físico la DLCO de los hombres es casi el doble

que la de las mujeres, debido al mayor volumen de sangre pulmonar (alrededor del 40% más)⁵³.

Posición

La distensibilidad pulmonar se reduce significativamente con los cambios de postura, desde la postura vertical y sentada hasta el decúbito supino, decúbito prono o decúbito lateral. En posición vertical los volúmenes pulmonares son más altos que en el resto de las posturas debido al aumento del volumen de la cavidad torácica. La VC y la TLC muestran un decremento en la posición supina en comparación con la posición vertical, posiblemente debido a la alteración del flujo sanguíneo desde los miembros inferiores a la cavidad torácica⁷¹. Para las posiciones de decúbito, la VC es más alta en supino que en prono, mientras que la TLC no presenta variaciones significativas. Por otra parte, la FRC también experimenta una caída en posiciones de decúbito y más concretamente en la posición de supino debido a que el abdomen empuja al diafragma hacia la cavidad torácica. En consecuencia, los valores de la FRC y del ERV son más elevados en la posición vertical que en las posiciones de sentado y de supino, mientras que en la posición de sentado los valores son más altos que en supino. Entre las posiciones de supino y prono no existen diferencias reseñables⁷². Por tanto, el aumento de la presión intraabdominal conduce al incremento de la FRC y del ERV. Con respecto al V_T, su valor es mayor en posición sentada que en supina. Esto es debido a que una inclinación progresiva del tronco determina una reducción del desplazamiento de la caja torácica y de la ventilación, por lo que el V_T se incrementa paulatinamente con el incremento de la inclinación de la espalda⁷³. Sin embargo, los valores más altos del V_T se alcanzan en posición vertical. En la posición sentada también existe un decremento en el V_T.

Existen estudios que demuestran que el FEV₁, la FVC y la relación FEV₁/FVC son más altos en posición de pie que en posición sentada y decúbito⁷⁴. Sin embargo, existen discrepancias con otros estudios que afirman que la posición sentada produce valores de FVC y FEV₁ más altos que en posición vertical y supina, sin encontrar variaciones destacables del FEF₂₅₋₇₅. Sí parece consistente que los valores reportados para FVC y FEV₁ son inferiores en posiciones supina y prona en comparación a la posición sentada⁷⁵. Con respecto al PEF, también la postura corporal le afecta de forma significativa⁷⁶.

El valor de la DLCO es mayor en posiciones supinas que en posición sentada y vertical⁷⁷. Por otra parte, no existen diferencias significativas de la DLCO en sujetos en posición sentada y de pie. Respecto a las diferencias entre la posición supina y prona, existen estudios que evidencian una ligera disminución observada en sujetos sanos cambiando de la posición supina a la posición prona⁷⁸.

Raza o grupo étnico

Muchos de los estudios que analizan el efecto de la raza sobre la función pulmonar utilizan el denominado índice córmico (razón entre la estatura en posición sentada y la estatura en posición vertical) como base metodológica a emplear durante la clasificación de medidas. Sin embargo, a pesar de que las características antropométricas juegan un papel fundamental, no son suficientes para explicar las diferencias existentes en la función pulmonar entre diferentes etnias. En este sentido, el color de la piel tampoco es un buen indicativo^{79,80}.

La *American Thoracic Society* (ATS) y la *European Respiratory Society* (ERS) han publicado recomendaciones de valores espirométricos de referencia mediante ecuaciones derivadas de muestras de diferentes razas/etnias, siempre y cuando la información estuviera disponible⁸¹. La adaptación de los estándares se realiza mediante una normalización a partir de una «corrección racial», también denominada «ajuste étnico», utilizando generalmente un

determinado factor de escala para todas las personas que no son consideradas blancas o caucásicas⁸².

En general puede afirmarse que existen diferencias proporcionales del nivel de la función pulmonar entre las principales razas del mundo sobre las que hay suficientes datos⁸³, que son las siguientes cuatro: blancos o caucásicos (europeos, israelíes, australianos, estadounidenses, canadienses, brasileños, chilenos, mexicano-americanos, uruguayos, venezolanos, argelinos, tunecinos), negros (afroamericanos), asiáticos del noreste (coreanos y chinos del norte) y asiáticos del sudeste (tailandeses, taiwaneses, chinos del sur y hongkoneses).

Conclusiones

La revisión bibliográfica sistemática realizada pone de manifiesto que existe un gran interés en el estudio de los factores que afectan a la función pulmonar, incluyendo los clásicos antropométricos. En este sentido, el uso de estándares de referencia en la práctica clínica provee de valores teóricos razonables para un importante sector de la población, aunque algunos factores que pueden llegar a ser relevantes en determinados casos no son considerados. Entre ellos se encuentran la distribución de la grasa en personas obesas, los cambios en el sistema respiratorio durante la infancia, la pubertad y la menopausia, los hábitos de vida o la posición del cuerpo durante la realización de las pruebas. Futuras líneas de trabajo también deben centrarse en el estudio de las variaciones pulmonares para determinadas razas y etnias de algunas regiones del mundo, dada la escasez de datos en la literatura en este sentido. No existe un tratamiento multivariante de las distintas variables analizadas. Sin embargo, existe la necesidad de una visión integrada de todos estos factores que determinan la medida de la función pulmonar, al igual que la incorporación de los mismos a las tablas de referencia que son utilizadas en la práctica clínica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Bibliografía

- Wanger JS, Culver BH. Quality standards in pulmonary function testing: Past, present, future. *Ann Am Thorac Soc*. 2016;13:1435–6.
- Mottram C. *Ruppel's Manual of Pulmonary Function Testing*. 10th edition Maryland Heights, Missouri: Mosby; 2012.
- Hwang JW, Sundar IK, Yao H, Sellix MT, Rahman I. Circadian clock function is disrupted by environmental tobacco/cigarette smoke, leading to lung inflammation and injury via a SIRT1-BMAL1 pathway. *FASEB J*. 2014;28:176–94.
- Farha S, Asosingh K, Laskowski D, Licina L, Sekiguchi H, Sekiguchi H, et al. Pulmonary gas transfer related to markers of angiogenesis during the menstrual cycle. *J Appl Physiol* (1985). 2007;103:1789–95.
- Donnelly PM, Yang TS, Peat JK, Woolcock AJ. What factors explain racial differences in lung volumes? *Eur Respir J*. 1991;4:829–38.
- Barone-Adesi F, Dent JE, Dajnak D, Beevers S, Anderson HR, Kelly FJ, et al. Long-term exposure to primary traffic pollutants and lung function in children: Cross-sectional study and meta-analysis. *PLoS One*. 2015;10:e0142565.
- Tabak C, Spijkerman AM, Verschuren WM, Smit HA. Does educational level influence lung function decline (Doetinchem Cohort Study)? *Eur Respir J*. 2009;34:940–7.
- Lange P, Marott JL, Vestbo J, Ingebrigtsen TS, Nordestgaard BG. Socioeconomic status and prognosis of COPD in Denmark. *COPD*. 2014;11:431–7.
- Löfstedt H, Hagström K, Bryngelsson IL, Holmström M, Rask-Andersen A. Respiratory symptoms and lung function in relation to wood dust and monoterpene exposure in the wood pellet industry. *Ups J Med Sci*. 2017;122:78–84.
- Bowatte G, Lodge CJ, Knibbs LD, Lowe AJ, Erbas B, Dennekamp M, et al. Traffic-related air pollution exposure is associated with allergic sensitization, asthma, and poor lung function in middle age. *J Allergy Clin Immunol*. 2017;139:122–9.e1.
- Rice MB, Li W, Wilker EH, Gold DR, Schwartz J, Koutrakis P, et al. Extreme temperatures and lung function in the Framingham Heart Study. *A59 Epidemiology of Airways and Chronic Lung Diseases*. 2017. A2042-A2042.
- Kobayashi S, Hanagama M, Yamada S, Satoh H, Tokuda S, Kobayashi M, et al. The impact of a large-scale natural disaster on patients with chronic obstructive pulmonary disease: The aftermath of the 2011 Great East Japan Earthquake. *Respir Investig*. 2013;51:17–23.
- Dane DM, Lu H, Dolan J, Thaler CD, Ravikumar P, Hammond KA, et al. Lung function and maximal oxygen uptake in deer mice (*Peromyscus maniculatus*) bred at low altitude and re-acclimatized to high altitude. *FASEB J*. 2016;30:1297.5-1297.5.
- Mehari A, Afreeen S, Ngwa J, Setse R, Thomas AN, Poddar V, et al. Obesity and Pulmonary Function in African Americans. *PLoS One*. 2015;10:e0140610.
- Shan X, Liu J, Luo Y, Xu X, Han Z, Li H. Relationship between nutritional risk and exercise capacity in severe chronic obstructive pulmonary disease in male patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2015;10:1207–12.
- Lazovic B, Mazic S, Suzic-Lazic J, Djelic M, Djordjevic-Saranovic S, Durmic T, et al. Respiratory adaptations in different types of sport. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2015;19:2269–74.
- Hoesein FA, Jong PA, Lammers JW, Mali WP, Mets OM, Schmidt M, et al. Contribution of CT quantified emphysema, air trapping and airway wall thickness on pulmonary function in male smokers with and without COPD. *COPD*. 2014;11:503–9.
- Vargas HA, Rondón M, Dennis R. Pharmacological treatment and impairment of pulmonary function in patients with type 2 diabetes: A cross-sectional study. *Biomedica*. 2016;36:276–84.
- Ostrowski S, Barud W. Factors influencing lung function: Are the predicted values for spirometry reliable enough? *J Physiol Pharmacol*. 2006;57 Suppl 4:263–71.
- Gouna G, Rakza T, Kuissi E, Pennafort T, Mur S, Storme L. Positioning effects on lung function and breathing pattern in premature newborns. *J Pediatr*. 2013;162:1133–7.e1.
- Quanjer PH. Lung function, genetics and socioeconomic conditions. *Eur Respir J*. 2015;45:1529–33.
- Pugh MJ, Jaramillo CA, Leung KW, Faverio P, Fleming N, Mortensen E, et al. Increasing prevalence of chronic lung disease in veterans of the wars in Iraq and Afghanistan. *Mil Med*. 2016;181:476–81.
- Aldrich TK, Gustave J, Hall CB, Cohen HW, Webber MP, Zeig-Owens R, et al. Lung function in rescue workers at the World Trade Center after 7 years. *N Engl J Med*. 2010;362:1263–72.
- Galobardes B, Granel R, Sterne J, Hughes R, Mejia-Lancheros C, Davey Smith G, et al. Childhood wheezing, asthma, allergy, atopy, and lung function: Different socioeconomic patterns for different phenotypes. *Am J Epidemiol*. 2015;182:763–74.
- Hollams EM, Klerk NH, Holt PG, Sly PD. Persistent effects of maternal smoking during pregnancy on lung function and asthma in adolescents. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;189:401–7.
- Sharma G, Goodwin J. Effect of aging on respiratory system physiology and immunology. *Clin Interv Aging*. 2006;1:253–60.
- Lee B, Park S, Han D. Analysis of the influential factors of maximal-effort expiratory capacity of elderly women. *J Phys Ther Sci*. 2016;28:2924–8.
- Vaz CA, McAvay G, Ness PH, Metter EJ, Ferrucci L, Yaggi HK, et al. Aging-related considerations when evaluating the forced expiratory volume in 1 second (FEV1) over time. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2016;71:929–34.
- Lalley PM. The aging respiratory system — pulmonary structure, function and neural control. *Respir Physiol Neurobiol*. 2013;187:199–210.
- Lee SH, Yim SJ, Kim HC. Aging of the respiratory system. *Kosin Med J*. 2016;31:11–8.
- Lutfi MF. The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements. *Multidiscip Respir Med*. 2017;12:3.
- Botsis T, Mantas J. Mathematical modelling for the study of respiratory mechanics. *Stud Health Technol Inf*. 2003;95:9–14.
- Koutsoukou A, Katsiari M, Orfanos S, Rovina N, Dimitrakopoulou C, Kotanidou A, et al. ARDS in aged patients: Respiratory system mechanics and outcome. *Health Sci J*. 2017;11:2.
- Andrew L. *Nunn's Applied Respiratory Physiology*. 8th edition Edinburgh, New York: Elsevier; 2016.
- Ramly E, Kaafarani HM, Velmahos GC. The effect of aging on pulmonary function. *Surg Clin North Am*. 2015;95:53–69.
- Farkhooy A. Lung function in relation to exercise capacity in health and disease [Doctoral thesis]. Uppsala University, Disciplinary Domain of Medicine and Pharmacy, Faculty of Medicine; 2017.
- Hirata K, Nishihara M, Kimura T, Shiraishi J, Hirano S, Kitajima H, et al. Longitudinal impairment of lung function in school-age children with extremely low birth weights. *Pediatr Pulmonol*. 2017;52:779–86.
- Triebner K, Matulonga B, Johannessen A, Suske S, Benediktsdóttir B, Demoly P, et al. Menopause is associated with accelerated lung function decline. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;195:1058–65.
- Campisi J. Cellular senescence and lung function during aging. Yin and Yang. *Ann Am Thorac Soc*. 2016;13:S402–6.
- Dratva J, Zemp E, Dharmage SC, Accordini S, Burdet L, Gislason T, et al. Early life origins of lung ageing: Early life exposures and lung function decline in adulthood in two European cohorts aged 28–73 years. *PLoS One*. 2016;11:e0145127.
- Quanjer PH, Capderou A, Mazicioglu MM, Aggarwal AN, Banik SD, Popovic S, et al. All-age relationship between arm span and height in different ethnic groups. *Eur Respir J*. 2014;44:905–12.
- Ruffino R, Costa CH, Lopes AJ, Maiworn AI, Maynard K, Silva LM, et al. Spirometry reference values in the Brazilian population. *Braz J Med Biol Res*. 2017;50:e5700.
- Wun YT, Chan MSH, Wong NM, Kong AYF, Lam TP. A curvilinear nomogram of peak expiratory flow rate for the young. 2013;50:39–44.

44. Kodgule RR, Singh V, Dhar R, Saicharan BG, Madas SJ, Gogtay JA, et al. Reference values for peak expiratory flow in Indian adult population using a European Union scale peak flow meter. *J Postgrad Med.* 2014;60:123.
45. Thompson BT, Johns DP, Bailey M, Raven J, Walters EH, Abramson MJ. Prediction equations for single breath diffusing capacity (DLCO) in a middle aged Caucasian population. *Thorax.* 2008;63:889–93.
46. Watson RA, Pride NB, Thomas EL, Fitzpatrick J, Durighel G, McCarthy J, et al. Reduction of total lung capacity in obese men: Comparison of total intrathoracic and gas volumes. *J Appl Physiol.* 2010;108:1605–12.
47. Babb TG, Wyrick BL, DeLorey DS, Chase PJ, Feng MY. Fat distribution and end-expiratory lung volume in lean and obese men and women. *Chest.* 2008;134:704–11.
48. Fernandez-Bustamante A, Hashimoto S, Serpa A, Moine P, Vidal Melo MF, Repine JE. Perioperative lung protective ventilation in obese patients. *BMC Anesthesiol.* 2015;15:56.
49. Al Ghobain M. The effect of obesity on spirometry tests among healthy non-smoking adults. *BMC Pulm Med.* 2012;12:10.
50. McCallister JW, Adkins EJ, O'Brien JM. Obesity and acute lung injury. *Clin Chest Med.* 2009;30:495–508, viii.
51. Ochs-Balcom HM, Grant BJ, Muti P, Sempos CT, Freudenheim JL, Trevisan M, et al. Pulmonary function and abdominal adiposity in the general population. *Chest.* 2006;129:853–62.
52. Herrejón A, Inchaurrega I, Palop J. Pulmonary function in morbid obesity: Influence of sex and body distribution. *J Obes Weight Loss Ther.* 2016;6:318.
53. Salome CM, King GG, Berend N. Physiology of obesity and effects on lung function. *J Appl Physiol.* 2010;108:206–11.
54. Littleton SW, Tulaimat A. The effects of obesity on lung volumes and oxygenation. *Respir Med.* 2017;124:15–20.
55. Verbraecken J, McNicholas WT. Respiratory mechanics and ventilatory control in overlap syndrome and obesity hypoventilation. *Respir Res.* 2013;14:132.
56. Lafortuna CL, Agosti F, Galli R, Busti C, Lazzar S, Sartorio A. The energetic and cardiovascular response to treadmill walking and cycle ergometer exercise in obese women. *Eur J Appl Physiol.* 2008;103:707–17.
57. Das D, Mondal H, Patnaik M. Study of dynamic lung function parameters in normal, overweight, and thin school boys. *J Sci Soc.* 2017;44:36.
58. Dundas I, Marlin N, Jamaludin J, Mudway I, Wood H, Cross L, et al. Ethnic and nutritional determinants of respiratory function in East London children. *Eur Respir J.* 2013;42:3496.
59. Schwartz AR, Patil SP, Laffan AM, Polotsky V, Schneider H, Smith PL. Obesity and obstructive sleep apnea. *Proc Am Thorac Soc.* 2008;5:185–92.
60. Beuther DA. Recent insight into obesity and asthma. *Curr Opin Pulm Med.* 2010;16:64–70.
61. Townsend EA, Miller VM, Prakash YS. Sex Differences and Sex Steroids in Lung Health and Disease. *Endocr Rev.* 2012;33:1–47.
62. Becklake M, Kauffmann F. Gender differences in airway behaviour over the human life span. *Thorax.* 1999;54:1119–38.
63. Bellemare F, Jeanneret A, Couture J. Sex differences in thoracic dimensions and configuration. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;168:305–12.
64. Hemmes AR. Gender, Sex Hormones and Respiratory Disease: A Comprehensive Guide. Cham: Humana Press; 2015.
65. Jagia GJ, Hegde RR. Gender differences in pulmonary function. *Int J Biomed Res.* 2014;5:379–82.
66. Smith JR, Brown KR, Murphy JD, Harms CA. Does menstrual cycle phase affect lung diffusion capacity during exercise? *Respir Physiol Neurobiol.* 2015;205:99–104.
67. Aliverti A. The respiratory muscles during exercise. *Breathe.* 2016;12:165–8.
68. Sheel AW, Dominelli PB, Molgat-Seon Y. Revisiting dysanapsis: Sex-based differences in airways and the mechanics of breathing during exercise. *Exp Physiol.* 2016;101:213–8.
69. Joyner MJ. Physiological limits to endurance exercise performance: Influence of sex. *J Physiol.* 2017;595:2949–54.
70. Bouwsema MM, Tedjasaputra V, Stickland MK. Are there sex differences in the capillary blood volume and diffusing capacity response to exercise? *J Appl Physiol.* 2017;122:460–9.
71. Naitoh S, Tomita K, Sakai K, Yamasaki A, Kawasaki Y, Shimizu E. The effect of body position on pulmonary function, chest wall motion, and discomfort in young healthy participants. *J Manipulative Physiol Ther.* 2014;37:719–25.
72. Mase K, Tagami M, Imura S, Tomita K, Monma M, Nozoe M, et al. Regional lung volume differences between the side-lying and semi-prone positions. *J Phys Ther Sci.* 2016;28:1020.
73. Romei M, Mauro AL, d'Angelo MG, Turconi AC, Bresolin N, Pedotti A, et al. Effects of gender and posture on thoraco-abdominal kinematics during quiet breathing in healthy adults. *Respir Physiol Neurobiol.* 2010;172:184–91.
74. Ganapathi LV, Vinoth S. The estimation of pulmonary functions in various body postures in normal subjects. *Int J Adv Med.* 2017;2:250–4.
75. Hudson AL, Joulia F, Butler AA, Fitzpatrick RC, Gandevia SC, Butler JE. Activation of human inspiratory muscles in an upside-down posture. *Respir Physiol Neurobiol.* 2016;226:152–9.
76. Jyothi NS, Kumar GY. Effect of different postures on peak expiratory flow rate and peak inspiratory flow rate on healthy individuals. *Int J Phys Educ Sports Health.* 2015;1:42–5.
77. Peces-Barba G, Rodríguez-Nieto MJ, Verbanck S, Paiva M, González-Mangado N. Lower pulmonary diffusing capacity in the prone vs. supine posture. *J Appl Physiol.* 2004;96:1937–42.
78. Palermo P, Cattadori G, Bussotti M, Apostolo A, Contini M, Agoni P. Lateral decubitus position generates discomfort and worsens lung function in chronic heart failure. *Chest.* 2005;128:1511–6.
79. Sonnappa S, Lum S, Kirkby J, Bonner R, Wade A, Subramanya V, et al. Disparities in pulmonary function in healthy children across the Indian urban-rural continuum. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;191:79–86.
80. Saad NJ, Patel J, Minelli C, Burney PG. Explaining ethnic disparities in lung function among young adults: A pilot investigation. *PLoS One.* 2017;12:e0178962.
81. Kiefer EM, Hankinson JL, Barr RG. Similar relation of age and height to lung function among Whites, African Americans, and Hispanics. *Am J Epidemiol.* 2011;173:376–87.
82. Braun L. Race, ethnicity and lung function: A brief history. *Can J Respir Ther.* 2015;51:99–101.
83. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: The global lung function 2012 equations. *Eur Respir J.* 2012;40:1324–43.