

# “Relación entre capacidad inspiratoria, volumen residual y volumen de reserva espiratorio y la distancia recorrida en la prueba de caminata de 6 minutos”

“Relationship between inspiratory capacity, residual volume and volume of spiratory reserve and the distance traveled in the 6-minute walk test”

Daniela Catalán Hinojosa<sup>1</sup>, Carlos Osorio Sepúlveda<sup>1</sup>, Abigail Valdés Soto<sup>1</sup>, Mariano del Sol<sup>2</sup>, Pablo A. Lizana<sup>3</sup>,  
Rodrigo Muñoz-Cofre<sup>2,4</sup>.

1. Licenciatura en Kinesiología, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.

2. Programa de Doctorado en Ciencias Morfológicas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

3. Laboratory of Morphological Sciences, Instituto de Biología, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.

4. Docente de Programa de Función Disfunción Ventilatoria, Departamento de Kinesiología, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.

**Título Abreviado:** Relación CI, VR, VRE y distancia recorrida PC6M

**Información del Artículo**

**Recepción:** 2 de Diciembre de 2019

**Aceptación:** 31 de Diciembre de 2019

## RESUMEN

**Introducción:** En sujetos sanos las características estructurales y funcionales del sistema respiratorio repercuten sobre capacidad de realizar ejercicio. Por otra parte, la prueba de caminata en 6 minutos (PC6m), ha demostrado ser una herramienta confiable y accesible. Dentro de todas las variables que ofrece, se encuentra la distancia recorrida (DR), la cual tiene relación con la funcionalidad de cada individuo. **Objetivo:** determinar la relación entre la DR y la capacidad inspiratoria (CI), volumen residual (VR) y el volumen de reserva espiratorio (VRE) en adultos jóvenes. **Método:** En 43 participantes, 21 mujeres y 22 hombres, se midieron flujos, volúmenes pulmonares y la PC6m. **Resultados:** Los flujos espiratorios fueron normales. En los volúmenes pulmonares se observó un aumento del volumen residual para ambos géneros. El análisis de las relaciones entre volúmenes pulmonares y DR fue inversa moderada para CI y directa moderada para VR y VRE. **Conclusiones:** existe relación entre volúmenes pulmonares y DR, la cual, es inversa moderada para CI y directa moderada para VR y VRE. Por lo tanto, la PC6m es una herramienta de bajo costo, no invasiva y alta confiabilidad para evaluar indirectamente la capacidad ventilatoria de adultos jóvenes.

**Palabras clave:** volúmenes pulmonares, prueba de caminata en 6 minutos, distancia recorrida.

## SUMMARY

**Introduction:** In healthy subjects the structural and functional characteristics of the respiratory system impact the ability to exercise. On the other hand, the 6-minute walk test (6mWT) has proven to be a reliable and accessible tool. Among all the variables that offers, it has the traveled distance (TD), the quality to related the functionality of each individual. **Objective:** to determine the relationship between TD with inspiratory capacity (IC), residual volume (RV) and expiratory reserve volume (ERV) in young adults. **Method:** In 43 participants, 21 women and 22 men, flows, lung volumes and 6mWT were measured. **Results:** Expiratory flows were normal. In pulmonary volumes, an increase in residual volume was observed for both genders. The analysis of the relationships between lung volumes and TD was inverse moderate for IC and direct moderate for VR and VRE. **Conclusions:** there is a relationship between lung volumes and TD, the quality is moderate inverse for IC and direct moderate for RV and ERV. Therefore, 6mWT is a low cost, non-invasive and high reliability tool to indirectly assess the ventilation capacity of young adults.

**Keywords:** lung volumes, 6-minute walk test, distance traveled.

## Introducción

En sujetos sanos la correcta función del sistema respiratorio y el control neural de la respiración, satisfacen las demandas ventilatorias de los músculos del aparato locomotor, tanto en reposo como en ejercicio<sup>1</sup>.

Específicamente, durante la respiración en reposo, el volumen espiratorio pulmonar final (VEPF) es igual a la capacidad residual funcional (CRF) y el volumen inspiratorio pulmonar final (VIPF) está ligeramente por encima de la CRF. En el ejercicio, los volúmenes pulmonares cambian para aumentar el volumen corriente (VC), acción dinámica que tiene muchos factores concatenados. Primero, el VEPF disminuirá por debajo de la CRF durante el ejercicio dinámico, permitiendo los músculos respiratorios se contraen a una longitud óptima y aumenten el VC, sin que el VIPF se acerque a la capacidad pulmonar total (CPT)<sup>2</sup>.

En la actualidad no existe duda sobre la relación existente entre la función pulmonar y factores físicos, como la edad, sexo o talla. Lo cual, tendría directa repercusión sobre el rendimiento en actividades cotidianas o que requieran un mayor gasto energético<sup>3</sup>. En este contexto, una estrategia que nos permitiría evaluar la relación sistema respiratorio y rendimiento físico es la prueba de caminata en 6 minutos (PC6m). La PC6m es una herramienta de medición validada que posee un alto porcentaje de confiabilidad<sup>4,5</sup>. Además, permite describir la capacidad aeróbica, es una prueba accesible y que puede ser implementada en la mayoría de los centros de evaluación.

Con el fin de comprender el movimiento funcional y su comportamiento, la exploración de la marcha humana es un fenómeno donde se analizan múltiples variables, una de estas es la distancia recorrida (DR)<sup>3</sup>. Ésta ha demostrado una relación directa con la funcionalidad del individuo, además de ser un buen indicador de tolerancia al ejercicio<sup>5</sup>.

Aquí, la relación con los volúmenes pulmonares ayudaría a explicar el rendimiento en la PC6m. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar la relación entre la DR y la capacidad inspiratoria (CI), volumen residual (VR) y el volumen de reserva espiratorio (VRE) en adultos jóvenes.

## Material y método

### - Participantes

Estudio observacional de corte transversal, se realizó entre los meses de marzo y diciembre del 2018. El tamaño muestral fue calculado en base a una población total de 4.839 estudiantes de pregrado matriculados el año 2016 en la Universidad Católica del Maule, Chile (UCM). Considerando una heterogeneidad del 50%, un margen de error del 15% y un nivel de confianza del 95%, el tamaño de la muestra se compone por 43 participantes, 21 mujeres y 22 hombres. Los criterios de inclusión fueron: ser estudiante regular de la UCM, tener entre 19 y 24 años de edad. Se excluyó a todo participante que: fuera fumador, con patologías respiratorias crónicas o agudas, con limitaciones músculo-esqueléticas que limiten la marcha.

### - Evaluaciones

**Función ventilatoria:** Se realizó una espirometría<sup>6</sup> y la prueba de volúmenes pulmonares<sup>7</sup>, respetando las normativas vigentes de la American Thoracic Society (ATS).

**Prueba de caminata en 6 minutos:** Las evaluaciones se realizaron al aire libre en una superficie plana. El protocolo utilizado fue el de pista circular de 81 metros y estímulo constante<sup>8</sup>. Participaron tres evaluadores: el evaluador 1 dio las instrucciones e incentivó según el protocolo, el evaluador 2 estuvo a cargo del tiempo y el registro de datos, y el evaluador 3 registró el número de vueltas y la DR. A todos los participantes se les midió la frecuencia cardíaca en reposo, bípedo y minuto a minuto durante la PC6m<sup>9</sup>. La sensación subjetiva de disnea (SD) y de fatiga (SF) con una escala Borg modificada<sup>10</sup>.

### - Análisis de datos

Se utilizó el programa estadístico GraphPad Prism (versión 5.0<sup>®</sup>, San Diego, USA). El manejo descriptivo de las variables fue mediante promedio  $\pm$  desviación estándar. Se determinó la normalidad de los datos a través de la prueba de Shapiro-Wilk. Las diferencias entre género, se determinaron con las pruebas t de Student o Mann Whitney, según distribución de los datos. Para establecer la correlación entre CI, VR, VRE y DR se utilizó la prueba r de Pearson. El nivel de significancia estadística se estableció en una  $p < 0,05$ .

Tabla 1: Características sociodemográficas y espirométricas de los participantes en reposo.

Variables	Participantes			Valor p
	Muestra total (n=43)	Mujeres (n = 21)	Hombres (n = 22)	
Edad (años)	21,17 ± 1,24	21,38 ± 1,21	20,95 ± 1,28	0,270 <sup>t</sup>
Peso (kg)	67,05 ± 10,92	59,27 ± 8,52	74,67 ± 6,81	0,0001 <sup>MW</sup>
Talla (m)	1,654 ± 0,09	1,58 ± 0,06	1,73 ± 0,06	0,0001 <sup>t</sup>
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24,36 ± 2,41	23,75 ± 1,98	24,98 ± 2,69	0,098 <sup>t</sup>
CVF (L)	4,478 ± 1,06	3,55 ± 0,24	5,40 ± 0,67	0,0001 <sup>t</sup>
CVF % Pred	107,18 ± 10,35	103,14 ± 7,61	111,23 ± 13,10	-
VEF <sub>1</sub> (L/seg)	3,811 ± 0,83	3,11 ± 0,26	4,51 ± 0,57	0,0001 <sup>t</sup>
VEF <sub>1</sub> % Pred	105,28 ± 11,45	102,76 ± 9,27	107,81 ± 13,64	-
FEF <sub>25-75</sub> (L/seg)	4,112 ± 1,12	3,53 ± 0,68	4,69 ± 1,24	0,0004 <sup>t</sup>
FEF <sub>25-75</sub> % Pred	98,40 ± 21,82	96,62 ± 17,86	100,19 ± 25,78	-
CI (L)	2,892 ± 0,77	2,27 ± 0,34	3,58 ± 0,54	0,0001 <sup>t</sup>
CI % Pred	88,02 ± 0,55	85,71 ± 12,70	90,33 ± 13,94	-
VR (L)	1,817 ± 0,66	1,50 ± 4,42	2,12 ± 0,72	0,001 <sup>t</sup>
VR % Pred	127,87 ± 41,89	121,52 ± 38,24	134,23 ± 45,54	-
VRE (L)	1,367 ± 0,49	1,20 ± 0,29	1,53 ± 0,59	0,029 <sup>t</sup>
VRE % Pred	160,78 ± 56,17	147,85 ± 33,25	173,71 ± 79,10	-
CPT (L)	6,078 ± 1,33	4,94 ± 0,49	7,20 ± 0,84	0,0001 <sup>t</sup>
CPT % Pred	107,52 ± 13,21	107,95 ± 13,74	107,09 ± 12,69	-

Valores presentados como media y desviación estándar. **IMC**: índice de masa corporal; **kg/m<sup>2</sup>**: kilos/metros al cuadrado; **CVF**: capacidad vital forzada; **VEF<sub>1</sub>**: volumen espiratorio forzado al primer segundo; **L**: litros; **Pred**: predicho; **FEF<sub>25-75%</sub>**: flujo espiratorio medio; **L/seg**: litro/segundo; **CI**: capacidad inspiratoria; **VR**: volumen residual; **VRE**: volumen de reserva espiratoria; **CPT**: capacidad pulmonar total; **t**: t-student; **MW**: Mann Whitney.

## Resultados

La Tabla 1 muestra las características sociodemográficas y de función ventilatoria de la muestra estudiada, salvo la edad ( $p=0,270$ ) el resto de las variables presentaron diferencias significativas en la comparación por género. Además de esto, los flujos espiratorios se encuentran normales. En los volúmenes pulmonares se observa un aumento del volumen residual para ambos géneros. El análisis de las relaciones entre volúmenes pulmonares y DR fue inversa moderada para CI y directa moderada para VR y VRE (Figura 1). El análisis por género, arrojó una relación directa moderada y significativa entre VRE y DR (Figura 1).

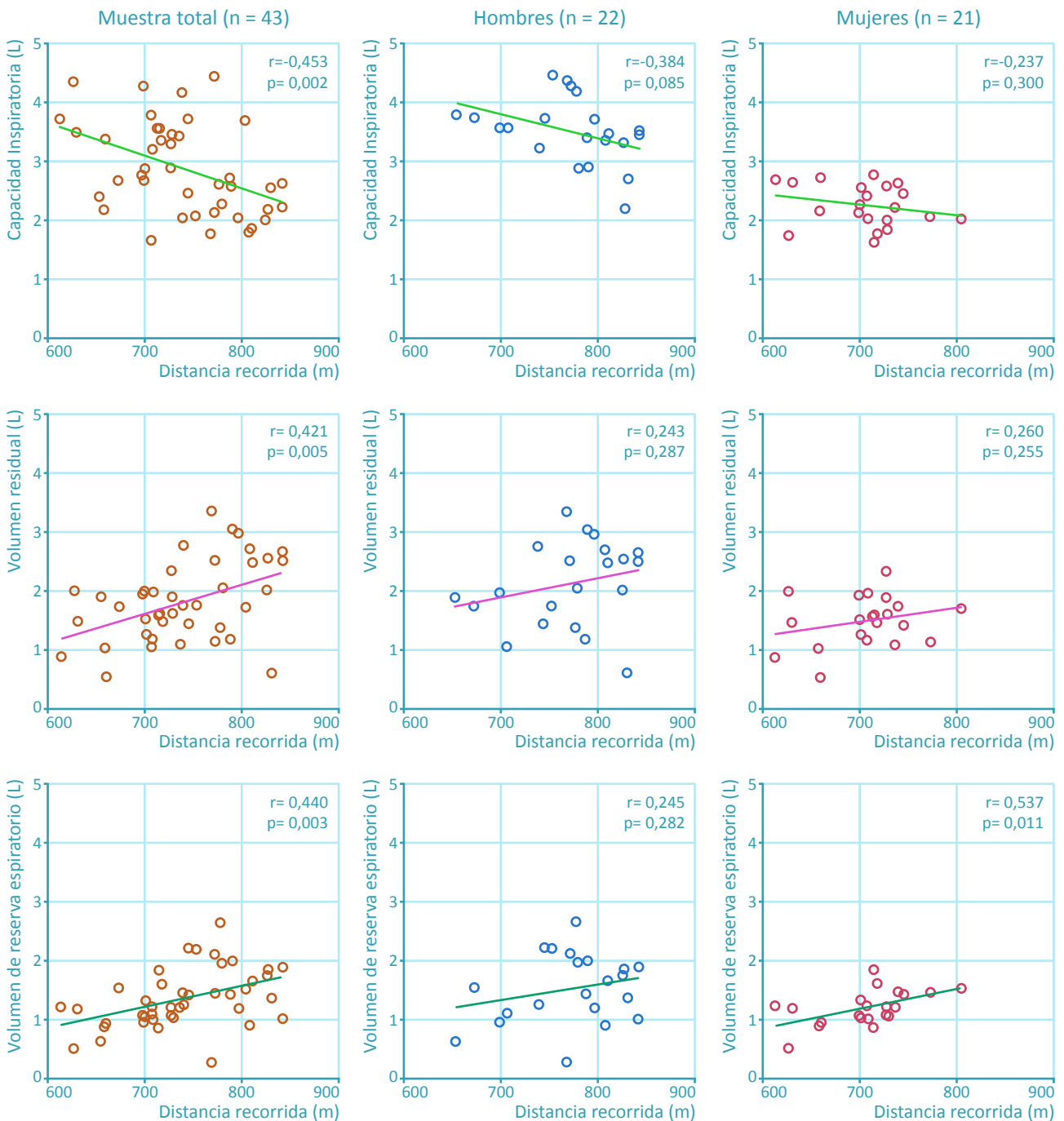
## Discusión

Los principales resultados de ésta investigación fueron las relaciones significativas entre CI-DR, VR-DR y VRE-DR de características inversa moderada y direc-

ta moderada, respectivamente (Figura 1). Si bien, los valores de función ventilatoria se obtuvieron a través de una prueba estática y se correlacionaron con la DR, existe evidencia que respalda la relación directa de volúmenes pulmonares con carga de ejercicio<sup>11,12</sup>.

En sujetos sanos, el flujo espiratorio máximo puede alcanzar la tasa de cualquier volumen pulmonar, estos serían considerablemente mayores durante el ejercicio de cualquier tipo de intensidad, el propósito de esto, es proporcionar un accionar eficiente del diafragma, mantener el VC, además de aumentar en conjunto el VC y el volumen de reserva inspiratoria (VRI). Esto permite que exista una gran reserva para aumentar la ventilación. Específicamente, se eleva el volumen corriente VC predominante y también la frecuencia respiratoria. Aquí, la reducción del VEPF puede superar el 50% del VRE<sup>11</sup>. Esto coincide con los resultados de la presente investigación, en donde a mayor VRE mayor DR (Figura 1). Por lo tanto, hay una gran reserva para aumentar la ventilación en el ejercicio máximo, incluso en indivi-

Figura 1: Relación de los volúmenes pulmonares y la distancia recorrida en la PC6m.

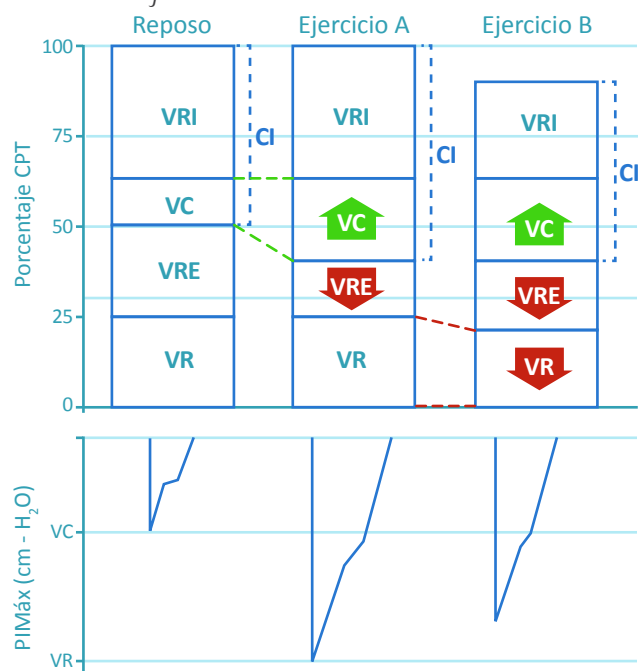


Columna izquierda muestra el comportamiento de la muestra total. Columna central muestra el comportamiento de los hombres. Columna derecha muestra el comportamiento de las mujeres. Prueba estadística utilizada, r de Pearson.

dos que nunca alcanzan su flujo espiratorio máximo, por otra parte, se observó una relación inversa de la CI y la DR. Esto se sustenta con el aumento del VC y la frecuencia respiratoria ya descritos. Específicamente, el “espacio” que deja la disminución del VRE al iniciar el ejercicio, sería utilizado por esta alza del VC y la frecuencia respiratoria (Figura 2). Esto complementaría, a la creencia de la relación directa entre CI y capacidad de realizar ejercicio. Demostrando una interacción entre volúmenes pulmonares y la musculatura inspiratoria frente a altas demandas.

Por otra parte, la disminución de la CRF hace que la presión intra-abdominal aumente por sobre su valor espiratorio final en reposo. Esta contracción almacena energía, que es utilizada en cada ciclo inspiratorio, permitiendo que el diafragma descienda sin obstáculos y, por lo tanto, disminuye su trabajo y aumenta su eficiencia. De este modo, la espiración activa y la disminución de la CRF ayudan a regresar al diafragma a una longitud óptima donde puede generar mayor presión. Entonces, durante el ejercicio, el sistema busca una longitud óptima del diafragma<sup>12</sup>. Los resultados de esta investigación

Figura 2: Propuesta de volúmenes pulmonares y su comportamiento en el ejercicio.



**CPT:** capacidad pulmonar total; **PIMáx:** presión inspiratoria máxima; **VRI:** volumen de reserva inspiratoria; **VC:** volumen corriente; **VRE:** volumen de reserva espiratoria; **VR:** volumen residual; **CI:** capacidad inspiratoria.

La figura está compuesta por el bloque superior que representa los volúmenes pulmonares y el bloque inferior, las presiones asociadas a los volúmenes pulmonares. En la primera columna se observan los volúmenes pulmonares en reposo asociados a la presión inspiratoria máxima necesaria para generar este comportamiento volumétrico. La segunda columna, ejercicio A, grafica cómo el aumento de la frecuencia respiratoria genera un cambio positivo del volumen corriente, esto favorece a la capacidad inspiratoria, la cual no impacta negativamente sobre la capacidad pulmonar total. Esto se genera a expensas del volumen de reserva espiratorio. Aquí, el volumen residual se mantiene sin cambios, esto da estabilidad a la caja torácica y también contribuye a una óptima presión inspiratoria máxima. Por otra parte, en el ejercicio B, si el aumento de la capacidad inspiratoria fuera gracias a una disminución del volumen residual, impactaría en la curva longitud-tensión del diafragma generando menor presión, y por tanto menos volúmenes pulmonares.

muestran una relación directa entre el VR y la DR, esto tendría su sustento en el punto óptimo de la relación longitud tensión del diafragma, el cual sería a VR, y su influencia sobre el VC y la CI. En este contexto tener valores de VC y VRI nos podría ayudar con exactitud a determinar si esto se trataría de una compensación fisiológica de volúmenes y capacidades por un lado y por otro una optimización de las propiedades biomecánicas de la musculatura a través de la relación longitud tensión o una suma de ambos mecanismos.

Además de esto, el cambio significativo del VE<sub>PF</sub> impactaría sobre la curva presión-volumen disminuyendo la distensibilidad pulmonar<sup>1,2</sup>. Esto reduciría la CRF, con el propósito de no alcanzar la CPT durante el ejercicio, dado al aumento del VC propio del ejercicio<sup>11,12</sup>. Así, la reducción de la CRF probablemente contribuye a una disminución de la distensibilidad del pulmón en algunos casos, pero, en otros casos, esta misma reducción de la CRF también permite un sustancial aumento del VC para lograr cargas máximas de ejercicio. La CPT de la muestra estudiada está dentro de rangos de normalidad (Tabla 1), por lo que, el VR, 127 % del predicho, sería esa fracción de la CRF que entregaría un mayor soporte biomecánico al diafragma. Por otra parte, el VRE, que fue 160 % del predicho, cedería una mayor “espacio” en beneficio del VC o VRI (Figura 2).

Esta investigación cuenta con limitaciones que son necesarias precisar, las relaciones son significativas con la muestra total, esto indica que es necesario reclutar mayor n muestral, la medición de la frecuencia respiratoria, VC y VRI serían datos que nos ayudarían a determinar con mayor detalle, cómo compensa el sistema ventilatorio. También se debe considerar realizar estas evaluaciones de volúmenes pulmonares en condiciones de movimiento, con el propósito de acercarse lo más posible a contextos funcionales reales.

En conclusión, existe una relación entre volúmenes pulmonares y DR, la cual es inversa moderada para CI y directa moderada para VR y VRE. Por lo tanto, la PC6m es una herramienta de bajo costo, no invasiva y alta confiabilidad que permite evaluar indirectamente la capacidad ventilatoria de adultos jóvenes. Se sugiere su uso tanto en la práctica clínica como en investigación.

### Referencias bibliográficas

1. Smith JR, Cross TJ, Van Iterson EH, et al (2018). Resistive and elastic work of breathing in older and younger adults during exercise. *J. Appl. Physiol.*; 125(1): 190-97.
2. Dominelli PB, Sheel AW (2012). Experimental approaches to the study of the mechanics of breathing during exercise. *Respir. Physiol. Neurobiol.*; 180(2-3): 147-61.
3. Yekefallah L, Zohal MA, Keshavarzsarkar O, Barikani A, Gheraati M (2019). Comparing the effects of upper

limb and breathing exercises on six-minute walking distance among patients with chronic obstructive pulmonary disease: a three-group randomized controlled clinical trial. *Adv. Respir. Med.*; 87(2): 77-82.

4. Baeza V, San Martín M, Rojas G, et al (2014). Respuesta Fisiológica en el Test de Marcha en 6 minutos en pacientes con EPOC. *Fisioterapia*; 36(4): 160-6.

5. American Thoracic Society Statement (2003). Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am. J. Resp. Crit. Care. Med.*; 167(2): 211-77.

6. American Thoracic Society (2005). Standardization of spirometry. *Eur. Respir. J.*; 26(2): 319-38.

7. Tantucci C, Bottone D, Borghesi A, et al. (2016). Methods for measuring lung volumes: is there a better one? *Respiration*; 91(4): 273-80.

8. Medina P, Mancilla E, Muñoz R, et al (2015). Distancia recorrida y costo fisiológico según el nivel socioeconómico y género durante la prueba de caminata en seis minutos en adultos mayores autovalentes de la ciudad de Talca. *Rev. Med. Chile*; 143(4): 484-92.

9. Muñoz R, Medina P & Escobar M (2015). Análisis del comportamiento temporal de variables fisiológicas y de esfuerzo en sujetos instruidos en la Prueba de Caminata en 6 minutos: Complemento a la norma ATS. *Fisioterapia*; 38(1): 20-7.

10. Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci sports exerc*, 14(5), 377-381.

11. Aliverti A (2008). Lung and chest wall mechanics during exercise: effects of expiratory flow limitation. *Respir. Physiol. Neurobiol.*; 163(1-3): 90-9.

12. Henke KG, Sharratt M, Pegelow D, et al (1988). Regulation of end-expiratory lung volume during exercise. *J. Appl. Physiol.*; 64(1): 135-46.

## Correspondencia

Rodrigo Muñoz-Cofré.  
Avenida Francisco Salazar # 01145, Universidad de La Frontera, Temuco Chile.  
Teléfono: +56452596550 – celular: +56978970129.  
E-mail: rodrigomunozcofre@gmail.com