

PASO A PASO

Elaboración e interpretación del diagrama de Campbell

[Construction and interpretation of the Campbell diagram]

Emilio Steinberg^{1,2*}

Resumen

La evaluación y el monitoreo del trabajo respiratorio es fundamental en los sujetos que se encuentran en las unidades de cuidados intensivos. El estándar de oro para su valoración es el diagrama de Campbell, que requiere la colocación de un balón esofágico. La interpretación del diagrama es compleja y, generalmente, su uso queda ligado al ámbito científico, con poca utilización en la práctica clínica. Para acercar su implementación a la cotidianidad y facilitar su interpretación, el objetivo del paso a paso es describir la elaboración e interpretación del diagrama de Campbell.

Palabras clave: trabajo respiratorio, ventilación espontánea, mecánica respiratoria, adaptabilidad, diagrama de Campbell.

Abstract

The assessment and monitoring of the work of breathing is essential in subjects hospitalized in intensive care units. The gold standard for its measurement is the Campbell diagram, which requires the placement of an esophageal balloon. The interpretation of the diagram is complex. It is widely used in the scientific field but not often applied in the clinical practice. In order to promote its implementation and facilitate its interpretation, the objective of this study is to describe the construction and interpretation of the Campbell diagram.

Keywords: work of breathing, spontaneous breathing, respiratory mechanics, compliance, Campbell diagram.

* **Correspondencia:** emilio.steinberg@hospitalitaliano.org.ar

¹ Sección de Rehabilitación y Cuidados Respiratorios. Hospital Italiano de Buenos Aires. CABA. Argentina.

² Capítulo de Kinesiología Intensivista. Comité de Neumonología Crítica. Sociedad Argentina de Terapia Intensiva. CABA. Argentina.

Fuentes de financiamiento: El autor declara no tener ninguna afiliación financiera ni participación en ninguna organización comercial que tenga un interés financiero directo en cualquier asunto incluido en este manuscrito.

Conflicto de intereses: El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Introducción

La evaluación de la capacidad y carga a la que se enfrentan los músculos respiratorios tiene un rol determinante en el abordaje de pacientes en la unidad de cuidados intensivos (UCI).¹

Se define trabajo como el desplazamiento de una estructura luego de la aplicación de una fuerza. Aplicado al sistema respiratorio (SR), el trabajo respiratorio (WOB, por sus siglas en inglés) se explica a través de la fórmula:

$$WOB = \Delta P \star \Delta V,$$

en la que ΔP es un cambio de presión y ΔV , un cambio de volumen.^{2,3} La expresión gráfica es el bucle presión-volumen del SR. Durante la ventilación espontánea, ΔV es el volumen corriente y ΔP es la presión necesaria para sobreponerse a las cargas resistivas, a las cargas elásticas y a la carga umbral del SR y es generada por los músculos respiratorios.²

El estándar de oro para cuantificar el WOB con sus respectivos componentes es el diagrama de Campbell. Para ello, se requiere la colocación de un balón en el esófago conectado a un monitor de mecánica respiratoria.^{2,3}

Tanto la medición como la interpretación del diagrama de Campbell guardan cierta complejidad. Esto hace que su uso quede mayormente ligado al campo de la investigación, sin mucho lugar en la práctica diaria, espacio generalmente ocupado por la evaluación clínica.^{3,4}

El objetivo del presente paso a paso es describir la elaboración e interpretación del diagrama de Campbell para la medición del WOB.

Procedimiento

Para la elaboración del diagrama de Campbell, se requiere la integración de las señales de presión esofágica (P_{ES}) y flujo (F) para calcular la distensibilidad o *compliance* pulmonar (C_p) y de la caja torácica (C_{CT}). Con esta información, el software de mecánica respiratoria lo grafica. A partir de allí, se puede identificar el WOB asociado al componente resistivo (WOB_R) inspiratorio y espiratorio, al elástico (WOB_E), a la carga umbral generada por la presión positiva de fin de espiración intrínseca (PEEPi, por sus siglas en inglés) (WOB_{PEEPi}) y a la espiración (WOB_{ESP}). La señal de F se obtiene a partir de un sensor colocado en la vía aérea del sujeto, ya sea en la artificial o natural. El balón colocado en el esófago mide la P_{ES} . Todo lo que respecta a los materiales necesarios, la colocación del balón esofágico y la validez de

la medición fue descrito por Dorado JH. en un paso a paso ya publicado.⁵

Compliance pulmonar

El monitor de mecánica respiratoria interpreta según el sentido del F medido por el sensor, el inicio y el fin de la inspiración en los instantes de $F=0$. Estos se dan cuando el sentido del bucle cambia de dirección: durante la inspiración se dirige hacia arriba (aumenta el volumen) y durante la espiración se dirige hacia abajo. Así, contabilizando el tiempo inspiratorio (T_I), se puede calcular ΔV a través de la fórmula $\Delta V = F \times T_I$. Mediante el balón esofágico se mide ΔP , que es la presión que distiende el pulmón para ΔV .¹ Teniendo ΔV y ΔP , el software calcula ciclo a ciclo la C_p y traza su pendiente entre los puntos de inicio y de fin (Figura 1).

Compliance de la caja torácica

La presión que distiende el tórax es la transtorácica, calculada como la diferencia entre la presión pleural (P_{PL}) y la atmosférica (P_{ATM}). Sin embargo, como por definición $P_{ATM}=0$, la P_{PL} es la que distiende al tórax y se puede utilizar la P_{ES} como subrogante. En la lite-

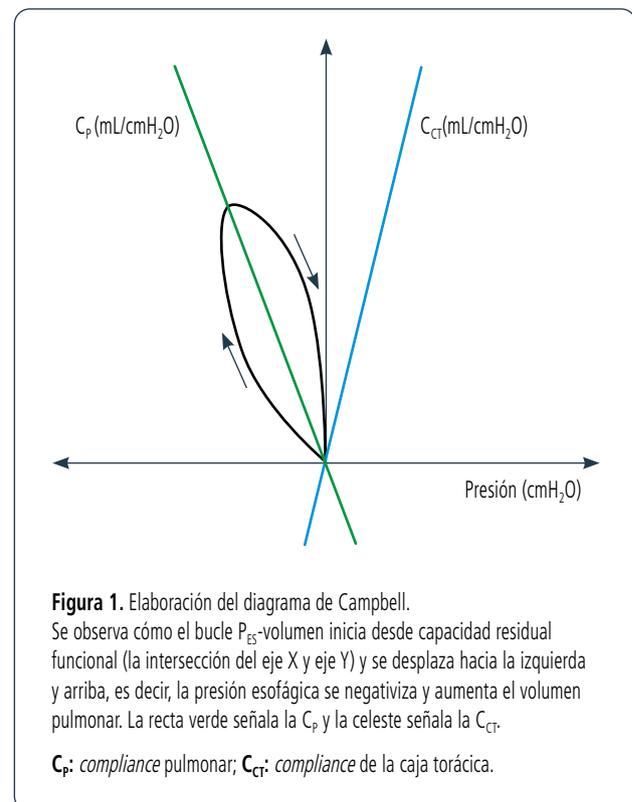
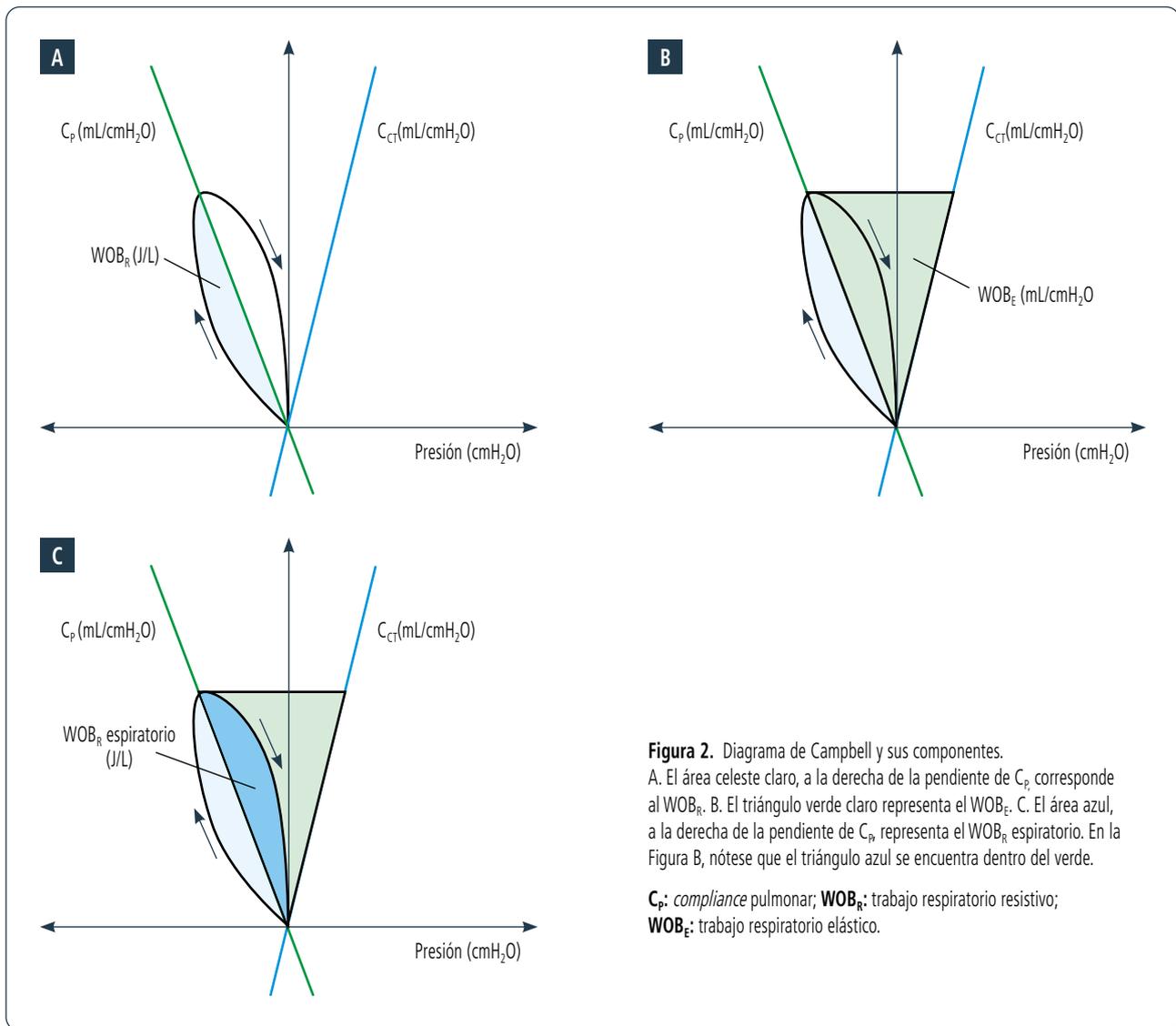


Figura 1. Elaboración del diagrama de Campbell.

Se observa cómo el bucle P_{ES} -volumen inicia desde capacidad residual funcional (la intersección del eje X y eje Y) y se desplaza hacia la izquierda y arriba, es decir, la presión esofágica se negativiza y aumenta el volumen pulmonar. La recta verde señala la C_p y la celeste señala la C_{CT} .

C_p : *compliance* pulmonar; C_{CT} : *compliance* de la caja torácica.



ratura, se describen varias maneras de calcular la C_{CT} . En sujetos sin esfuerzo muscular respiratorio, se debe realizar una maniobra de doble oclusión durante la ventilación mandatoria continua controlada por volumen (VC- CMV) para determinar ΔV en relación a ΔP del esófago (ΔP_{ES}).⁶ En caso de contracción muscular, se puede aumentar la frecuencia respiratoria programada, con el objetivo de bajar el dióxido de carbono, disminuir el estímulo químico del centro respiratorio⁷ y así suprimir el esfuerzo. Una vez alcanzado el objetivo, a través de la maniobra de doble oclusión, se podrían obtener los mismos resultados que durante la ventilación pasiva.⁸ Sin embargo, esta maniobra es compleja y muchas veces no se obtendría la relajación completa, situación que general-

mente se asume.¹⁴ Por último, se puede utilizar el valor teórico ajustado a peso y altura, que es 3,6% de la capacidad vital por cmH_2O .⁶ La C_{CT} debe cargarse en el software de medición de mecánica respiratoria para que trace la pendiente (Figura 1).

Trabajo resistivo (WOB_R)

El bucle P_{ES} -volumen se traza respiración a respiración. El área bajo la curva que queda por fuera a la izquierda de la pendiente de la C_p se cuantifica como WOB_R . Este se puede ver magnificado en caso de que la vía aérea artificial disminuya su diámetro⁹, definido como trabajo impuesto¹⁰, por presencia de obstrucción al flujo aéreo o secreciones, entre otros motivos¹¹ (Figura 2A).

Trabajo elástico (WOB_E)

El área triangular que queda comprendido entre la C_p y la C_{CT} es el WOB_E (Figura 2B) y puede verse aumentado en escenarios de deterioro de la C_p ⁸ (fibrosis pulmonar, neumonía) o de C_{CT} (cifoescoliosis, hipertensión abdominal).¹¹ Durante la ventilación en reposo en sujetos sin patología estructural del pulmón, la espiración se da gracias al retroceso elástico de las estructuras del SR.¹² Esto significa que el WOB_R espiratorio, es decir, el asociado a la fricción del gas con la vía aérea durante la exhalación, queda incluido dentro del área del WOB_E (Figura 2C).

Trabajo espiratorio (WOB_{ESP})

En determinadas circunstancias, tanto fisiológicas (ejercicio) como patológicas (obstrucción al flujo aéreo, retención de secreciones respiratorias, falla respiratoria), la espiración deja de ser pasiva y se transforma en activa.¹³ En estos casos, la contracción de los músculos espiratorios genera una presión pleural positiva que hace que el bucle sobrepase la pendiente de la C_{CT} hacia la derecha (Figura 3). El área bajo la curva que queda por fuera de la C_{CT} es el WOB_{ESP} .

Trabajo asociado a PEEPi (WOB_{PEEPi})

De acuerdo a la definición, para que haya WOB se tiene que generar ΔP que se traduzca en flujo y, consecuentemente, en ΔV en el SR. En el caso de los sujetos con atrapamiento aéreo y PEEPi, al inicio de cada ciclo hay contracción muscular sin generación de F que se destina a vencer la carga umbral. Siendo estrictos con la definición, al no haber ΔV , no podría ser considerado WOB . Sin embargo, puede observarse en el diagrama de Campbell¹³: en la Figura 3 que el cuadrado amarillo se corresponde a una contracción muscular asociada a la PEEPi: una caída en la presión (desplazamiento hacia la izquierda) sin cambios en el volumen.

Valores de referencia

El WOB se mide en joules por litro (J/L). En sujetos sanos, el valor normal es de 0,35 a 0,7 J/L. Sin embargo, puede variar durante una patología respiratoria: En sujetos con síndrome de distrés respiratorio agudo, se han evidenciado valores de WOB de 1,6 J/L⁸; en sujetos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, se reportaron rangos de 0,8 hasta 1,88 J/L¹⁵ y en sujetos con ascitis, se reportaron valores hasta 1,15 J/L.¹¹

El WOB también puede expresarse en joules por minuto (J/min), al multiplicar el valor de una respiración por la frecuencia respiratoria (J/L x FR) o al sumar cada ciclo en un minuto (J/L + J/L + J/L [...]).² Su magnitud dependerá entonces de la de estas dos variables, y el valor normal es de 2,4 J/min aproximadamente.¹⁶

Conclusión

En la UCI se estima el WOB de manera cotidiana, lo cual representa un pilar fundamental en los sujetos críticos. Sin embargo, la valoración exacta del WOB se lleva a cabo a través del diagrama de Campbell. A partir de este, se puede diferenciar el WOB_R , WOB_E , WOB_{PEEPi} y WOB_{ESP} . Si bien la interpretación del diagrama es compleja, puede ser una herramienta valiosa para utilizar en los sujetos críticos.

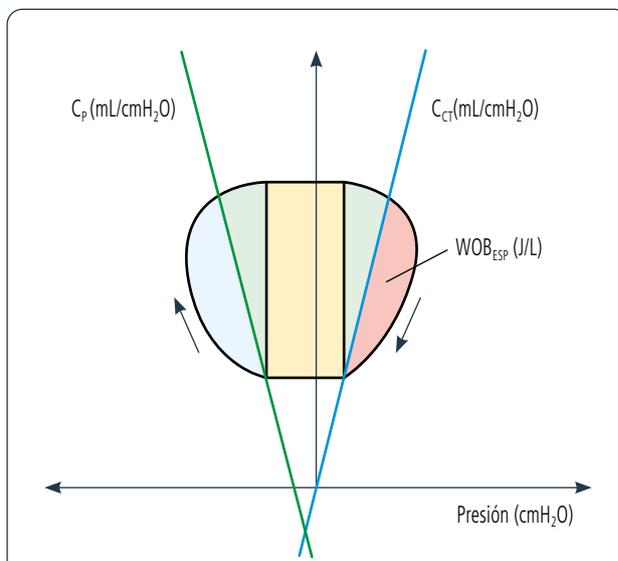


Figura 3. Diagrama de Campbell de un sujeto con autoPEEP.

El área celeste claro, a la derecha de la pendiente de C_p , corresponde al WOB_R . El paralelogramo verde claro, conformado entre C_p y C_{CT} , representa el WOB_E . El rectángulo amarillo central representa la contracción muscular asociada a la presencia de autoPEEP, que genera carga umbral. Nótese que hay un cambio de presión sin cambio de volumen asociado, que se manifiesta con un desplazamiento horizontal del bucle: la presión disminuye (sentido izquierdo) y el volumen no aumenta. El área roja, a la derecha de la pendiente de C_{CT} , representa el WOB_{ESP} .

C_p : compliance pulmonar; WOB_R : trabajo respiratorio resistivo;
 C_{CT} : compliance de la caja torácica. WOB_E : trabajo respiratorio elástico;
PEEP: presión positiva al final de la espiración, por sus siglas en inglés;
 WOB_{ESP} : trabajo espiratorio.

Referencias

1. Brochard L, Martin GS, Blanch L, Pelosi P, Belda FJ, Jubran A, et al. Clinical review: Respiratory monitoring in the ICU - a consensus of 16. *Crit Care*. 2012;16(2):219. doi: 10.1186/cc11146.
2. Cabello B, Mancebo J. Work of breathing. *Intensive Care Med*. 2006 Sep;32(9):1311-4. doi: 10.1007/s00134-006-0278-3.
3. Pham T, Telias I, Beitler JR. Esophageal Manometry. *Respir Care*. 2020;65(6):772-792. doi: 10.4187/respcare.07425.
4. Tobin MJ. Why Physiology Is Critical to the Practice of Medicine: A 40-year Personal Perspective. *Clin Chest Med*. 2019;40(2):243-257. doi: 10.1016/j.ccm.2019.02.012.
5. Dorado JH. Instrumentación y adquisición válida de la presión esofágica. *AJRPT*. 2020; 2 (3): 50- 55. doi: <https://doi.org/10.58172/ajrpt.v2i3.143>
6. Henderson WR, Chen L, Amato MBP, Brochard LJ. Fifty Years of Research in ARDS. *Respiratory Mechanics in Acute Respiratory Distress Syndrome*. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;196(7):822-833. doi: 10.1164/rccm.201612-2495CI.
7. Vaporidi K, Akoumianaki E, Telias I, Goligher EC, Brochard L, Georgopoulos D. Respiratory Drive in Critically Ill Patients. *Pathophysiology and Clinical Implications*. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020;201(1):20-32. doi: 10.1164/rccm.201903-0596SO.
8. Kallet RH, Hemphill JC 3rd, Dicker RA, Alonso JA, Campbell AR, Mackersie RC, Katz JA. The spontaneous breathing pattern and work of breathing of patients with acute respiratory distress syndrome and acute lung injury. *Respir Care*. 2007;52(8):989-95.
9. Shapiro M, Wilson RK, Casar G, Bloom K, Teague RB. Work of breathing through different sized endotracheal tubes. *Crit Care Med*. 1986;14(12):1028-31. doi: 10.1097/00003246-198612000-00007.
10. Banner MJ, Kirby RR, Blanch PB. Differentiating total work of breathing into its component parts. Essential for appropriate interpretation. *Chest*. 1996;109(5):1141-3. doi: 10.1378/chest.109.5.1141.
11. Banner MJ, Jaeger MJ, Kirby RR. Components of the work of breathing and implications for monitoring ventilator-dependent patients. *Crit Care Med*. 1994;22(3):515-23. doi: 10.1097/00003246-199403000-00024.
12. Lumb A. Pulmonary Ventilation. In: Lumb A. *Nunn's Applied Respiratory Physiology*. 7th Edition. UK: Elsevier; 2010. p. 83-98.
13. Vassilakopoulos T. Understanding wasted/ineffective efforts in mechanically ventilated COPD patients using the Campbell diagram. *Intensive Care Med*. 2008;34(7):1336-9. doi: 10.1007/s00134-008-1095-7.
14. Loring SH, Garcia-Jacques M, Malhotra A. Pulmonary characteristics in COPD and mechanisms of increased work of breathing. *J Appl Physiol* (1985). 2009;107(1):309-14. doi: 10.1152/jappphysiol.00008.2009.
15. Chen S, Li Y, Zheng Z, Luo Q, Chen R. The analysis of components that lead to increased work of breathing in chronic obstructive pulmonary disease patients. *J Thorac Dis*. 2016;8(8):2212-8. doi: 10.21037/jtd.2016.08.01.
16. Mauri T, Yoshida T, Bellani G. Esophageal and transpulmonary pressure in clinical setting: meaning, usefulness and perspectives. *Intensive Care Med* 2016 (42): 1360- 1373.



Argentinian Journal of Respiratory and Physical Therapy by AJRPT is licensed under a **Creative Commons Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional License**. Creado a partir de la obra en www.ajrpt.com. Puede hallar permisos más allá de los concedidos con esta licencia en www.ajrpt.com

Citar este artículo como: Steinberg E. Elaboración e interpretación del diagrama de Campbell. *AJRPT*. 2023;5(2):52-56.

Participe en nuestra revista



Lo invitamos a visitar e interactuar a través de la página
www.ajrpt.com



Envíenos sus manuscritos