

Índice de concentración espectral respiratoria como predictor del éxito del destete en pacientes ventilados mecánicamente en UCI

Sofía Pérez-Gracia¹, Pablo Armañac-Julián^{1,2}, Alba Martín-Yebra^{3,1,2}, Josefina López Aguilar^{4,5}, Francesc Suñol Galofre⁴, Candelaria de Haro^{4,5}, Leonardo Sarlabous⁴, Rafael Fernández^{5,6}, Montserrat Batlle Solà⁶, Lluís Blanch^{4,5}, Raquel Bailón^{1,2}

¹ Biomedical Signal Interpretation and Computational Simulation (BSICoS), IIS Aragón
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: 797487@unizar.es

² CIBER en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), España

³ Fundación Aragonesa para la Investigación y el Desarrollo, ARAID, Zaragoza, Spain

⁴ Servicio de Medicina Intensiva, Hospital Universitari Parc Taulí, I3PT, Sabadell, Spain

⁵ CIBER de Enfermedades Respiratorias (CIBER-ES), Instituto de Salud Carlos III, Madrid, Spain

⁶ Servei de Medicina Intensiva, Fundació Althaia, Universitat Internacional de Catalunya, Manresa, Spain

Resumen

En este estudio se analizaron las señales respiratorias de 54 pacientes adultos en la unidad de cuidados intensivos (UCI), bajo ventilación mecánica invasiva (VMI). Se propone un índice de concentración espectral como predictor del éxito del destete: cuanto menor es su valor, menor es la regularidad y estabilidad respiratoria. El índice resultó ser significativamente menor en los pacientes que no estaban preparados para la extubación, tanto en las 24 horas previas ($p = 0.049$, $r = 0.36$) como durante la noche previa al destete ($p = 0.026$, $r = 0.382$).

Introducción

La ventilación mecánica invasiva (VMI) es una estrategia terapéutica que reemplaza o asiste la función respiratoria cuando ésta resulta insuficiente, con el fin de restablecer la oxigenación y la mecánica pulmonar. Se requiere en alrededor del 40% de los pacientes ingresados en la unidad de cuidados intensivos (UCI) por patologías respiratorias, neurológicas o cardíacas críticas [1]. Los principales modos de VMI incluyen la ventilación controlada, los modos de soporte y la presión positiva continua en la vía aérea (CPAP). No obstante, el uso prolongado de la VMI conlleva riesgos, aumentando el riesgo de neumonía asociada al ventilador y de disfunción diafragmática [2].

El destete —la retirada progresiva del soporte— es una fase decisiva, aunque compleja; pese a la existencia de protocolos estandarizados, como la prueba de respiración espontánea (Spontaneous Breathing Trial, SBT), aproximadamente el 20 % de los pacientes necesitan ser reintubados [3],

incrementando el riesgo de mortalidad entre el 25% y el 50% [4].

Estudios anteriores relacionan un mayor número de asincronías paciente-ventilador con el fracaso en el destete [5]. Estas asincronías generan patrones respiratorios menos periódicos, lo que se traduce en un espectro de la señal respiratoria más ensanchado. Este estudio propone y evalúa un índice basado en la concentración espectral de la señal respiratoria en torno a la frecuencia respiratoria fundamental, como posible predictor del éxito del destete en pacientes bajo VMI en la UCI.

Materiales y métodos

Se analizaron las señales de flujo respiratorio de 54 pacientes adultos intubados en la UCI del Hospital Universitari Parc Taulí de Sabadell (edad mediana 69 [61–78] años, 62% varones). La VMI se suministró en modo controlado (50%), de soporte (45%) o CPAP (5%). Se utilizaron la señal de flujo aéreo, de la que se obtiene el volumen tidal (VT) instantáneo, y el electrocardiograma (para obtener la frecuencia cardíaca media F_{HR}). Los registros se adquirieron y sincronizaron con la plataforma BetterCare®, a 200 Hz, de forma continua durante las 24 horas previas a la SBT. El destete fue exitoso en el 65.5% de los casos. El protocolo del estudio fue aprobado por el comité ético del Hospital Universitari Parc Taulí [6].

Análisis de la señal respiratoria

La señal respiratoria se ha caracterizado a partir de la señal de VT, obtenida de la integración y corrección de la línea de base de la señal de flujo aéreo instantáneo [7], remuestreada posteriormente 4 Hz.

La Densidad Espectral de Potencia (DEP) de la señal de VT, $\hat{S}_R(F)$, se ha estimado en segmentos de 5 minutos mediante el periodograma de Welch (ventana de Hamming de 40 s con solapamiento de 35 s). En cada ventana se determinó la frecuencia respiratoria F_R como la frecuencia del pico máximo en $\hat{S}_R(F)$ dentro del intervalo $0.15 \text{ Hz} - \frac{F_{HR}}{2} \text{ Hz}$, que constituye la banda HF extendida en pacientes ventilados mecánicamente, abarcando todo el espectro relevante.

A partir de ahí, se definió un índice que cuantifica la relación de la potencia de $\hat{S}_R(F)$ en una banda de 0.1 Hz centrada en F_R (potencia respiratoria, P_R), respecto a la potencia total en el rango 0.04 Hz–1 Hz:

$$C = \frac{P_R(F_R \pm 0.05 \text{ Hz})}{P_R([0.04, 1] \text{ Hz})}$$

Las potencias se calcularon por integración de la DEP. Para cada paciente, el índice se resume como la mediana en dos periodos: (i) las 24 horas previas y (ii) la franja nocturna 00:00–06:00 previa al SBT.

Análisis estadístico

Las diferencias entre pacientes con éxito y fallo del destete se evaluaron con la prueba U de Mann-Whitney. El tamaño del efecto se cuantificó mediante la correlación biserial de rangos. Se consideraron significativos los contrastes con $p \leq 0.05$.

Resultados y discusión

La Figura 1 muestra la potencia relativa de la banda centrada en la frecuencia respiratoria fundamental con respecto a la potencia total, comparando (i) las 24 horas previas a la SBT y (ii) el intervalo nocturno previo (00:00–06:00). En ambos periodos, la potencia relativa fue significativamente mayor en los pacientes que superaron el destete, con un tamaño del efecto moderado, especialmente durante el periodo nocturno. Este hallazgo coincide con estudios previos [5,7] y resulta fisiológicamente coherente, ya que los pacientes tienden a estar más relajados y menos sometidos a estímulos externos durante el sueño, realzando la coherencia del ritmo ventilatorio.

La menor concentración espectral observada en los pacientes que no superaron la SBT, o que lo hicieron, pero necesitaron ser reintubados, sugiere un aumento de las asincronías paciente-ventilador, observadas en la literatura [8]. Estas asincronías se traducen en variaciones de la frecuencia respiratoria en periodos cortos de tiempo, lo que da lugar a una DEP más

ensanchada y con un pico respiratorio menos predominante. No obstante, el presente análisis no distingue entre tipos de asincronía ni controla la influencia del modo de ventilación; por tanto, la relación causal debe interpretarse con cautela. Limitaciones relevantes incluyen la falta de validación en cohortes multicéntricas y confirmar su utilidad como complemento objetivo a la decisión de retirada del soporte ventilatorio.

Conclusiones

El índice de concentración espectral respiratoria, C , discrimina con fiabilidad entre pacientes que superan o fracasan en el destete. Valores bajos, sobre todo durante la noche, muestran mayor riesgo de no estar listo para el destete y/o de reintubación.

Referencias

- [1]. PINTO, J. et al. Analysis of the cardiorespiratory pattern of patients undergoing weaning using artificial intelligence. *INT J ENV RES PUB HE*. 2023, 20, 4430.
- [2]. CHENG, K.H. et al. The feasibility of a machine learning approach in predicting successful ventilator mode shifting for adult patients in the medical intensive care unit. *Medicina*. 2022, 58, 360.
- [3]. TOBIN, M.J. Of principles and protocols and weaning. *AM J RESP CRIT CARE*. 2004, 169.
- [4]. THILLE, A.W. et al. Outcomes of extubation failure in medical intensive care unit patients. *CRIT CARE MED*. 2011, 39, 2612–2618.
- [5]. DE HARO, C. et al. Double cycling during mechanical ventilation. *CRIT CARE MED*. 2018, 46.
- [6]. BLANCH, L. et al. Validation of the Better Care® system to detect ineffective efforts during expiration in mechanically ventilated patients: a pilot study. *INTENS CARE MED*. 2012, 38.
- [7]. ARMAÑAC-JULIÁN, P. et al. Cardiopulmonary coupling indices to assess weaning readiness from mechanical ventilation. *Sci Rep*. 2021, 11.
- [8]. AQUINO-ESPERANZA, J. et al. Monitoring asynchrony during invasive mechanical ventilation. *RESP CARE*. 2020, 65.

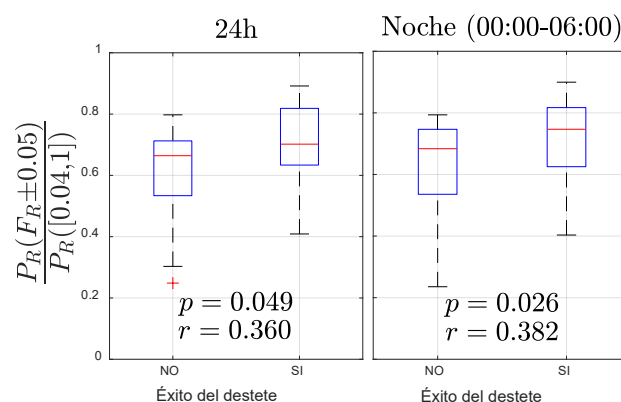


Figura 1. Potencia relativa de la componente espectral respiratoria. El panel izquierdo muestra la mediana durante las 24 horas previas a la SBT, mientras que el panel derecho corresponde únicamente al periodo nocturno (00:00–06:00).