



CIENCIAS BIOMÉDICAS

Ecocardiografía transtorácica en el paciente crítico durante el proceso de weaning:

revisión bibliográfica

Maurizio Camere

Universidad Austral

Dra. Alicia Gira

21 de diciembre del 2020

Índice de contenido

Introducción _____	3
El camino hacia el destete _____	4
¿Cuándo usar la ecocardiografía? _____	6
¿Qué mediciones buscar? _____	6
¿Qué valores esperar? _____	8
Discusión _____	9
Conclusión _____	11
Bibliografía _____	12

Introducción

La ecocardiografía transtorácica (ETT) ha demostrado utilidad como una herramienta accesoria antes, durante y después de la prueba de ventilación espontánea (PVE)^{1,2}. Tanto para detectar aquellos pacientes con un alto riesgo de fallar la prueba como para predecir un destete exitoso^{1,2}.

El weaning o destete es el proceso por el cual la autonomía respiratoria es transferida progresivamente del ventilador al paciente³, es un momento crucial y decisivo. Una PVE fallida es aquella que está acompañada por incomodidad del paciente (agitación o fatiga), por distrés cardiopulmonar (FR >35rpm, SpO2 <90%, FC con una variabilidad >20% e inestabilidad hemodinámica)⁴ o por requerimiento de reintubación en un lapso menor a las 48hrs⁵.

El poder determinar el momento adecuado para realizar el weaning sigue siendo un reto para los médicos intensivistas⁶, un destete prematuro expone al paciente a estrés cardiovascular secundario al cambio de presiones debido al comienzo de la respiración espontánea⁷. De forma global la incidencia de PVE fallidas son de alrededor del 25% en los pacientes internados en las terapias intensivas⁸, y una gran parte de estos tienen como causa preponderante la disfunción cardíaca^{5,9}.

La transición desde un estado de ventilación invasiva a un estado de respiración espontánea durante la PVE causa alteraciones hemodinámicas^{2,9,10} comparables con las inducidas durante una prueba de estrés cardiovascular¹⁰. Se pasa de un estado de presiones positivas intratorácicas inducido por el ventilador a un estado de presiones negativas durante la

respiración espontánea. Esto causa un aumento del retorno venoso, aumento de las presiones venosas pulmonares como también un aumento de la poscarga del ventrículo izquierdo. Consecuentemente, favoreciendo a la aparición de edema de pulmón inducido por weaning (EPIW)^{9,11}. A su vez, estos pacientes tienen un mayor riesgo de sufrir cuadros de isquemia por aumento del consumo de oxígeno miocárdico secundario a un aumento del trabajo cardíaco^{10,12} potenciado además por aumento del tono adrenérgico⁹.

En esta revisión bibliográfica se va a describir los hallazgos más relevantes que apoyen el uso de la ecocardiografía transtorácica durante el proceso de weaning.

El camino hacia el destete

Las PVE realizadas a lo largo de la internación de un paciente toman aproximadamente un 40% del tiempo que el paciente se encuentra en ventilación mecánica (VM)^{13,14}. Diversas revisiones sistemáticas y estudios randomizados controlados han demostrado que la realización de protocolos de PVE reducen el tiempo en que el paciente se encuentra con VM, el tiempo para lograr una PVE exitosa y la duración de la internación en la terapia intensiva^{15,16}.

Recientemente el *American College of Cardiology Physicians/American Thoracic Society Clinical Practice Guidelines* a determinado que las PVE son la mejor herramienta diagnóstica para determinar si un paciente esta listo para ser extubado¹⁷.

El proceso de weaning incluye en grandes rasgos tres pasos: el **primero paso** es la reducción del soporte respiratorio por parte del ventilador. Este paso debe realizarse de acorde a la

mejoría clínica del paciente y debería ser instaurado o por lo menos considerado diariamente. El **segundo paso** es la prueba de ventilación espontánea en sí, en donde se evalúa la capacidad del sistema respiratorio del paciente de funcionar autónomamente. Son tres las estrategias mayormente utilizadas para realizar la PVE. Estas son, la prueba con tubo en T, ventilación con presión soporte con o sin presión positiva al final de la espiración (PEEP) o el uso del CPAP (presión positiva continua en las vías respiratorias)³. Por último, el **tercer paso** es la extubación del paciente con retirada del tubo endotraqueal o cánula de traqueotomía.

Hoy en día, todavía no se ha definido una estrategia ideal para realizar la PVE como tampoco la duración de esta para lograr una prueba exitosa¹⁸. Hay evidencia que apoya la realización de una PVE de corta duración menor a los 30 minutos utilizando una presión de soporte baja (inferior a los 8 cmH₂O) para lograr un destete exitoso sin fatigar o descompensar hemodinámicamente al paciente¹⁹.

A pesar de las guías que establecen la utilidad y recomiendan el uso diario de las pruebas de ventilación espontánea^{5,17} estas son fútiles si se utilizan como única herramienta para predecir un destete exitoso^{20,21,22,23}. La ecocardiografía puede llegar a ser una herramienta accesoria de gran utilidad ya que permite realizar una evaluación hemodinámica al lado de la cama del paciente para guiar mejor la estrategia terapéutica con el fin de optimizar el proceso de destete²⁴. En un estudio de cohorte grande se vio que el 42% de las PVE fallidas eran por disfunción cardíaca²⁵.

¿Cuándo usar la ecocardiografía?

La ETT puede llegar a utilizarse durante las tres etapas previamente mencionadas del weaning¹. En la **fase uno** se puede utilizar para detectar aquellos pacientes con alto riesgo de fallar la prueba y por lo tanto desistir en realizarla y evitar someter al sistema cardiopulmonar del paciente a un estrés posiblemente deletéreo. En la **fase dos**, durante la realización de la PVE la ETT sirve para guiar al médico o kinesiólogo respiratorio de continuar con la prueba o detenerla antes de que el paciente empiece a presentar signos de descompensación hemodinámica. Finalmente, en la **fase tres** la ETT es útil en aquellos pacientes que fallaron la PVE para intentar determinar si hubo cierto grado de disfunción cardíaca y establecer si esta puede haber contribuido en el fallo de la prueba.

¿Qué mediciones buscar?

La ETT permite evaluar la función del ventrículo izquierdo durante el proceso de weaning. La disfunción cardíaca sistólica y diastólica se han visto involucradas como causas del fallo en las pruebas de weaning, con una mayor asociación de la disfunción diastólica como causa predominante²⁶.

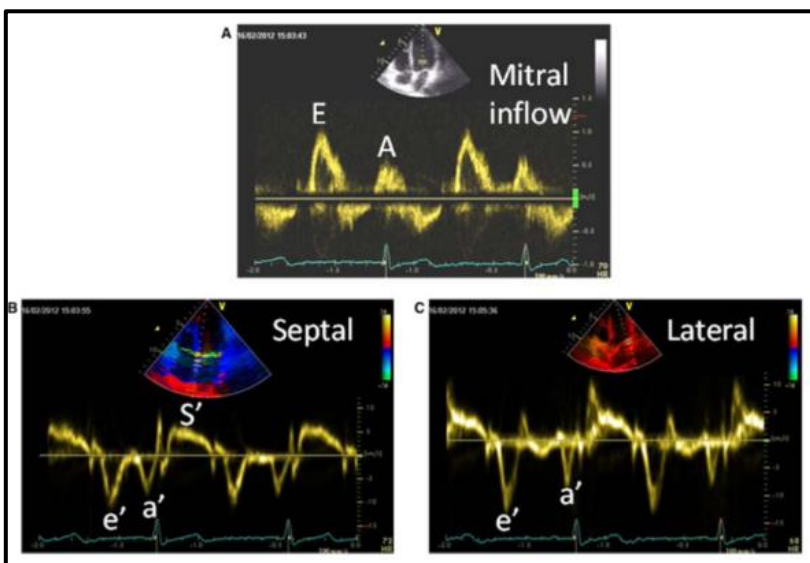
Para valorar la función diastólica se utiliza el Doppler Pulsado (PWD) y el Doppler Tisular (TDI)^{27,28}. Con el PWD vamos a determinar la velocidad y el patrón de flujo a través de la válvula mitral, obteniendo la onda E que representa el llenado diastólico rápido y la onda A que representa el flujo de sangre secundario a la patada auricular al final de la diástole (figura 1). A partir de esto vamos a poder determinar el patrón de flujo transmitral representado con la onda E y A como también la relación E/A y obtener el tiempo de desaceleración de la onda E. Por otro lado, el TDI del anillo de la válvula mitral a nivel septal,

lateral o un promedio de ambas va a permitir determinar la velocidad de relajación del ventrículo izquierdo representada con la onda e' (figura 1) y a su vez determinar la presión de llenado del ventrículo izquierdo obteniendo la relación entre la onda E y e' (E/e')¹. Permitiendo, por ende, la realización de ambas técnicas determinar la función diastólica del ventrículo izquierdo.

A pesar de la evidencia que demuestra una menor asociación entre la disfunción sistólica en comparación con la diastólica y las PVE fallidas²⁶ es de vital importancia realizar una valoración del performance sistólico cardiaco; calculando la fracción de eyección (FEY) utilizando idealmente el método de *Simpson* biplanar.

Figura 1. Función diastólica en un paciente sano. **A.** PWD a través de la válvula mitral. Onda E - llenado diastólico rápido. Onda A - patada auricular al final de la diástole. **B y C.** TDI del anillo de la válvula mitral a nivel septal y lateral - e' (velocidad al inicio de la diástole), a' (velocidad al final de la diástole), S' (velocidad durante la sístole).

Gillebert, T. C., De Pauw, M., & Timmermans, F. (2013). Echo-Doppler assessment of diastole: flow, function and haemodynamics. *Heart (British Cardiac Society)*, 99(1), 55–64. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2012-301961>



¿Qué valores esperar?

Según las recomendaciones establecidas por Nagueh et al.^{29,30} para la evaluación de la función diastólica del ventrículo izquierdo por ETT, uno puede sospechar que la causa de la falla en el proceso de weaning es secundaria a una disfunción diastólica cuando las presiones de llenado del ventrículo izquierdo están aumentadas con una relación $E/A > 2$ si la FEY está disminuida o una relación $E/e' > 12$ si la FEY es normal. A su vez, este mismo autor unos años antes logró formular una regla matemática para estimar la presión capilar wedge pulmonar (PCWP) en base al valor de la relación E/e' para determinar aquellos pacientes en riesgo inminente de padecer EPIW³¹. Una relación $E/e' > 14.5$ al minuto 10 de la PVE predice el fallo del weaning con una sensibilidad del 75% y una especificidad del 95.8%³². Agregando a esto, Moschietto et al³¹. demostró que un tercio del total de los pacientes evaluados en su estudio fallaron en el proceso de weaning. Estos no presentaron una variación significativa en la FEY del ventrículo izquierdo, pero sí mostraron un aumento importante de la relación E/e' en comparación al valor basal calculado previo al inicio de la PVE; (13.4 (8.4 a 16.3) versus 15.7 (13.4 a 21.1 $P = 0.004$) en comparación con el grupo que logró completar el weaning exitosamente (8.9 (7.2 a 11.3) versus 8.4 (7.1 a 11.6) $P = 0.82$). Por otro lado, no vieron una diferencia significativa en el valor de la onda E mitral o la relación E/A en ninguno de los dos grupos. Esto puede explicarse por el hecho que estos valores no solo dependen de la presión de fin de diástole del ventrículo izquierdo (PFDVI) pero sino también de la edad del paciente y la función del ventrículo izquierdo como la capacidad de relajación y la función sistólica³³.

Asimismo, Papanikolaou et al.³⁴ demostró en 50 pacientes con una función sistólica conservada el impacto que tiene una función diastólica alterada sobre la progresión en el

proceso de weaning. En base a los hallazgos encontrados con el PWD y el TDI se categorizo a los pacientes en tres grados según la disfunción diastólica (figura 2). En aquellos pacientes con una función diastólica normal hubo un 35% que fallo la PVE, en contraposición un 57% de los pacientes con disfunción diastólica grado 1 (leve) fallaron la prueba y hasta un 80% de los pacientes con grado 2 (moderado) o 3 (grave) no pudieron lograr un destete exitoso.

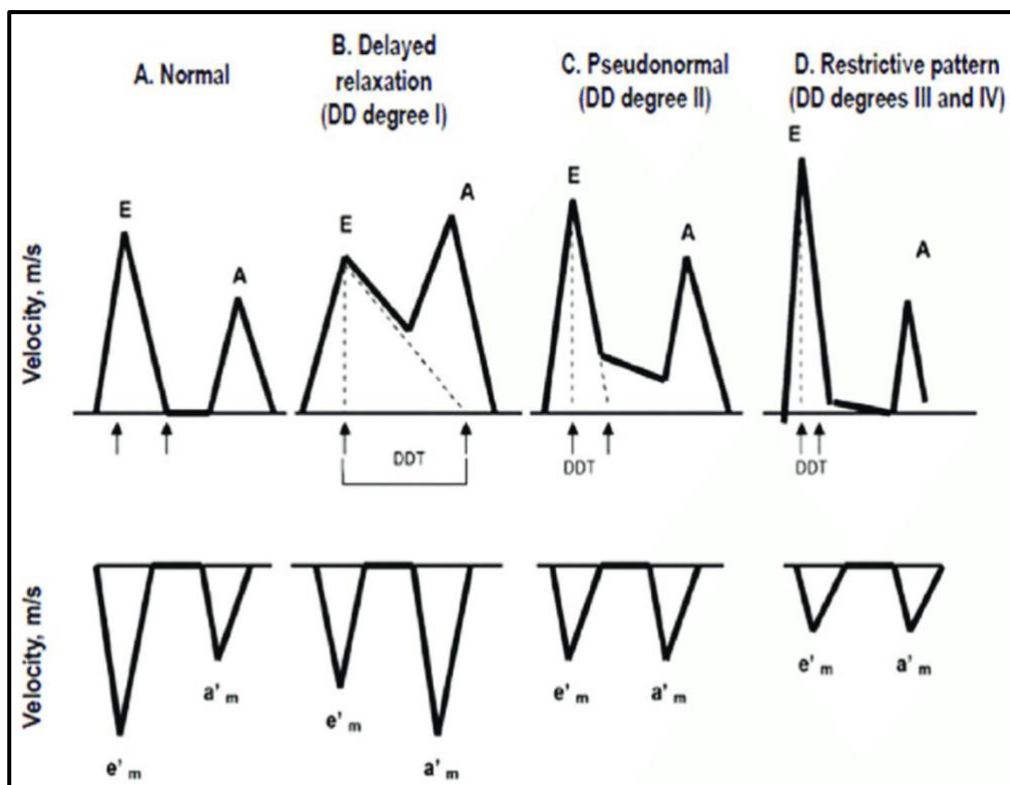


Figura 2. Panel superior - PWD a través de la válvula mitral. Panel inferior - TDI del anillo de la válvula mitral. Ambos paneles muestran los cambios esperados tanto en la velocidad como en el patrón del flujo a través de la válvula mitral (PWD) como la capacidad de relajación ventricular (TDI) en los estadios de disfunción diastólica.

Fontes-Carvalho, R., & Leite-Moreira, A. (2011). Heart failure with preserved ejection fraction: fighting misconceptions for a new approach. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 96(6), 504–514. <https://doi.org/10.1590/s0066-782x2011000600012>

Discusión

Según la evidencia analizada podemos determinar la utilidad de la relación E/e' para valorar la función diastólica y guiar la terapéutica durante el proceso de weaning. De todas formas, hay ciertas limitaciones importantes a tener en cuenta. Primero, con respecto al valor del E/e' y su interpretación para determinar de forma cualitativa la PFDVI y su extrapolación

matemática para determinar la PCWP sabemos que un valor de $E/e' < 8$ puede concluir de forma certera una PFDVI y una PCWP normal. A su vez, un valor $E/e' > 15$ permite identificar aquellos pacientes con una PFDVI y una PCWP elevada y determinar entonces que dichos pacientes no son candidatos para continuar con la prueba de weaning. Por otro lado, aquellos que presenten un valor E/e' entre 8 a 15 se considera que se encuentran en una zona gris donde no se puede determinar de forma certera si el paciente esta cursando con una PFDVI o PCWP normal o elevada^{30,32,35} y por lo tanto la utilidad de este valor para guiar el manejo del weaning es limitada en estos pacientes. Asimismo, el valor de la onda E de velocidad como el valor de la relación E/e' deben ser interpretadas con cautela en pacientes con diagnóstico conocido de insuficiencia mitral, estenosis mitral o remplaza de la válvula mitral debido a que estos valores no han sido validados en pacientes con estas condiciones¹.

Es importante también tener en cuenta que los casos de weaning fallidos suelen deberse a causas multifactoriales^{5,36} por lo tanto utilizar la ETT como única herramienta accesoria durante el weaning sería inadecuado. Es importante realizar una evaluación ecográfica completa del corazón, pulmón, pleura y diafragma³. De todas formas, los hallazgos ultrasonográficos por si solos no deberían ser utilizados como determinantes finales para guiar el weaning. Estos deberían evaluarse en conjunto con la clínica del paciente como también con parámetros de laboratorio como el NT-proBNP tal como lo demostró Mekontso et al³⁷. para que nos ayuden a guiar de la mejor forma posible el proceso de weaning en cada paciente en particular.

Otro factor importante a tener en cuenta que puede llegar a ser el mayor limitante para el uso de la ETT como también de la evaluación ultrasonográfica del pulmón, pleura y

diafragma es el pobre entrenamiento de los médicos intensivistas durante sus años de formación para la utilización de esta herramienta. Estos son procedimientos que requieren una intervención inmediata por lo cual no es conveniente tener que depender del equipo de imágenes o para tal caso de un cardiólogo con manejo de la ETT para poder realizar dicha evaluación durante las pruebas de weaning.

Conclusión

Esta revisión bibliográfica demuestra la potencialidad que tiene la ETT, principalmente la medición de la relación E/e' para la evaluación de la función diastólica en el paciente crítico como determinante para establecer la probabilidad de superar o fallar la prueba de weaning. A su vez, también nos demuestra que una fracción de eyección del ventrículo izquierdo disminuida no parece perjudicar de igual manera al paciente durante la prueba.

Para realizar un análisis completo e integral de la función cardiopulmonar del paciente y por ende guiar mejor la prueba de weaning, la ETT se debería hacer en conjunto con una evaluación ecográfica pulmonar, pleural y diafragmática asociado con parámetros clínicos y de laboratorio. Por lo tanto, es importante promover la enseñanza del manejo básico del POCUS (*Point of Care Ultrasound*) en los equipos de terapia intensiva.

En conclusión, se requiere más estudios para determinar en concreto la efectividad de la ETT durante el proceso de weaning tanto de forma aislada o en junto con otras pruebas imagenológicas o de laboratorio para facilitar en el futuro la realización del weaning con una mayor tasa de éxito y menor repercusión hacia el paciente.

-
- ¹ Mayo, P., Volpicelli, G., Lerolle, N., Schreiber, A., Doelken, P., & Vieillard-Baron, A. (2016). Ultrasonography evaluation during the weaning process: the heart, the diaphragm, the pleura and the lung. *Intensive care medicine*, 42(7), 1107–1117. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4245-3>
- ² Vignon P. (2018). Cardiovascular failure and weaning. *Annals of translational medicine*, 6(18), 354. <https://doi.org/10.21037/atm.2018.05.46>
- ³ Vetrugno, L., Guadagnin, G. M., Brussa, A., Orso, D., Garofalo, E., Bruni, A., Longhini, F., & Bove, T. (2020). Mechanical ventilation weaning issues can be counted on the fingers of just one hand: part 1. *The ultrasound journal*, 12(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s13089-020-00161-y>
- ⁴ MacIntyre N. R. (2013). The ventilator discontinuation process: an expanding evidence base. *Respiratory care*, 58(6), 1074–1086. <https://doi.org/10.4187/respcare.02284>
- ⁵ Boles, J. M., Bion, J., Connors, A., Herridge, M., Marsh, B., Melot, C., Pearl, R., Silverman, H., Stanchina, M., Vieillard-Baron, A., & Welte, T. (2007). Weaning from mechanical ventilation. *The European respiratory journal*, 29(5), 1033–1056. <https://doi.org/10.1183/09031936.00010206>
- ⁶ Bruni, A., Garofalo, E., Pelaia, C., Messina, A., Cammarota, G., Murabito, P., Corrado, S., Vetrugno, L., Longhini, F., & Navalesi, P. (2019). Patient-ventilator asynchrony in adult critically ill patients. *Minerva anesthesiologica*, 85(6), 676–688. <https://doi.org/10.23736/S0375-9393.19.13436-0>
- ⁷ Lemaire, F., Teboul, J. L., Cinotti, L., Giotto, G., Abrouk, F., Steg, G., Macquin-Mavier, I., & Zapol, W. M. (1988). Acute left ventricular dysfunction during unsuccessful weaning from mechanical ventilation. *Anesthesiology*, 69(2), 171–179. <https://doi.org/10.1097/0000542-198808000-00004>
- ⁸ Béduneau, G., Pham, T., Schortgen, F., Piquilloud, L., Zogheib, E., Jonas, M., Grelon, F., Runge, I., Nicolas Terzi, Grangé, S., Barberet, G., Guitard, P. G., Frat, J. P., Constan, A., Chretien, J. M., Mancebo, J., Mercat, A., Richard, J. M., Brochard, L., & WIND (Weaning according to a New Definition) Study Group and the REVA (Réseau Européen de Recherche en Ventilation Artificielle) Network † (2017). Epidemiology of Weaning Outcome according to a New Definition. The WIND Study. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 195(6), 772–783. <https://doi.org/10.1164/rccm.201602-0320OC>
- ⁹ Teboul, J. L., Monnet, X., & Richard, C. (2010). Weaning failure of cardiac origin: recent advances. *Critical care (London, England)*, 14(2), 211. <https://doi.org/10.1186/cc8852>
- ¹⁰ Pinsky M. R. (2000). Breathing as exercise: the cardiovascular response to weaning from mechanical ventilation. *Intensive care medicine*, 26(9), 1164–1166. <https://doi.org/10.1007/s001340000619>
- ¹¹ Jubran, A., Mathru, M., Dries, D., & Tobin, M. J. (1998). Continuous recordings of mixed venous oxygen saturation during weaning from mechanical ventilation and the ramifications thereof. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 158(6), 1763–1769. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.158.6.9804056>
- ¹² Hurford, W. E., & Favorito, F. (1995). Association of myocardial ischemia with failure to wean from mechanical ventilation. *Critical care medicine*, 23(9), 1475–1480. <https://doi.org/10.1097/00003246-199509000-00006>
- ¹³ Esteban, A., Alía, I., Ibañez, J., Benito, S., & Tobin, M. J. (1994). Modes of mechanical ventilation and weaning. A national survey of Spanish hospitals. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Chest*, 106(4), 1188–1193. <https://doi.org/10.1378/chest.106.4.1188>
- ¹⁴ Esteban, A., Anzueto, A., Frutos, F., Alía, I., Brochard, L., Stewart, T. E., Benito, S., Epstein, S. K., Apezteguía, C., Nightingale, P., Arroliga, A. C., Tobin, M. J., & Mechanical Ventilation International Study Group (2002). Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA*, 287(3), 345–355. <https://doi.org/10.1001/jama.287.3.345>
- ¹⁵ Ely, E. W., Baker, A. M., Dunagan, D. P., Burke, H. L., Smith, A. C., Kelly, P. T., Johnson, M. M., Browder, R. W., Bowton, D. L., & Haponik, E. F. (1996). Effect on the duration of mechanical ventilation of identifying patients capable of breathing spontaneously. *The New England journal of medicine*, 335(25), 1864–1869. <https://doi.org/10.1056/NEJM199612193352502>
- ¹⁶ Blackwood, B., Alderdice, F., Burns, K., Cardwell, C., Lavery, G., & O'Halloran, P. (2011). Use of weaning protocols for reducing duration of mechanical ventilation in critically ill adult patients: Cochrane systematic review and meta-analysis. *BMJ (Clinical research ed.)*, 342, c7237. <https://doi.org/10.1136/bmj.c7237>
- ¹⁷ Ouellette, D. R., Patel, S., Girard, T. D., Morris, P. E., Schmidt, G. A., Truitt, J. D., Alhazzani, W., Burns, S. M., Epstein, S. K., Esteban, A., Fan, E., Ferrer, M., Fraser, G. L., Gong, M. N., Hough, C. L., Mehta, S., Nanchal, R., Pawlik, A. J., Schweickert, W. D., Sessler, C. N., ... Kress, J. P. (2017). Liberation From Mechanical Ventilation in Critically Ill Adults: An Official American College of Chest Physicians/American Thoracic Society Clinical Practice Guideline: Inspiratory Pressure Augmentation During Spontaneous Breathing Trials, Protocols Minimizing Sedation, and Noninvasive Ventilation Immediately After Extubation. *Chest*, 151(1), 166–180. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.10.036>
- ¹⁸ Ladeira, M. T., Vital, F. M., Andriolo, R. B., Andriolo, B. N., Atallah, A. N., & Peccin, M. S. (2014). Pressure support versus T-tube for weaning from mechanical ventilation in adults. *The Cochrane database of systematic reviews*, 2014(5), CD006056. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006056.pub2>

-
- ¹⁹ Burns, K., Soliman, I., Adhikari, N., Zwein, A., Wong, J., Gomez-Builes, C., Pellegrini, J. A., Chen, L., Rittayamai, N., Sklar, M., Brochard, L. J., & Friedrich, J. O. (2017). Trials directly comparing alternative spontaneous breathing trial techniques: a systematic review and meta-analysis. *Critical care (London, England)*, *21*(1), 127. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1698-x>
- ²⁰ Esteban, A., Alía, I., Gordo, F., Fernández, R., Solsona, J. F., Vallverdú, I., Macías, S., Allegue, J. M., Blanco, J., Carriedo, D., León, M., de la Cal, M. A., Taboada, F., Gonzalez de Velasco, J., Palazón, E., Carrizosa, F., Tomás, R., Suarez, J., & Goldwasser, R. S. (1997). Extubation outcome after spontaneous breathing trials with T-tube or pressure support ventilation. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. *American journal of respiratory and critical care medicine*, *156*(2 Pt 1), 459–465. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.156.2.9610109>
- ²¹ Esteban, A., Alía, I., Tobin, M. J., Gil, A., Gordo, F., Vallverdú, I., Blanch, L., Bonet, A., Vázquez, A., de Pablo, R., Torres, A., de La Cal, M. A., & Macías, S. (1999). Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *American journal of respiratory and critical care medicine*, *159*(2), 512–518. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.159.2.9803106>
- ²² Frutos-Vivar, F., Ferguson, N. D., Esteban, A., Epstein, S. K., Arabi, Y., Apezteguía, C., González, M., Hill, N. S., Nava, S., D'Empaire, G., & Anzueto, A. (2006). Risk factors for extubation failure in patients following a successful spontaneous breathing trial. *Chest*, *130*(6), 1664–1671. <https://doi.org/10.1378/chest.130.6.1664>
- ²³ Ouanes-Besbes, L., Dachraoui, F., Ouanes, I. *et al.* (2012). NT-proBNP levels at spontaneous breathing trial help in the prediction of post-extubation respiratory distress. *Intensive Care Med* *38*, 788–795. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2524-1>
- ²⁴ Vignon, P., Repessé, X., Vieillard-Baron, A., & Maury, E. (2016). Critical care ultrasonography in acute respiratory failure. *Critical care (London, England)*, *20*(1), 228. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1400-8>
- ²⁵ Cabello, B., Thille, A. W., Roche-Campo, F., Brochard, L., Gómez, F. J., & Mancebo, J. (2010). Physiological comparison of three spontaneous breathing trials in difficult-to-wean patients. *Intensive care medicine*, *36*(7), 1171–1179. <https://doi.org/10.1007/s00134-010-1870-0>
- ²⁶ Saleh M, Vieillard-Baron A. (2012). On the role of left ventricular diastolic function in the critically ill patient. *Intensive Care Med* *38*:189–191 <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2448-1>
- ²⁷ Expert Round Table on Ultrasound in ICU (2011). International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive care medicine*, *37*(7), 1077–1083. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2246-9>
- ²⁸ Expert Round Table on Echocardiography in ICU (2014). International consensus statement on training standards for advanced critical care echocardiography. *Intensive care medicine*, *40*(5), 654–666. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3228-5>
- ²⁹ Nagueh, S. F., Appleton, C. P., Gillebert, T. C., Marino, P. N., Oh, J. K., Smiseth, O. A., Waggoner, A. D., Flachskampf, F. A., Pellikka, P. A., & Evangelista, A. (2009). Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*, *22*(2), 107–133. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2008.11.023>
- ³⁰ Nagueh, S. F., Smiseth, O. A., Appleton, C. P., Byrd, B. F., 3rd, Dokainish, H., Edvardsen, T., Flachskampf, F. A., Gillebert, T. C., Klein, A. L., Lancellotti, P., Marino, P., Oh, J. K., Popescu, B. A., & Waggoner, A. D. (2016). Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*, *29*(4), 277–314. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.01.011>
- ³¹ Nagueh, S. F., Middleton, K. J., Kopelen, H. A., Zoghbi, W. A., & Quiñones, M. A. (1997). Doppler tissue imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. *Journal of the American College of Cardiology*, *30*(6), 1527–1533. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(97\)00344-6](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(97)00344-6)
- ³² Moschietto, S., Doyen, D., Grech, L., Dellamonica, J., Hyvernat, H., & Bernardin, G. (2012). Transthoracic Echocardiography with Doppler Tissue Imaging predicts weaning failure from mechanical ventilation: evolution of the left ventricle relaxation rate during a spontaneous breathing trial is the key factor in weaning outcome. *Critical care (London, England)*, *16*(3), R81. <https://doi.org/10.1186/cc11339>
- ³³ Appleton, C. P., Hatle, L. K., & Popp, R. L. (1988). Relation of transmitral flow velocity patterns to left ventricular diastolic function: new insights from a combined hemodynamic and Doppler echocardiographic study. *Journal of the American College of Cardiology*, *12*(2), 426–440. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(88\)90416-0](https://doi.org/10.1016/0735-1097(88)90416-0)
- ³⁴ Papanikolaou, J., Makris, D., Saranteas, T., Karakitsos, D., Zintzaras, E., Karabinis, A., Kostopanagioutou, G., & Zakyntinos, E. (2011). New insights into weaning from mechanical ventilation: left ventricular diastolic dysfunction is a key player. *Intensive care medicine*, *37*(12), 1976–1985. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2368-0>
- ³⁵ Ommen, S. R., Nishimura, R. A., Appleton, C. P., Miller, F. A., Oh, J. K., Redfield, M. M., & Tajik, A. J. (2000). Clinical utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of left ventricular filling pressures: A comparative simultaneous Doppler-catheterization study. *Circulation*, *102*(15), 1788–1794. <https://doi.org/10.1161/01.cir.102.15.1788>

³⁶ Thille, A. W., Richard, J. C., & Brochard, L. (2013). The decision to extubate in the intensive care unit. *American journal of respiratory and critical care medicine*, *187*(12), 1294–1302. <https://doi.org/10.1164/rccm.201208-1523CI>

³⁷ Mekontso Dessap, A., Roche-Campo, F., Kouatchet, A., Tomicic, V., Beduneau, G., Sonnevile, R., Cabello, B., Jaber, S., Azoulay, E., Castanares-Zapatero, D., Devaquet, J., Lellouche, F., Katsahian, S., & Brochard, L. (2012). Natriuretic peptide-driven fluid management during ventilator weaning: a randomized controlled trial. *American journal of respiratory and critical care medicine*, *186*(12), 1256–1263. <https://doi.org/10.1164/rccm.201205-0939OC>