



REVISIÓN

La función pulmonar, factores físicos que la determinan y su importancia para el fisioterapeuta

M.C. Valenza^{a,*}, L. Martín Martín^a, M. Botella López^b, Y. Castellote Caballero^c,
F. Revelles Moyano^a, M. Serrano Guzmán^a, I. Torres Sánchez^a y G. Valenza Demet^a

^a Departamento de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Granada, Granada, España

^b Laboratorio de Antropología Física y Forense, Facultad de Medicina, Universidad de Granada, Granada, España

^c Complejo Hospitalario Virgen de las Nieves, Sistema Andaluz de Salud, Granada, España

Recibido el 10 de octubre de 2011; aceptado el 22 de febrero de 2012

Disponible en Internet el 12 de abril de 2012

PALABRAS CLAVE

Sexo;
Peso;
Talla;
Raquis;
Pruebas de Función
Respiratoria

Resumen

Introducción: El fisioterapeuta emplea, dentro de sus herramientas de valoración, aquellas destinadas a la medición de la función pulmonar. Todos los factores que afectan la función pulmonar deben ser conocidos de manera exhaustiva por el fisioterapeuta. Este trabajo pretende esclarecer aquellos factores, de carácter físico, que condicionan la función pulmonar.

Objetivo: Revisar la bibliografía disponible que relacione los factores físicos que influyen en la función pulmonar.

Estrategia de búsqueda: Revisión bibliográfica sistemática en las bases de datos: CINAHL, ScienceDirect, Ovid, Scopus y PubMed. Con antigüedad inferior a 25 años.

Síntesis de resultados: Se obtuvo un número total de 90 artículos. Los autores han reconocido que entre los factores físicos de la función pulmonar se encuentran la edad, el sexo, la talla, el peso y el grupo étnico. A estos factores se han sumado en los últimos años, gracias a numerosos autores, los musculoesqueléticos, como la morfología de la caja torácica y el desarrollo muscular.

Conclusiones: Los diferentes estudios asocian la edad, el sexo, la raza, el peso y la altura, y los factores musculoesqueléticos torácicos a la función pulmonar. Sin embargo, son necesarios más estudios que expliquen esta influencia.

© 2011 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: cvalenza@ugr.es (M.C. Valenza).

KEYWORDS

Sex;
 Body Weight;
 Body height;
 Rachis;
 Respiratory Function
 Tests

Pulmonary function, the physical factors that determine it and its importance for the physiotherapist
Abstract

Introduction: Within their assessment tools, the physical therapist uses those designated for the measurement of lung function. Having extensive knowledge about the physical factors affecting normal lung function is important for the physical therapist. This paper aims to clarify those physical factors that condition pulmonary function.

Aims: To review the bibliography available that relate the physical factors having an influence on pulmonary function.

Search strategy: The search was made with the following databases: CINAHL, Ovid, Scopus, ScienceDirect and PubMed, with time antiquity limited to the last 25 years.

Synthesis of results: A total of 90 articles were obtained from the search. The authors have stated that physical factors of pulmonary function include age, sex, height, weight and ethnic group. In recent year, many authors have also added musculoskeletal factors, morphology of the thoracic cavity and muscle development.

Conclusions: The different studies associate age, sex, race, height and weight and thoracic musculoskeletal factors to pulmonary function. However, more studies are needed to explain this influence.

© 2011 Asociación Española de Fisioterapeutas. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La fisioterapia, como disciplina, ha evolucionado en los últimos años hacia una monitorización exhaustiva de las intervenciones y de los seguimientos terapéuticos. Este incremento en la calidad asistencial se ha basado, en gran medida, en el manejo de un gran arsenal de métodos y técnicas de evaluación.

La valoración cardiorrespiratoria posee gran validez y es un referente innegable en las intervenciones de todo personal sanitario involucrado en la asistencia a pacientes con patología cardíaca o pulmonar.

La espirometría, la pletismografía, las pruebas de imagen torácica, las presiones respiratorias, las gasometrías, etc., son algunas de las pruebas de valoración respiratoria utilizadas a menudo en la práctica clínica; el fisioterapeuta debe conocer de manera exhaustiva su interpretación y los factores que pueden afectar a su resultado.

Las pruebas de función pulmonar se han simplificado y facilitado su uso¹. Sin embargo, la herramienta que favorece la definición de los resultados obtenidos en las pruebas son las tablas de valores estándares creadas para grupos poblacionales. A través de las tablas de valores normales, es bastante sencillo comparar la severidad de un proceso patológico o la ratio de recuperación que tiene lugar en los pulmones del paciente.

Estas tablas, creadas por las diferentes sociedades neurológicas, observan la mayoría de los factores que aportan variabilidad a estos valores como son la edad, el sexo, el peso y la talla.

Sin embargo, cómo repercuten en la función pulmonar y en qué medida, son aspectos que siguen siendo objeto de estudio en la actualidad.

Metodología**Estrategia de búsqueda**

Se ha revisado de manera sistemática la literatura que vincula la función pulmonar con los factores físicos corporales utilizando los términos «pulmonary function», «pulmonary reference values» y «pulmonary capacities» asociados a los términos «physical factors», «obesity», «age», «sex», «race» y «toracic measures».

La búsqueda se ha desarrollado en las bases de datos: CINAHL, ScienceDirect, Ovid, Scopus y PubMed. La búsqueda ha sido duplicada de manera paralela e independiente por 2 investigadores (MV y LM) y se han valorado las discrepancias para mayor fiabilidad de los resultados obtenidos.

Selección de estudios y datos

Se incluyó como límite una antigüedad inferior a 25 años y tan solo ensayos clínicos y revisiones sistemáticas.

Resultados

Tras obtener un total de 139 artículos, descartándose aquellos que eran ensayos clínicos realizados en animales, quedaron un total de 90, que fueron incluidos en nuestro estudio.

Los diferentes autores han mostrado en poblaciones tanto sanas como patológicas, que existe una relación directa entre la función pulmonar y los factores físicos que se detallan a continuación.

Edad

La relación entre los procesos de crecimiento y envejecimiento y los cambios en la función pulmonar ha sido una de las más estudiadas en los últimos 20 años.

La relación de los procesos de envejecimiento con numerosas patologías ha dificultado su definición y estudio.

Goldman, en 1959, fue el primero en demostrar que junto con la reducción de la altura con la edad² también se producía una reducción en las capacidades pulmonares.

El proceso de envejecimiento se caracteriza por una pérdida de fuerza muscular, una reducción de la capacidad cardiovascular y una reducción de la movilidad articular, resultando en una disminución general de la capacidad física que incluye: menor capacidad de transporte de oxígeno en sangre, menor trabajo cardíaco, compliance de la caja torácica reducida y alteraciones de la percepción del esfuerzo³⁻⁵.

Así se explica parcialmente el descenso de los valores promedio de flujos espiratorios y de las presiones máximas generadas⁶ y una reducción de movilidad de la articulación costovertebral⁷; estos cambios pueden causar una mecánica pobre de la respiración durante el ejercicio.

Estas alteraciones en el envejecimiento fueron descritas hace 40 años por primera vez, admitiéndose a través de pequeños estudios de adultos jóvenes comparados con sujetos ancianos⁸. Demostraban que la edad no provoca cambios en el tamaño pulmonar (capacidad pulmonar total), sin embargo, la capacidad funcional residual (FRC) y el volumen residual aumentan mientras que la capacidad vital y la inspiratoria declinan a lo largo de la vida⁹.

Jones et al.¹⁰ en 2000 publicaron un estudio sobre la función pulmonar en recién nacidos y encontraron que el volumen pulmonar crece muy rápido durante el primer año de vida y que se encuentra en relación proporcional a la altura del niño, por lo que los valores de referencia para este grupo deben observar esta aceleración en el aumento del volumen pulmonar y su interacción para con el crecimiento en altura.

Sexo

Los hombres poseen mayores valores de función pulmonar que las mujeres aun con los mismos rangos de peso y edad¹¹.

La comunidad científica ha asumido durante muchos años que las mujeres adultas poseen menores valores de capacidad de difusión pulmonar, menores volúmenes pulmonares y menores flujos espiratorios máximos comparados con los de los hombres a igual edad y altura^{12,13}, sin conocer de manera profunda el motivo de estas diferencias.

Una de las teorías postuladas al respecto¹⁴ achaca esta diferencia a la distinta cantidad y distribución de la grasa corporal. Sin embargo, las diferencias en la composición de la grasa corporal entre géneros justificaría alrededor de un 7-10% de las diferencias en los valores VO_2 .

Las diferencias entre géneros en movilidad torácica y abdominal justificarían parcialmente las diferencias en los valores de función pulmonar.

El rango de los movimientos respiratorios normales de hombres y mujeres no son significativamente diferentes, pero la respiración profunda de las mujeres presenta unos

movimientos relevantemente menores que los de los hombres.

Es decir, los patrones respiratorios de hombres y mujeres son bastante similares excepto por el tipo y rango de los movimientos de respiración profunda¹⁵.

Además, según el estudio de Verschakelen y Demedts, los hombres pueden poseer hasta un 20% más de expansión torácica que las mujeres en cada uno de los 3 planos de movimiento¹⁶.

A estos elementos podemos añadirles que según diversos estudios^{17,18} para las mujeres el tiempo de inspiración es ligeramente más corto que el tiempo espiratorio respecto a los hombres; en la mayoría de estos, como en el de James et al.¹⁸, la función pulmonar se aborda como si el único factor diferencial fuese el mecánico¹⁹⁻²¹.

Los elementos aceptados por la comunidad científica que explican las diferencias en la función pulmonar entre sexos son: diferencias en la capacidad de difusión de oxígeno y diferencias en los factores mecánicos de la función respiratoria, como son el tamaño de la caja torácica y la movilidad abdominal.

Talla

Durante el desarrollo se dan modificaciones en la altura y la talla que se relacionan con cambios en los valores de volúmenes pulmonares²². La capacidad vital pulmonar (capacidad vital forzada [FVC]) tiene una alta correspondencia con la longitud corporal; sin embargo, tras esta, la edad es el siguiente factor esencial²³.

La longitud de la pierna es el marcador de las influencias ambientales en el crecimiento infantil antes de la pubertad, ya que la altura se convierte en una buena guía de crecimiento atribuible a la pierna. La altura se convierte en una guía apta para el volumen del tórax y por tanto se mostraría como en directa proporción al tamaño pulmonar.

Peso

La variable peso ha sido tratada en la mayoría de los estudios consultados como parte del índice de masa corporal (IMC) o como distribución de la grasa corporal. En un limitado grupo de estudios, que hemos decidido incluir en esta revisión, se ha abordado el peso como derivado de nivel alimenticio.

En el estudio de Lazarus et al.²⁴ se explora una reducción de la función pulmonar directamente proporcional al incremento de la grasa corporal. Por ello sería razonable en el seguimiento individual de los valores de función pulmonar de un paciente tener en cuenta las variaciones de peso, ya que en varones adultos se han registrado reducciones del volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV₁) por cada kg ganado de peso, de entre 13,9 y 23 ml/kg²⁵⁻²⁸.

La distribución de la grasa corporal, sobre todo su depósito a nivel abdominal, ha sido objeto de investigación debido a su repercusión sobre la función respiratoria^{29,30}.

La acumulación de tejido graso repercute negativamente en la función ventilatoria de adultos^{28,31,32} y niños³³, encontrándose que un aumento del IMC se encuentra normalmente asociado a una reducción del FEV₁, la FVC, la capacidad pulmonar total, la capacidad residual funcional y el volumen espiratorio de reserva (ERV).

Restricciones torácicas se encuentran a menudo asociadas a la obesidad y se atribuyen a los efectos mecánicos de la grasa en el diafragma y la caja torácica³⁴.

La debilidad de estos músculos en la obesidad se asocia a ineficiencia muscular, reducción de la compliance de la caja torácica en un 25% en obesidades sin complicaciones³⁴⁻³⁶ y un 40% en obesidades con síndromes de hipoventilación³⁷, y la resistencia de las vías aéreas se incrementa³⁴.

Estudios en adultos de mediana edad han demostrado que ambos extremos en el peso corporal se asocian a valores bajos de FVC³⁸⁻⁴⁰.

Con el envejecimiento las personas tienden a aumentar de peso, la cantidad de grasa corporal tiende a aumentar, y su masa muscular tiende a disminuir^{41,42}. Eso puede dar como resultado una proporción inversa entre peso corporal y volúmenes pulmonares, especialmente FRC y ERV^{34,43-45}.

Estado nutricional y función pulmonar

Modificaciones en el estado nutricional, como la malnutrición, tienen efectos adversos sobre el sistema respiratorio: dañando el movimiento ventilatorio, disminuyendo la fuerza muscular de los músculos respiratorios y reduciendo la inmunidad^{46,47}. Sin embargo, son escasos los estudios realizados a este respecto.

Diferentes investigaciones han demostrado que en pacientes desnutridos la presión espiratoria máxima podía verse reducida en el 59%, y la inspiratoria en el 43%^{40,48,49}. Sin embargo, estas alteraciones no se traducen clínicamente en signos de disfunción respiratoria severa, pero sí determinan una mayor necesidad de soporte con ventilación mecánica.

En el estudio realizado por Arora y Rochester⁵⁰, con enfermos malnutridos sin enfermedad respiratoria, se encontró que la fuerza muscular respiratoria valorada por las presiones respiratorias estaba reducida de forma importante, así como la capacidad vital y la ventilación voluntaria máxima (en proporción directa al grado de debilidad muscular). La pérdida de fuerza muscular fue directamente proporcional a la pérdida de peso.

Tirlapur y Mir⁵¹ demostraron que una baja ingesta de calorías y carbohidratos disminuye la pCO₂ arterial y mejora la fuerza de la musculatura respiratoria en pacientes con sobrepeso, hipercapnia y limitación crónica del flujo aéreo. Sin embargo, en pacientes con peso normal, la disminución de peso deteriora la función respiratoria⁴¹.

El estudio de Tabak et al. en 1999 aborda las relaciones entre función pulmonar y diferentes tipos de dietas alimenticias⁵². No encontraron resultados sólidos de interrelación entre ingesta de los alimentos anteriores y función pulmonar.

La magnitud de los efectos dietéticos individuales en la función pulmonar ha sido explorada de manera escasa⁵³.

Grupo étnico

A lo largo de los años, numerosos autores⁵⁴⁻⁵⁶ han explicado las diferencias en la función pulmonar entre grupos étnicos basándose en diferencias antropométricas o de construcción corporal⁵⁷⁻⁶².

Sin embargo, en 2004 Antonisen⁶³ abordaba en un editorial del *Canadian Respiratory Journal* que el grupo étnico es un parámetro cada vez menos válido no solo para la función

pulmonar, sino en cualquier aspecto. Por ello, desde entonces, numerosos autores suman a los rasgos raciales factores socioeconómicos que han demostrado tener una importante influencia en los valores de función pulmonar.

Aun así, el estudio NHANES III (Third National Health and Nutrition Examination Survey)⁶⁴, realizado de 1988 a 1994, muestra que la diferencia entre función pulmonar de distintos grupos de población no se puede explicar completamente por diferencias en los hábitos de vida. Pero diferentes investigadores afirman que esta estrategia no resuelve de manera firme las diferencias en los valores de función pulmonar entre distintos grupos⁶⁵⁻⁶⁸.

Factores como los genéticos y los medioambientales, incluyendo salud infantil, polución o tabaquismo en el entorno, estatus nutricional y la práctica de ejercicio físico, que no han sido centrales en el resto de las investigaciones, aparecen como justificatorios de las diferencias, no solo entre grupos de población sino a lo largo del tiempo en los mismos grupos⁶⁹. Mostrando que los valores de función pulmonar no son estáticos, sino que evolucionan y se modifican no solo con los factores físicos de los sujetos, sino con los cambios medioambientales⁶⁹.

Factores musculoesqueléticos

Los factores musculoesqueléticos como el tamaño y la forma de la caja torácica, la postura y alteraciones del raquis y la fuerza de los músculos respiratorios han sido relacionados por diferentes autores con las variaciones de los valores de función pulmonar⁷⁰.

La cavidad torácica define las presiones que permiten la respiración a través de su movimiento y, además, determina el tamaño de los pulmones, ya que dependen del movimiento de la caja torácica.

La postura, debido al efecto gravitatorio de las vísceras abdominales sobre el diafragma, influencia la medida de la capacidad vital⁷¹.

Numerosos estudios sugieren una correlación entre la función pulmonar y alteraciones espinales y torácicas⁷². La magnitud de la curva, el número de vértebras implicadas, la ubicación de la curva y la disminución en una cifosis torácica independiente contribuyen a la restricción pulmonar, pero la fuerza de esas asociaciones es variable determinando así el grado de afectación de la función pulmonar⁷³.

En el caso de las alteraciones del raquis sin duda el ámbito más explorado ha sido la relación entre escoliosis y función pulmonar^{74,75}.

La función pulmonar estudiada en pacientes con escoliosis se encuentra relacionada con una restricción de los volúmenes pulmonares, una pobre extensibilidad de la caja torácica y un movimiento diafragmático con problemas.

En el caso de los volúmenes espiratorios e inspiratorios, el volumen pulmonar del lado de la concavidad de la curva escoliótica se encuentra significativamente reducido durante ambos tiempos respiratorios⁷⁶. En el lado de la convexidad el volumen se encuentra reducido tan solo durante la espiración^{72,77,78}. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el cambio entre los diámetros de la caja torácica.

También se encuentra en diferentes investigaciones una relación negativa significativa entre el ángulo de Cobb y la

amplitud de los diámetros de la caja torácica a nivel del ápex vertebral, y en las alturas diafragmáticas.

Sin embargo, en el estudio de Denison et al.⁷⁹ se afirma que la disminución de los volúmenes pulmonares no puede ser teóricamente explicada en base a la flexión lateral o en términos de deformidades de la caja torácica. Algunos autores, como Mead¹², encuentran que la forma anormal y asimétrica del diafragma es la responsable de la expansión incorrecta de la parrilla costal inferior, proponiendo que la menor capacidad pulmonar en la escoliosis es debida parcialmente a un defecto mecánico en el trabajo coordinado entre los músculos inspiratorios y la caja torácica⁸⁰.

Kotani et al.⁸¹, en 2004, encuentran que los movimientos respiratorios de la caja torácica se encuentran significativamente restringidos en pacientes con escoliosis⁸². Otros autores encuentran que niños con escoliosis tienen una compliance reducida, que la caja torácica por sí misma no es suficientemente rígida⁸³, mientras que Jones et al.⁷³ afirman que el tórax en niños con escoliosis es similarmente móvil al de los niños normales.

En resumen, la asociación entre las deformidades torácicas y raquídeas y la reducción de la función pulmonar es reconocida. Sin embargo, los elementos que determinan dicha reducción son fuente de controversia. Las diferentes fuentes relacionan estos valores con restricciones en la movilidad torácica, alteraciones de las propiedades elásticas y resistivas pulmonares, y alteraciones del trabajo coordinado de la musculatura respiratoria, sin determinar en qué medida son todos estos factores o tan solo algunos de ellos.

Conclusión

A partir de la bibliografía, podemos decir que los llamados factores físicos de la función pulmonar se encuentran en constante evolución debido a que son un área en estudio. La necesidad de determinar los elementos que repercuten en la función pulmonar en la persona normal y el grado de esta nace de una exigencia clínica diagnóstica que mejora no solo el tratamiento sino el pronóstico.

De todos los factores aceptados por la comunidad científica encontramos que todos ellos se encuentran en constante estudio y revisión ya que evolucionan al igual que evoluciona el ser humano.

Los factores físicos que determinan la función pulmonar que han sido reconocidos por el momento son la edad, el sexo, el grupo étnico, la talla, el peso y los factores musculoesqueléticos. Sin embargo, la razón de su influencia en los valores respiratorios no se encuentra clara en la mayoría de los casos. En el caso del grupo étnico aparece como un parámetro no válido para tener en cuenta en la medición de la función pulmonar, ya que se contaminan de numerosos parámetros a tener en cuenta, como los genéticos y los medioambientales.

Para concluir, desde nuestro punto de vista y a pesar de las diferencias entre autores, todos los factores se encuentran como determinantes de la función pulmonar, pero no todos aparecen como cuantificables, como el caso del grupo étnico, debido a la dificultad de incluir a los individuos en un grupo u otro. A partir de los resultados descritos en la bibliografía también podemos afirmar que los factores

cuantificables han de ser tenidos en cuenta en las mediciones de la función pulmonar, debido al gran peso que tienen sobre esta, suponiendo alteraciones del orden de un 15-20% sobre los valores predichos.

Sin duda, la importante repercusión de la movilidad y morfología torácicas sobre la función pulmonar y la ventilación que ha quedado reflejada en nuestra revisión abre un campo de investigación de gran repercusión para la fisioterapia. Futuras investigaciones habrán de ser desarrolladas para verificar las posibilidades que la fisioterapia puede abrir en este sentido.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Miller MR, Crapo R, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, et al. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J*. 2005;26:153-61.
2. Goldman HI, Becklake MR. Respiratory function tests; normal values at median altitudes and the prediction of normal results. *Am Rev Tuberc*. 1959;79:457-67.
3. Roubenoff R. Origins and clinical relevance of sarcopenia. *Can J Appl Physiol*. 2001;26:78-89.
4. Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer PA, Paterson DH. Age-related changes in speed of walking. *Med Sci Sports Exerc*. 1988;20:161-6.
5. Ehsani AA. Cardiovascular adaptations to exercise training in the elderly. *Fed Proc*. 1987;46:1840-3.
6. Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressure: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis*. 1969;99:696-702.
7. Janssens JP, Pache JC, Nicod LP. Physiological changes in respiratory function associated with ageing. *Eur Respir J*. 1999;13:197-205.
8. Pride NB. Ageing and changes in lung mechanics. *Eur Respir J*. 2005;26:563-5.
9. Cohn JE, Donoso HD. Mechanical properties of lung in normal men over 60 years old. *J Clin Invest*. 1963;42:1406-10.
10. Jones M, Castile R, Davis S, Kisting J, Filbrun D, Flucke R, et al. Forced expiratory flows and volumes in infants: normative data and lung growth. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161:353-9.
11. McClaran SR, Harms CA, Pegelow DF, Dempsey JA. Smaller lungs in women affect exercise hyperpnea. *J Appl Physiol*. 1998;84:1872-81.
12. Mead J. Dysanapsis in normal lungs assessed by the relationship between maximal flow, static recoil, and vital capacity. *Am Rev Respir Dis*. 1980;121:339-42.
13. Harms CA, McClaran SR, Nickle GA, Pegelow DF, Nelson WB, Dempsey JA. Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy young women. *J Physiol*. 1998;61:619-28.
14. Schwartz J, Katz SA, Fegley SA, Tockman RW. Sex and race differences in the development of lung function. *Am Rev Respir Dis*. 1988;138:1415-21.
15. Ragnarsdóttir M, Kristinsdóttir EK. Breathing movements and breathing patterns among healthy men and women 20-69 years of age. *Respiration*. 2006;73:48-54.
16. Verschakelen J, Demedts M. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995;151:399-405.

17. Tobin MJ, Chadha TS, Jenouri G, Birch SJ, Gazeroglu HB, Sackner MA. Breathing patterns. 1. Normal subjects. *Chest*. 1983;84:202–5.
18. Jammes Y, Auran Y, Gouvernet J, Delpierre S, Grimaud C. The ventilation pattern of conscious men according to age and morphology. *Bull Eur Physiopathol Respir*. 1979;15:527–40.
19. Hillegass E, Sadowsky H. *Essentials of Cardiopulmonary Physical Therapy*. 2.^a ed. Filadelfia: Saunders; 2001.
20. Pryor J, Prasad S. *Physiotherapy for Respiratory and Cardiac Problems. Adults and Paediatrics*. 3.^a ed. Edimburgo: Churchill Livingstone; 2002.
21. Loveridge B, West P, Anthonisen N, Kryger M. Breathing patterns in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Dis*. 1984;130:730–3.
22. Degroot EG, Quanjer PH, Wise ME, Van Zomeren BC. Changing relationships between stature and lung volumes during puberty. *Respir Physiol*. 1986;65:139–53.
23. Tanner JM, Hayashi T, Preece MA, Cameron N. Increase in length of leg relative to trunk in Japanese children and adults from 1957 to 1977: comparison with British and with Japanese Americans. *Ann Hum Biol*. 1982;9:411–23.
24. Lazarus R, Gore CJ, Booth M, Owen N. Effects of body composition and fat distribution on pulmonary function in adults. *Am J Clin Nutr*. 1998;68:35–41.
25. Cotes JE, Gilson JC. Effect of inactivity, weight gain and antitubercular chemotherapy upon lung function in working coal-miners. *Ann Occup Hyg*. 1967;10:327–35.
26. Bande J, Clément J, van de Woestijne KP. The influence of smoking habits and body weight on vital capacity and FEV1 in male Air Force personnel: a longitudinal and cross-sectional analysis. *Am Rev Respir Dis*. 1980;122:781–90.
27. Chen Y, Horne SL, Dosman JA. Body weight and weight gain related to pulmonary function decline in adults: a six year follow up study. *Thorax*. 1993;48:375–80.
28. Chinn DJ, Cotes JE, Reed JW. Longitudinal effects of change in body mass on measurements of ventilatory capacity. *Thorax*. 1996;51:699–704.
29. Shinohara E, Kihara S, Yamashita S, Yamane M, Nishida M, Arai T, et al. Visceral fat accumulation as an important risk factor for obstructive sleep apnoea syndrome in obese subjects. *J Intern Med*. 1997;241:11–8.
30. Kuczmarski RJ, Flegal KM, Campbell SM, Johnson CL. Increasing prevalence of overweight among US adults. *The National Health and Nutrition Examination Surveys, 1960 to 1991*. *JAMA*. 1994;272:205–11.
31. Lazarus R, Sparrow D, Weiss ST. Effects of obesity and fat distribution on ventilatory function: the normative aging study. *Chest*. 1997;111:891–8.
32. Collins LC, Hoberty PD, Walker JF, Fletcher EC, Peiris AN. The effect of body fat distribution on pulmonary function tests. *Chest*. 1995;107:1298–302.
33. Inselma LS, Milanese A, Deurloo A. Effect of obesity on pulmonary function in children. *Pediatr Pulmonol*. 1993;16:130–7.
34. Gallagher D, Visser M, De Meersman RE, Sepúlveda D, Baumgartner RN, Harris T, et al. Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol*. 1997;83:229–39.
35. Kopelman PG. Altered respiratory function in obesity: sleep disordered breathing and the Pickwickian Syndrome. ed Obesity. Philadelphia, 1992: 568–75.
36. Von Ungern-Sternberg BS, Regli A, Schneider MC, Kunz F, Reber A. Effect of obesity and site of surgery on perioperative lung volumes. *Br J Anaesth*. 2004;92:202–7.
37. Grunstein RR. Pulmonary function, sleep apnea and obesity, *Clinical Obesity*. London: Blackwell Science; 1998. p. 249–289.
38. Dockery DW, Ware JH, Ferris Jr BG, Glicksberg DS, Fay ME, Spiro 3rd A, et al. Distribution of FEV1 and FVC in healthy, white, adult never-smokers in six U.S. cities. *Am Rev Respir Dis*. 1985;131:511–20.
39. McDonnell WF, Seal E. Relationships between lung function and physical characteristics in young adult black and white males and females. *Eur Respir J*. 1991;4:279–89.
40. Dork DS, Pingleton SK. Nutrition and nutritional support in critical ill patient. *J Intensive Care Med*. 1993;8:16–33.
41. Baumgartner RN, Stauber PM, McHugh D, Koehler KM, Garry PJ. Cross-sectional age differences in body composition in persons 60+ years of age. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 1995;50:307–16.
42. Kehayias JJ, Fiatarone MA, Zhuang H, Roubenoff R. Total body potassium and body fat: relevance to aging. *Am J Clin Nutr*. 1997;66:904–10.
43. Zamboni M, Armellini F, Harris T. Effects of age on body fat distribution and cardiovascular risk factors in women. *Am J Clin Nutr*. 1997;66:111–5.
44. Zamboni M, Armellini F, Milani MP. Body fat distribution in pre- and post-menopausal women: metabolic and anthropometric variables and their inter-relationships. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1992;16:495–504.
45. Poehlman ET, Toth MJ, Gardner AW. Changes in energy balance and body composition at menopause: a controlled longitudinal study. *Ann Intern Med*. 1995;123:673–5.
46. Adanson WT, Rombeau JL. *Intensive Care Medicine*. 3.^a ed. Boston: Little & Brown; 1996, 2179–87.
47. Borton RG. Nutrition support in critical illness. *Nutr Clin Pract*. 1994;9:127–39.
48. Cederhalm T, Jagren C, Hellstrom K. Outcome of protein-energy malnutrition in elderly medical patients. *Am J Med*. 1995;98:67–75.
49. Deitel M, Williams UP, Rice TN. Nutrition and the patient requiring mechanical ventilatory support. *J Am Coll Nutr*. 1983;2:25–32.
50. Arora NS, Rochester DF. Respiratory muscle strength and maximal voluntary ventilation in undernourished patients. *Am Rev Respir Dis*. 1982;126:5–8.
51. Tirlapur VG, Mir MA. Effect of low calorie intake on abnormal pulmonary physiology in patients with chronic hypercapnic respiratory failure. *Am J Med*. 1984;77:987–94.
52. Tabak C, Smit HA, Räsänen L, Fidanza F, Menotti A, Nissinen A, et al. Dietary factors and pulmonary function: a cross sectional study in middle aged men from three European countries. *Thorax*. 1999;54:1021–6.
53. Burney P. The origins of obstructive airways disease; a role for diet? *Am J Respir Crit Care Med*. 1995;151:1992–3.
54. Azizi BH, Henry RL. Ethnic differences in normal spirometric lung function of Malaysian children. *Respir Med*. 1994;88:349–56.
55. Wang X, Dockery DW, Wypij D, Fay ME, Ferris BG. Pulmonary function between 6 and 18 years of age. *Pediatr Pulmonol*. 1993;15:75–88.
56. Yang TS, Peat J, Keena V, Donnelly P, Unger W, Woolcock A. A review of the racial differences in the lung function of normal Caucasian, Chinese and Indian subjects. *Eur Respir J*. 1991;4:872–80.
57. Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB. Spirometric reference values from a sample of the general U.S. population. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;159:179–87.
58. Hsi BP, Hsu KH, Jenkins DE. Ventilatory functions of normal children and young adults: Mexican-American, white, and black. III. Sitting height as a predictor. *J Pediatr*. 1983;102:860–5.
59. Strobe GL, Helms RW. A longitudinal study of spirometry in young black and young white children. *Am Rev Respir Dis*. 1984;130:1100–7.
60. Schwartz J, Katz SA, Fegley RW, Tockman MS. Sex and race differences in the development of lung function. *Am Rev Respir Dis*. 1988;138:1415–21.

61. Glindmeyer H, Lefante JJ, McColoster C, Jones RN, Weill H. Blue-collar normative spirometric values for Caucasian and African-American men and women aged 18 to 65. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;151:412-22.
62. Hankinson JL, Kinsley KB, Wagner GR. Comparison of spirometric reference values for Caucasian and African American blue-collar workers. *J Occup Environ Med.* 1996;38:137-43.
63. Antonisen NR. Les valeurs de la fonction pulmonaire normale au Canada. *Can Resp J.* 2004;11:6.
64. Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III). Disponible en: http://www.cdc.gov/nchs/products/elec_prods/subject/nhanes3.htm
65. Harik-Khan RI, Fleg JL, Muller DC, Wise RA. The effect of anthropometric and socioeconomic factors on the racial difference in lung function. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001;164:1647-54.
66. Corey PN, Ashley MJ, Chan-Yeung M. Racial differences in lung function: search for proportional relationships. *J Occup Med.* 1979;21:395-8.
67. White NW, Hanley JH, Laloo UG, Becklake MR. Review and analysis of variation between spirometric values reported in 29 studies of healthy African adults. *Am J Respir Crit Care Med.* 1994;150:348-55.
68. Hsu KH, Jenkins DE, Hsi BP, Bourhofer E, Thompson V, Tanakawa N, et al. Ventilatory functions of normal children and young adults-Mexican-American, white, and black. I. Spirometry. *J Pediatr.* 1979;95:14-23.
69. Ip M, Karlberg E, Karlberg J, Luk K, Leong J. Lung function reference values in Chinese children and adolescents in Hong Kong. I. Spirometric values and comparison with other populations. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;162:424-9.
70. Sanna A, Bertoli F, Misuri G, Gigliotti F, Landelli I, Mancini M, et al. Chest wall kinematics and respiratory muscle action in walking healthy humans. *J Appl Physiol.* 1999;87:938-46.
71. Brodtkin HA. Congenital anterior chest wall deformities of diaphragmatic origin. *Dis Chest.* 1953;24:259-77.
72. Winter RB, Lovell WW, Moe JH. Excessive thoracic lordosis and loss of pulmonary function in patients with idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 1975;7:972-7.
73. Jones RS, Kennedy JD, Hasham F, Owen R, Taylor JF. Mechanical inefficiency of the thoracic cage in scoliosis. *Thorax.* 1981;36:456-61.
74. Chu WC, Li AM, Ng BK, Chan DF, Lam TP, Lam WW, et al. Dynamic magnetic resonance imaging in assessing lung volumes, chest wall, and diaphragm motions in adolescent idiopathic scoliosis versus normal controls. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:2243-9.
75. Leong JC, Lu WW, Luk KD, Karlberg EM. Kinematics of the chest cage and spine during breathing in healthy individuals and in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1999;24:1310-5.
76. Giordano A, Fuso L, Galli M, Calcagni ML, Aulisa L, Pagliari G, et al. Evaluation of pulmonary ventilation and diaphragmatic movement in idiopathic scoliosis using radioaerosol ventilation scintigraphy. *Nucl Med Commun.* 1997;18:105-11.
77. Aaro S, Ohlund C. Scoliosis and pulmonary function. *Spine (Phila Pa 1976).* 1984;9:220-2.
78. Upadhyay SS, Mullaji AB, Luk KD, Leong JC. Relation of spinal and thoracic cage deformities and their flexibilities with altered pulmonary functions in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1995;20:2415-20.
79. Denison DM, Bellamy D, Pierce RJ. Some observations on lung function in scoliosis. En: Zorab PA, Siegler D, editores. *Scoliosis: Proceedings of the Sixth Symposium.* Londres: Academic Press; 1979.
80. Cooper DM, Rojas JV, Mellins RB, Keim HA, Mansell AL. Respiratory mechanics in adolescents with idiopathic scoliosis. *Am Rev Respir Dis.* 1984;130:16-22.
81. Kotani T, Minami S, Takahashi K, Isobe K, Nakata Y, Takaso M, et al. An analysis of chest wall and diaphragm motions in patients with idiopathic scoliosis using dynamic breathing MRI. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29:298-302.
82. Suzuki N, Armstrong GWD, Armstrong J. Application of Moire topography to spinal deformity. En: Morel MS, Pope MH, Armstrong GWD, editores. *Moire Fringe Topography and Spinal Deformity.* New York: Pergamon Press; 1981. p. 225-40.
83. Caro CG, Dubois AB. Pulmonary function in kyphoscoliosis. *Thorax.* 1961;16:282-90.