

Revisión Narrativa

Weaning ventilatorio en cuidados críticos: desafíos y estrategias de mejora

Ventilatory weaning in critical care: challenges and improvement strategies

Oswaldo Andrés Bolaños Ladinez ¹, Paula Francisca Olivos Massa ¹, Susy Arelis López Laaz ¹, Vanessa Campozano Burgos ².

¹ Hospital Clínica San Francisco, Guayaquil, Ecuador.

² Universidad Espíritu Santo, Samborondón, Ecuador.

Abstract

Weaning from mechanical ventilation is a critical stage in the management of critically ill adults, as both unjustified delays in extubation and premature withdrawal of ventilatory support are associated with increased morbidity and mortality. Despite advances in respiratory physiology and bedside monitoring tools, difficulties persist in adequately integrating the different available predictors and reducing clinical errors during this process. The aim of this review was to synthesize recent evidence on the main challenges of ventilatory weaning and opportunities for improvement applicable to critical care practice. A narrative literature review with a clinical focus was conducted, prioritizing international guidelines, systematic reviews, meta-analyses, and relevant clinical studies addressing spontaneous breathing trials and their modalities, physiological predictors of success or failure, post-extubation respiratory support, and strategies to optimize the process of liberation from mechanical ventilation. Available evidence supports the spontaneous breathing trial as a central component of the weaning process; however, no single testing method or predictor has demonstrated sufficient accuracy to independently support the decision to extubate. The rapid shallow breathing index, maximal inspiratory pressure, natriuretic biomarkers, and lung and diaphragmatic ultrasound may provide complementary information when interpreted together with clinical assessment and the patient's pathophysiological context. Therefore, successful weaning should be considered a dynamic and individualized process

based on the multimodal integration of clinical, respiratory, and hemodynamic variables, with the aim of timely identifying patients with a high probability of successful extubation and reducing preventable extubation failures.

Keywords

Mechanical ventilation, weaning, predictors of success.

Resumen

El destete de la ventilación mecánica constituye una etapa decisiva en el manejo del paciente adulto crítico, ya que tanto el retraso injustificado de la extubación como la retirada prematura del soporte ventilatorio se asocian con un incremento de la morbimortalidad. A pesar de los avances en fisiología respiratoria y en las herramientas de monitorización a la cabecera, persisten dificultades para integrar adecuadamente los diferentes predictores y reducir los errores clínicos durante este proceso. El objetivo de esta revisión fue sintetizar la evidencia reciente sobre los principales desafíos del destete ventilatorio y las oportunidades de mejora aplicables a la práctica en cuidados críticos. Se realizó una revisión narrativa de la literatura con enfoque clínico, priorizando guías internacionales, revisiones sistemáticas, metaanálisis y estudios clínicos relevantes sobre las pruebas de ventilación espontánea y sus modalidades, los predictores fisiológicos de éxito o fracaso, el soporte respiratorio postextubación y las estrategias destinadas a optimizar el proceso de desvinculación

de la ventilación mecánica. La evidencia disponible respalda la prueba de ventilación espontánea como elemento central del proceso; sin embargo, ningún método de prueba ni predictor aislado ha demostrado una precisión suficiente para sustentar por sí solo la decisión de extubación. El índice de respiración rápida y superficial, la presión inspiratoria máxima, los biomarcadores natriuréticos y la ecografía pulmonar y diafragmática pueden aportar información complementaria cuando se interpretan en conjunto con la evaluación clínica y el contexto fisiopatológico del paciente. En este sentido, el destete ventilatorio debe considerarse un proceso dinámico e individualizado, basado en la integración multimodal de variables clínicas, respiratorias y hemodinámicas, con el objetivo de identificar de manera oportuna a los pacientes con alta probabilidad de éxito y reducir las fallas evitables de la extubación.

Palabras claves

Ventilación mecánica, destete ventilatorio, predictores de éxito.

Glosario

VM	Ventilación Mecánica	PSILI	Lesión Pulmonar Autoinducida por el Paciente
UCI	Unidad de Cuidados Intensivos	PIMAX	Presión inspiratoria máxima (PIMAX).
NAVM	Neumonía Asociada a la Ventilación Mecánica.	NIF	Fuerza Inspiratoria Negativa
SBT	Spontaneous Breathing Trial	PEMAX	Presión Espiratoria Máxima
PS	Presión soporte	PEP	Presión Espiratoria Positiva
CPAP	Presión Positiva Continua en las Vías Respiratorias	PFLOW	Pico Flujo Espiratorio
ATC	Compensación Automática del Tubo	CPEF	Medición del flujo espiratorio máximo
ATS/ERS	Sociedad Torácica América/Sociedad Respiratoria Europea	C dyn	Compliance dinámica (ml/cmH2O)
SCCM	Society of Critical Care Medicine	PAO₂	Presión parcial de oxígeno alveolar (mmHg)
EELV	Volumen Pulmonar Espiratorio Final	PaO₂	Presión parcial de oxígeno arterial (mmHg)
ECA	Ensayo Clínico Aleatorizado	Cst, rs	Compliance estática del sistema respiratorio
IRRS	Índice de Respiración Rápida y Superficial	SaO₂	Saturación arterial de oxígeno
FR	Frecuencia respiratoria	Vt	Volumen tidal
VTe	Volumen tidal espiratorio	IWI	Índice de weaning integrado
TET	Tubo endotraqueal	PMd	Densidad del poder mecánico
Peep	Presión positiva al final de la espiración	PM	Poder Mecánico
S	Sensibilidad	WIPO	Edema Pulmonar Inducido por el Destete
E	Especificidad	Fed/EGD	Fracción de engrosamiento diafragmático
VPP	Valor Predictivo Positivo	Dinp	Engrosamiento diafragmático inspiratorio máximo
VPN	Valor Predictivo Negativo	Dexp	Engrosamiento diafragmático al final de la espiración
MS	Milisegundos	ED	Excursión diafragmática
		D-RSBI	Índice de respiración rápida y superficial diafragmático
		BNP	péptido natriurético atrial
		NT- pro BNP	Prohormona N terminal BNP
		DO₂	Aporte de Oxígeno
		VO₂	Consumo de oxígeno
		SvcO₂	Saturación venosa central
		FEVI	Fracción de Eyección del Ventrículo Izquierdo
		LVESD	Diámetro Telesistólico del Ventrículo Izquierdo
		IM	Insuficiencia Mitral
		PLR	Elevación Pasiva de las Piernas
		IC	Insuficiencia Cardíaca
		VD	Ventrículo derecho
		IPM	Índice de Performance Cardíaco
		TAPSE	Excursión Sistólica del Plano del Anillo Tricuspidéico
		MAPSE	Excursión Sistólica del Plano del Anillo Mitral
		NIF	Fuerza Inspiratoria Negativa
		CNAF	Cánula Nasal de Alto Flujo
		VNI	Ventilación no invasiva
		EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
		IMC	Índice de masa corporal
		PAFI	Cociente (PaO ₂ /FiO ₂) o Índice de Kirby

Introducción

La ventilación mecánica (VM) es un método importante de asistencia respiratoria para salvar vidas en la unidad de cuidados intensivos (UCI). La VM prolongada se asocia con neumonía asociada a la ventilación mecánica (NAVIM). Los datos internacionales muestran que los pacientes que requieren VM prolongada más allá de los 21 días generalmente se consideran que tienen un mal pronóstico, con una mortalidad a 2 años cercana al 25%^{1,2}. A pesar de estos malos resultados, el número de pacientes que reciben VM prolongada está aumentando y resulta en costos de atención médica significativos³. Por el contrario, la liberación exitosa del respirador después de VM prolongada mejoró la supervivencia y disminuyó la utilización de la atención médica. Por lo tanto, el destete oportuno y seguro de la VM es crucial. Además, es necesario identificar al paciente correcto y realizar un proceso de destete adecuado.

Destete del ventilador mecánico se llama al proceso de desvinculación del soporte ventilatorio mecánico, que tiene como resultado final la extubación¹. Es importante categorizar a estos pacientes de acuerdo a la dificultad y duración del proceso de destete. (Figura 1)

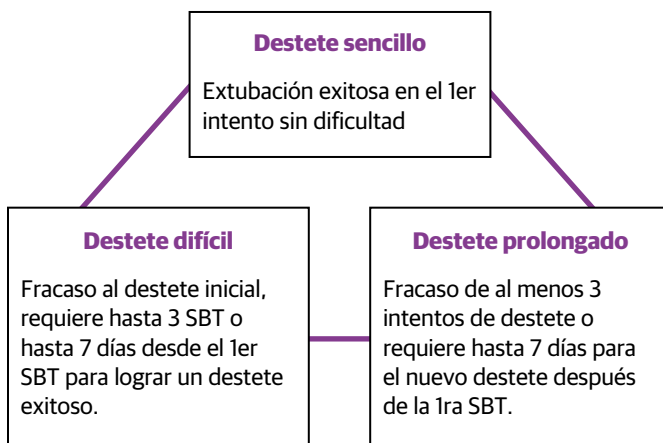


Figura 1. Proceso de destete (5) Abreviatura: SBT (Spontaneous Breathing Trial).

Prueba de ventilación espontánea (SBT)

En un metaanálisis 2023, se compararon técnicas de SBT en adultos y niños en estado crítico y obtuvieron como resultado que las SBT con aumento de presión (presión soporte PS, compensación automática del tubo ATC, PS/ATC) versus sin (pieza en T, presión positiva continua en las vías respiratorias CPAP) aumentaron las tasas iniciales exitosas de SBT y de extubación exitosa⁴. Sin embargo, no existe una "prueba de oro" superior. Las principales guías internacionales (ATS/ERS 2017; SCCM 2022) y la evidencia de grandes metaanálisis

coinciden en que ningún método de prueba de ventilación espontánea ha demostrado una clara superioridad en mortalidad, tasa de extubación exitosa o reintubación. La elección debe individualizarse según el perfil del paciente y los recursos disponibles⁵.

La reconexión al ventilador por 1 h después de una prueba de ventilación espontánea (SBT) exitosa busca revertir la fatiga muscular y el desreclutamiento alveolar inducidos por la SBT. Coudroy demostró en 25 pacientes una caída del volumen pulmonar espiratorio final (EELV) de ~30% tras la SBT, mayor con pieza en T (-43%) que con presión de soporte (-20%). La reconexión de 1 h restauró casi por completo el EELV^{6,7}.

En estudios de Esteban y col, la extubación inmediata tras SBT mostró tasas de reintubación de 12-15% sin reconexión. En un ECA, la reintubación a 48 h fue 12.9% con reconexión vs 18.2% con extubación directa ($p = 0.18$); solo el subgrupo ventilado > 72 h mostró menor reintubación (12.7% vs 22.6%; $p = 0.04$). ATS/ERS 2017 recomienda extubación inmediata tras SBT exitosa y no se aconseja reconexión rutinaria^{8,9,10}.

Pruebas para dirigir el weaning ventilatorio

1. Índice de Yang y Tobin

Yang y Tobin describieron el índice de respiración rápida y superficial (IRRS) como la relación entre la frecuencia respiratoria (FR) y el volumen tidal espiratorio (VTe). Para la medición, seteamos Ps de 0, Peep de 0, valor calculado de la división de la FR /Vte, se realizan 5 mediciones y se promedian. Un valor umbral de > 105 respiraciones/min/l es altamente predictivo de fracaso del destete y un valor < 105 respiraciones/min/l se ha asociado con el éxito del destete (S97%, E64%, VPP 78%, VPN 95%).¹¹ Un metaanálisis que incluyó 48 estudios en 10 946 pacientes obtuvieron menor sensibilidad y especificidad con la aplicación del IRRS, encontrando que este índice no tiene en cuenta la variabilidad del impulso respiratorio que pueden tener los pacientes en UCI, quirúrgicos, cardiovasculares y neurológicos, afectando esto su rendimiento como herramienta predictiva¹².

2. Test de presión de oclusión de las vías respiratorias a los 100 milisegundos

Conocida también como PO.1, se realiza mediante una maniobra de oclusión al final de la espiración que mide la presión negativa generada en los primeros 100 ms (milisegundos) o 0.1 segundos del esfuerzo inspiratorio, se la considera un estimador de la capacidad neuromuscular¹³. La PO.1 representa una medida confiable del impulso respiratorio y es independiente de la mecánica respiratoria. Este impulso, representa la intensidad del estímulo neuronal para respirar

y en pacientes ventilados puede ser bajo o alto y puede llevar al miotrauma o PSILI. En pacientes críticos, se ha demostrado daño del diafragma después de 90 minutos de carga resistiva inspiratoria. Se considera un valor normal de 1.5 - 3.5 cmH₂O (drive aceptable), valores extremos como < de 0.5 cmH₂O pudieran indicar depresión del sistema nervioso central, sedación excesiva o incluso debilidad neuromuscular, de igual manera valores > 3.5 cmH₂O nos indica una carga ventilatoria alta y valores > 6 predispone a un mayor riesgo de fracaso a la extubación. Para su medición se presiona en herramientas dando clic en PO.1, y de manera automática se realiza el cálculo o de manera manual después de activar la maniobra nos ubicamos en la parte más inferior de la curva presión- tiempo, el valor obtenido se le resta la peep y esto nos da el PO.1¹⁴.

3. Test de PIMAX – PEMAX – PFLOW

La presión inspiratoria máxima (PIMAX) o también conocido como NIF (Fuerza inspiratoria negativa), representa la presión máxima durante la inhalación contra una vía aérea obstruida, se ocluye durante 20 a 25 segundos con una válvula unidireccional que permite la exhalación, pero no la inhalación, obligando al paciente a realizar un gran esfuerzo inspiratorio. Este parámetro evalúa la fuerza de los músculos inspiratorios sobre todo diafragma, en condiciones normales se puede obtener un valor más negativo a - 100 cmH₂O. Un valor entre - 20 y - 30 cmH₂O tiene una sensibilidad del 95% y especificidad del 89% para predecir un destete satisfactorio, entre más negativo es el valor se relaciona con éxito en la desvinculación de la ventilación mecánica, de manera automática se realiza el cálculo al presionar la pausa espiratoria o de manera manual después de activar la maniobra nos ubicamos en la parte más inferior de la curva presión- tiempo, el valor obtenido se le suma a la peep y esto nos da el NIF¹⁵.

La presión espiratoria máxima (PEMAX), también llamada presión espiratoria positiva (PEP) se puede medir para evaluar la fuerza muscular respiratoria del paciente, su capacidad para toser y para eliminar secreciones. El umbral utilizado para predecir el éxito del destete es mayor de 60 cm H₂O y tiene un AUC 0.82 para predecir extubación fallida¹⁶.

El pico flujo espiratorio (PFLOW), valora el flujo espiratorio máximo de la tos, que refleja la actividad neuromuscular y la coordinación efectiva. En el estudio de Kutchak et al., se demostró que una medición del flujo espiratorio máximo CPEF (Medición del flujo espiratorio máximo) < 80 l/min representa un buen predictor de fracaso de la extubación (RR 3,5; IC del 95 %: 2,0 a 6,7, PAG <0,001)¹⁶.

Es importante mencionar que estas pruebas no necesariamente deben ser aplicadas en todos los pacientes al momento de considerar el weaning ventilatorio, siempre debe perso-

nalizarse la estrategia de weaning en base a las características clínicas y comorbilidades. Se requiere un drive respiratorio óptimo, para el PEMAX el paciente debe estar lo suficientemente despierto para generar voluntariamente un esfuerzo máximo. Es importante recalcar que estos parámetros reflejan la fuerza de los músculos inspiratorios, la capacidad tusígena y de eliminar secreciones, por tanto, puede haber pacientes que se benefician más que otros de esta evaluación¹⁶.

4. Índice de CROP

Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{CROP} = \text{Cdyn} \times \text{Pimax} (\text{PaO}_2/\text{PAO}_2)/\text{Fr}$$

$$\text{PAO}_2: \text{FIO}_2 \times (\text{PB}-\text{PH}_2\text{O}) - \text{PaO}_2/\text{R}$$

R: Cociente respiratorio 0.8

Alvisi y col. demostraron que un índice CROP > 16 mL/respiraciones/min es un buen predictor de destete ventilatorio. Un valor de 13 mL/respiraciones/min tuvo una S 95%, VPP 84%, E 33% y VPN 66% con un AUC fue de 0.62, lo que nuevamente sugirió que no era significativo¹⁷.

5. Índice de weaning integrado

Evalúa en una sola ecuación, la mecánica respiratoria, la oxigenación y el patrón respiratorio. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{IWI} = \text{Cst}, \text{rs} \times \text{SaO}_2/(\text{fr}/\text{Vt})$$

El IWI tiene una S 97%, E 94%, valor predictivo positivo VPP 99% y valor predictivo negativo VPN de 86%. Además, el IWI presentó mayor probabilidad de éxito del destete cuando la prueba es positiva (0,99) y la menor probabilidad de éxito del destete cuando la prueba es negativa (0,14). (18)

6. Valoración de la permeabilidad de la vía aérea

Factores como intubación de emergencia, sexo femenino, intubación prolongada, mayor número de intentos de intubación, trauma, transfusión masiva o terapia de fluidos amplia, aumenta el riesgo de edema y la obstrucción de la vía aérea tras la extubación¹⁹.

El test de fuga ayuda a prever la presencia de estridor laríngeo o no postextubación. Para realizarlo el paciente debe estar confortable en ventilación mecánica modo volumen control, posterior desinflar el balón del tubo endotraqueal (TET) y observar el cambio en el volumen corriente espirado entre el inflado y el desinflado del TET. El valor de corte es mayor a 110 ml o si la fuga es ≥ 10 -15% del volumen corriente entregado^{22, 20}. Se considera positivo el test cuando

no fuga y viceversa cuando si fuga. Tiene una S 62% y especificidad 87% para la obstrucción de la vía aérea posterior a la extubación²⁰.

El edema laríngeo es una complicación de la intubación endotraqueal y podría ser causa de estridor postextubación y reintubación, prolongando la estancia en UCI e incrementando la morbilidad. Un metaanálisis 2023, evaluó la utilidad de los corticoides en el riesgo de estridor postextubación y reintubación que fue significativamente menor en pacientes tratados con dexametasona y metilprednisolona que en pacientes tratados con placebo^{19, 20}.

7. Densidad del poder mecánico ajustado a la complacencia dinámica

La densidad del poder mecánico corresponde a energía total que entrega el ventilador por minuto dividido para la complacencia dinámica del pulmón, conocida por sus siglas (PMd). En otras palabras, indica cuánta energía por minuto "recibe" cada unidad de tejido pulmonar realmente distensible. Esta determinado por la presión máxima en las vías respiratorias, la presión dinámica de conducción y la frecuencia de su aplicación (aplicación de presión por tiempo) que están asociados de forma independiente con el fracaso del destete²¹.

En el estudio multicéntrico de Yao et al. se evaluó el poder mecánico (PM) normalizado a la complacencia dinámica (PM/Cdyn), denominado densidad de poder mecánico, como predictor de fracaso de destete en 328 pacientes ventilados ≥ 48 h. Este índice refleja la energía por minuto que recibe cada unidad de pulmón distensible, de modo que un mismo poder mecánico absoluto puede ser más dañino cuando la complacencia es baja porque la energía se concentra en menos tejido ventilable. La tasa de fracaso de weaning por cuartiles: 7.6 % en Q1 (≤ 164.7), 15.2% en Q2 (164.7-331.5), 31.3% en Q3 (331.6-561.8) y 63.6% en Q4 (≥ 561.9). Cada incremento de 100 unidades de PM/Cdyn aumentó el riesgo de fracaso de weaning con un odds ratio ajustado de 1.24 (IC 95%: 1.12-1.36).

Esta asociación se mantuvo tanto para fracaso de la prueba de ventilación espontánea como para reintubación en las 48 h posteriores a la extubación, puntos de corte ≤ 0.10 - 0.12 J/min/mL/cmH₂O asociado a éxito, > 0.12 - 0.15 J/min/mL/cmH₂O riesgo de fracaso de weaning²².

8. Índice de Poder mecánico ajustado por eficiencia ventilatoria

Parámetro habitualmente aplicado en pacientes con ventilación mecánica (VM); refleja la energía transferida al sistema respiratorio como producto de las presiones aplicadas de forma artificial y la ventilación minuto. Actualmente, ha

sido indexado a la distensibilidad dinámica pulmón - tórax para ser aplicado durante el weaning ventilatorio para predecir la carga de trabajo de los músculos respiratorios durante la respiración espontánea, sobretudo en pacientes que han requerido VM prolongada; se ha comprobado un mayor rendimiento diagnóstico previo a completar el weaning. Un valor menor de 3000 incrementa la probabilidad de éxito, valores mayores de 7000 incrementan la probabilidad de fracaso y valores entre 4000 a 6000 figuran un área gris aún a investigar²³.

$$PI = Fr \times P_{pico} \times (P_{pico} - PEEP) \times [PaCO_2/45]$$

9. Ecografía pulmonar

La aplicación de la ecografía pulmonar antes y durante la SBT con un incremento de líneas B ≥ 6 tiene una buena precisión para detectar WIPO, con una sensibilidad del 83% y especificidad 82.5%, AUC 0.82²⁴. La evaluación cuantitativa de 12 vistas ayuda a monitorizar la aireación, identificando pacientes con alto riesgo de destete, si LUS score > 17 puntos; mientras que el abordaje de 8 vistas predice riesgo de extubación en prueba de SBT²⁴.

10. Evaluación de la función diafragmática

Los pacientes más beneficiados incluyen aquellos con hospitalizaciones prolongadas, polineuropáticos y desnutridos. Representa un estudio no invasivo, demanda poco tiempo, puede realizarse a pie de cama, fácilmente reproducible y con escasa variabilidad interobservador²⁵.

La excursión diafragmática, durante la SBT con un valor < 20 mm permite diagnosticar disfunción del diafragma; sin embargo, valores < 15 mm predicen fracaso del destete ventilatorio. Otro parámetro por evaluar es la fracción de engrosamiento diafragmático (FEd), el valor normal oscila entre 30 - 35%. Un FEd $< 30\%$ permite detectar atrofia diafragmática y un valor incrementado puede sugerir otras alteraciones como edema y fibrosis²⁶.

$$Fed = (D_{inp} - D_{exp}) / D_{exp} \times 100$$

En la actualidad, se propone el uso del índice de respiración rápida y superficial diafragmático (D-RSBI), enfocando el importante rol de este músculo para generar un adecuado volumen corriente; un valor medio $> 1,3$ respiraciones/mm se asocia con una sensibilidad 94%, especificidad 65%, VPP 57%, VPN 96% de falla de weaning y demostró ser más preciso que la RSBI tradicional para predecir el resultado del destete²⁷.

$$D-RSBI = Fr / \text{Desplazamiento diafragmático}$$

Fracaso de la extubación

Se define como fracaso de la extubación a la necesidad de reintubación en cuestión de horas o días después de una extubación planificada. El tiempo considerado varía entre 24 h hasta cualquier momento durante la estancia hospitalaria. El fracaso se asocia con aumento en la duración de la VM, mayor necesidad de traqueotomía, mayores costos médicos e incremento 25 al 50% de la mortalidad²⁸.

En la actualidad existen tres situaciones que definen el fracaso a la extubación: una prueba de ventilación espontánea fallida, reintubación y/o reanudación del soporte ventilatorio en las 48 horas posteriores a la extubación y/o fallecimiento dentro de las 48 horas posteriores a la extubación.

11. Utilidad del péptido natriurético atrial (BNP)

El BNP y la prohormona N terminal BNP (NT - proBNP), son proteínas liberadas por los ventrículos en respuesta al estiramiento de la fibra miocárdica²⁹. Durante el weaning ventilatorio, al interrumpirse la VM, existe un incremento de la precarga y poscarga cardíaca, al coexistir disfunción cardíaca el corazón se descompensará. El $\Delta\text{BNP}\%$ ($\Delta\text{BNP}/\text{BNP1}$) > 20% tiene una S 89% y E 82% con un AUC de 0.95 para la predic-

ción de weaning exitoso y detectar si el fracaso se encuentra ligado a factor cardiogénico, mientras que el NT - proBNP medido después del SBT para predecir fracaso de la extubación tiene una sensibilidad del 78% y especificidad del 90%^{30, 31}.

ΔBNP	Diferencia del BNP medido antes y BNP 2 horas después del SBT
BNP1	BNP medido antes de la SBT

12. Saturación venosa central (SvcO₂)

La SvcO₂ un marcador integrador del equilibrio entre el aporte (DO₂) y el consumo de oxígeno (VO₂). Durante el proceso de weaning, el aumento del trabajo respiratorio incrementa el consumo de oxígeno, lo que puede comprometer este equilibrio y manifestarse como una disminución de la SvcO₂. (34) Una caída de la SvcO₂ $\geq$ 5,4% tras 30 minutos de prueba de respiración espontánea predecir el fracaso del destete. Esto se explica por una incapacidad del sistema cardiovascular y respiratorio para satisfacer la demanda metabólica aumentada, lo que lleva a un incremento del VO₂ y una reducción de la SvcO₂³⁵.

Tabla 1. Resumen de los predictores de weaning ventilatorio distribuidos en estrategias respiratorias y cardiovasculares

	Patrones	Predictor	Fórmula/Maniobra	Punto de corte	Observación
RESPIRATORIO					
Clásicos	Patrón fisiológico respiratorio	Índice de Tobin o IRRS	FR/VT	< 105	Limitado si se usa de forma única
	Drive respiratorio	P 0.1 o Presión de oclusión a los 100 ms	En modo espontáneo, oclusión al final de la espiración que mide la presión negativa generada en los primeros 100 ms del esfuerzo inspiratorio.	<0.5-1 cmH ₂ O Drive bajo (sedación, depresión central), 1.5 - 3.5 cmH ₂ O aceptable, >4 riesgo de fracaso de weaning, fatiga.	Relevante en VM prolongada, mide drive respiratorio neural, y evalúa el riesgo de fatiga diagramática.
	Fuerza muscular	Pimax	-	≤ -20 a -30 cmH ₂ O	Depende de cooperación, evalúa la fuerza diafragmática
		Pemax	-	>60 cmH ₂ O	Evalúa la musculatura intercostal y abdominal. Predice tos efectiva
		Pico flujo espiratorio	-	> -80 L/min	Valora flujo espiratorio máximo de la tos. Clave en neurocríticos
	Vía aérea	Test de fuga	-	Fuga >10-15%	
Índices integrados	Combinación de patrones	Índice CROP	Cdyn x Pimax (PaO ₂ /PAO ₂)/Fr	>13-16 mL/resp/min	Incluye oxigenación y la fuerza muscular
		IWI	Cst x SaO ₂ / (Fr/Vt)	>25	Mejor que Tobin aislado

	Patrones	Predictor	Fórmula/Maniobra	Punto de corte	Observación
Avanzados	Ecografía pulmonar	Excursión diafragmática		>10-15 mm	
		Fracción de engrosamiento	$(D_{\text{inp}} - D_{\text{exp}}) / D_{\text{exp}} \times 100$	>30-35%	< 30% Indica atrofia diafragmática
	Mecánica avanzada	PMd	MP/Cdyn	$\leq 0.10-0.12 \text{ J/min/mL/cmH}_2\text{O}$ asociado a éxito, $> 0.12-0.15 \text{ J/min/mL/cmH}_2\text{O}$ riesgo de fracaso	Refleja estrés mecánico por unidad de volumen ventilado, no validado universal
		IP	$Fr \times P_{\text{pico}} \times (P_{\text{pico}} - P_{\text{EEP}}) \times [\text{PaCO}_2/45]$	< 3000 probabilidad de éxito, > 7000 probabilidad de fracaso, entres 4000 a 6000 área gris	No estándar
CARDIOVASCULARES					
	Ecocardiografía	Cociente E/E'		>7.8	Predice disfunción diastólica
	Biomarcador	NT-proBNP		Variación 20%	
		Saturación venosa central (SvcO2)		Caida < 5-8%, si es > desfavorable	Desbalance entre aporte y demanda

Pimax (Presión inspiratoria máxima); Pemax (Presión espiratoria máxima); Complacencia dinámica (Cdyn); Complacencia estática (Cst); Índice Compliance, Rate, Oxygenation, and Pressure (CROP); Índice Weaning integrado (IWI); E/E' E (refleja el llenado precoz del Ventrículo Izquierdo), E' (refleja la relajación miocárdica); N-terminal pro-Brain Natriuretic Peptide (NT-proBNP), ventilación mecánica (VM), Densidad de poder mecánico (PMd), Poder mecánico Indexado (IP).

Causas cardiovasculares asociadas a fallo de weaning

El WIPO (La disfunción cardíaca inducida por destete) se asocia a la reducción de la presión intratorácica que causa incremento de presiones de llenado cardíaco y edema pulmonar cardiogénico en un paciente con un corazón no competente³⁶. Representa hasta un 60% de las causas de fracaso de destete en pacientes con factores de riesgo cardiovascular³⁷. Cabello y col demostraron que la SBT con ventilación de baja presión (21%) se asoció con menor probabilidad de WIPO vs la ventilación con pieza en T (79%) debido a que reduce el esfuerzo respiratorio del paciente²⁵.

Dentro de los factores de riesgo para desarrollar WIPO durante el destete de la ventilación mecánica se encuentran: Edad > 65 años, obesidad, antecedentes de enfermedad cardíaca o respiratoria, disfunción sistólica del VI (FEVI < 40%) y/o disfunción diastólica (grado II - III) en un 80%, valvulopatía relevante (predominio regurgitación mitral), miocardiopatía obstructiva, precarga independiente, dilatación del ventrículo derecho con congestión venosa sistémica, balance hídrico positivo e hipertensión arterial inducida por SBT^{36, 39}.

Pruebas predictoras de WIPO

La medición de proteínas plasmáticas, bajo el contexto de infiltración de líquido escaso en proteínas hacia el espacio intersticial durante el WIPO antes y después del SBT con una variación > 6% tiene una S 87% y E 95% para predecir WIPO.³⁹

El grado de disfunción diastólica II y III se asocian un 80% con WIPO³⁹. Sanfilippo y col, en un metaanálisis demostraron que un incremento del cociente E/E' > 7.8 tiene un AUC 0.86 para predecir falla de destete, mientras que el E/Vp un AUC 0.74, S 75% y E 73%.^{40, 41} Faltan más estudios, pero una FEVI < 40% también podría asociarse a falla de weaning.⁴²

La aplicación de elevación pasiva de las piernas (PLR) durante el SBT tiene por objetivo determinar el gasto cardíaco antes y después del SBT, si no se evidencia incremento del gasto cardíaco (PLR negativa) sugiere que el paciente se encuentra en un estado de precarga independiente y se asocia con disfunción cardíaca inducida por el destete⁴³.

Tabla 2. Predictores de falla de weaning por WIPO

Proteínas plasmáticas antes y durante el SBT	Variación > 6%	S 87% E 95%
Δ BNP% (Δ BNP/BNP1)	Variación > 20%	S 89% E 82%
NT - proBNP medido después del SBT	Variación < 20%	S 78% E 90%
Cociente E/E'	> 7.8	S 79 E 100%
Insuficiencia mitral severa	FEVI $\leq$ 60% y LVESD $\geq$ 40	Riesgo fallo extubación
FEVI	FEVI < 40%	Riesgo fallo extubación
Elevación pasiva de las piernas	PLR < 10%	Se asocia con WIPO

Participación del ventrículo derecho en el weaning

La transición a respiración espontánea durante la prueba de respiración espontánea (SBT) incrementa el retorno venoso, la precarga y la poscarga del ventrículo derecho (VD) debido al cambio de presión intratorácica positiva a negativa y al aumento de las resistencias vasculares pulmonares por hipoxia e hipercapnia. En pacientes con reserva limitada del VD, estos cambios pueden inducir dilatación e insuficiencia ventricular derecha aguda, además de generar valores falsamente bajos del índice de performance miocárdica (IPM) por acortamiento del tiempo de relajación isovolumétrica. Actualmente existe escasa evidencia sobre parámetros ecocardiográficos para guiar el destete ventilatorio en pacientes con disfunción del VD. Estudios pequeños sugieren que una mayor reserva longitudinal del VD (strain de la pared libre) durante el SBT se asocia con mayor probabilidad de éxito de extubación. Asimismo, un TAPSE $\geq$ 14,6 mm predice éxito del destete con una sensibilidad del 91% y especificidad del 74%, mientras que la velocidad sistólica tricuspídea (S') presenta una sensibilidad del 72,2% y especificidad del 55,5% para predecir fracaso del destete.

Soporte ventilatorio no invasivo en el proceso de extubación

Utilidad de la CNAF vs VNI en la extubación

Los soportes de oxígeno no invasivos disminuyen la tasa de reintubación en comparación con la oxigenoterapia convencional, también favorecen a disminuir la frecuencia respiratoria, mejor eliminación de secreciones y reducción de atelectasia. Sin embargo, el uso de cada uno depende de los factores de riesgo que tenga el paciente, de fallo posterior a la extubación.^{46, 47}

Existen factores de riesgo que se deben evaluar previo a la extubación para considerar el uso de soporte de oxígeno no invasivo. Dentro de estos, se encuentran: Edad > 65 años,

APACHE II > 12 el día de la extubación, ventilación mecánica prolongada (> 24 - 48 horas), incapacidad para manejar secreciones respiratorias, weaning prolongado o dificultoso, $\geq$ 2 comorbilidades, insuficiencia cardíaca como primera indicación de intubación, EPOC, IMC > 30, problemas de permeabilidad de las vías respiratorias, e hipercapnia al final del SBT^{48, 50}.

Escalas de riesgo para considerar dispositivos de oxígeno no invasivos

**Figura 2.**

En obesidad o postquirúrgico complejo se sugiere cualquiera de las dos opciones o en combinación en pacientes posoperatorios con alto riesgo de complicaciones respiratorias e IMC > 30, teniendo en cuenta que el nivel de evidencia es de baja certeza^{49, 50}.

Signos de falla de weaning en pacientes con soporte ventilatorio no invasivo

- Clínicos (alta sensibilidad, baja especificidad): disnea progresiva, signos clínicos característicos de insuficiencia respiratoria, taquipnea sostenida, intolerancia, agitación y alteración del sensorio^{51, 52}.
- Gasométricos (alta especificidad): hipoxemia refractaria ($\text{PAFI} < 150 \text{ mmHg}$ o $\text{SpO}_2 < 90\%$ con $\text{FiO}_2 \geq 0.6$ en HFNC/NIV), hipercapnia progresiva (aumento de $\text{PaCO}_2 > 10 \text{ mmHg}$ respecto a la gasometría basal, especialmente si se acompaña de caída del $\text{pH} < 7.30$), acidosis respiratoria persistente ($\text{pH} < 7.25$ pese a VNI optimizada)^{53, 54}.
- Índices integrados:
Índice de Rox ($\text{SpO}_2/\text{FiO}_2 \div \text{FR}$): < 3.85 a las 12 horas de CNAF representa un predictor robusto de fracaso de CNAF^{50, 55}.
Índice HACOR: ≥ 5 puntos dentro de las 2 horas de VNI predice fracaso con $\text{AUC} > 0.85$ ⁵⁶.

Propuesta de fenotipos en el paciente crítico antes de iniciar el weaning ventilatorio

En la actualidad existen varios indicadores de weaning ventilatorio, es importante la aplicabilidad personalizada de los mismos. No es necesario emplear todos los parámetros

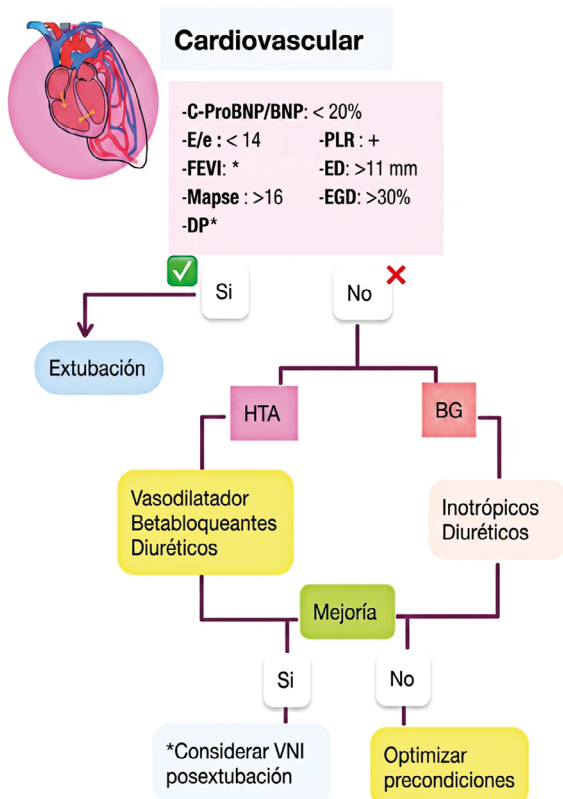


Figura 3.

en todos los pacientes, sino enfocado en sus antecedentes de riesgo y cuadro clínico durante la hospitalización en UCI. Aunque no existe un sistema único de clasificación, la evaluación de fenotipos fisiopatológicos (cardiogénico, EPOC, debilidad muscular, postquirúrgico, etc.) y el uso de herramientas multimodales (ecocardiografía, ultrasonido diafragmático, biomarcadores) permiten personalizar la estrategia de destete y reducir la tasa de fracaso⁵⁷.

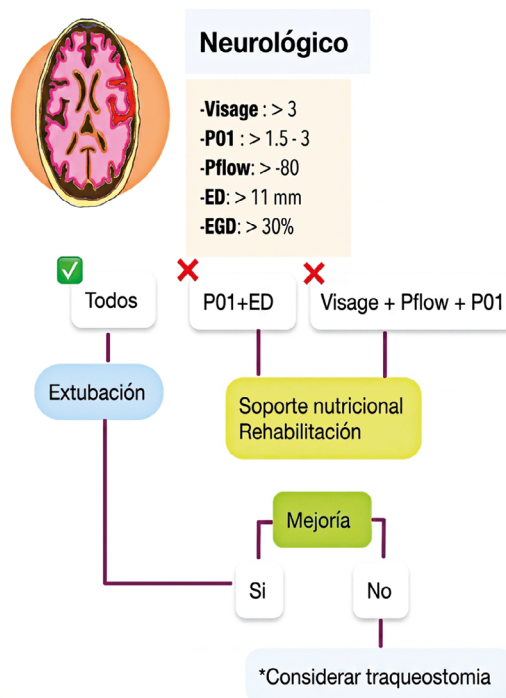


Figura 4.

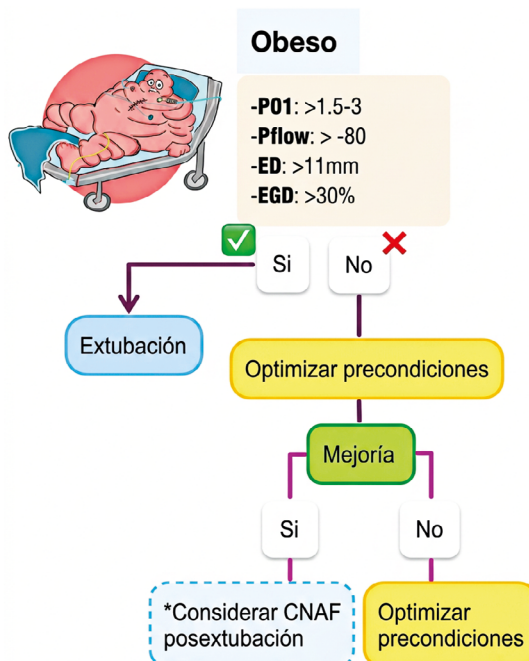


Figura 5.

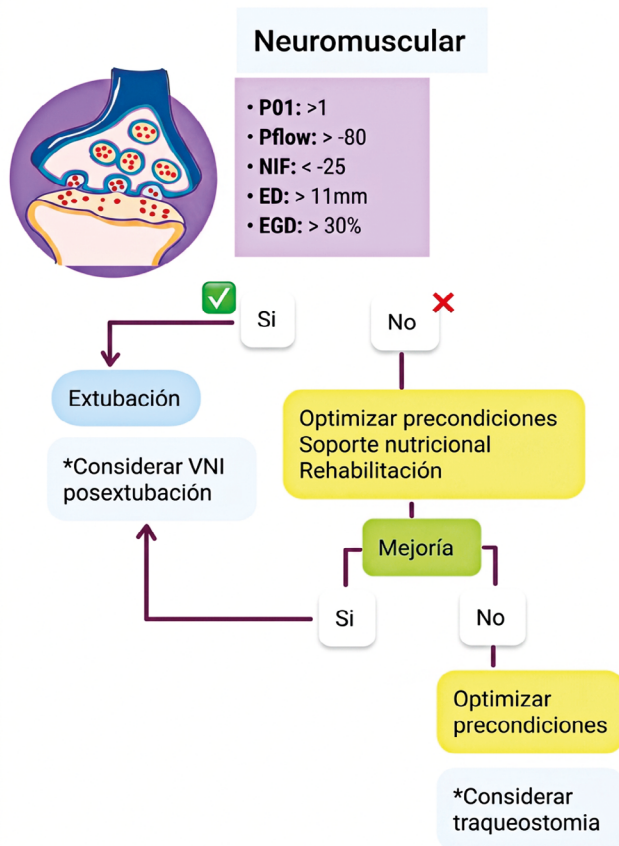


Figura 6.

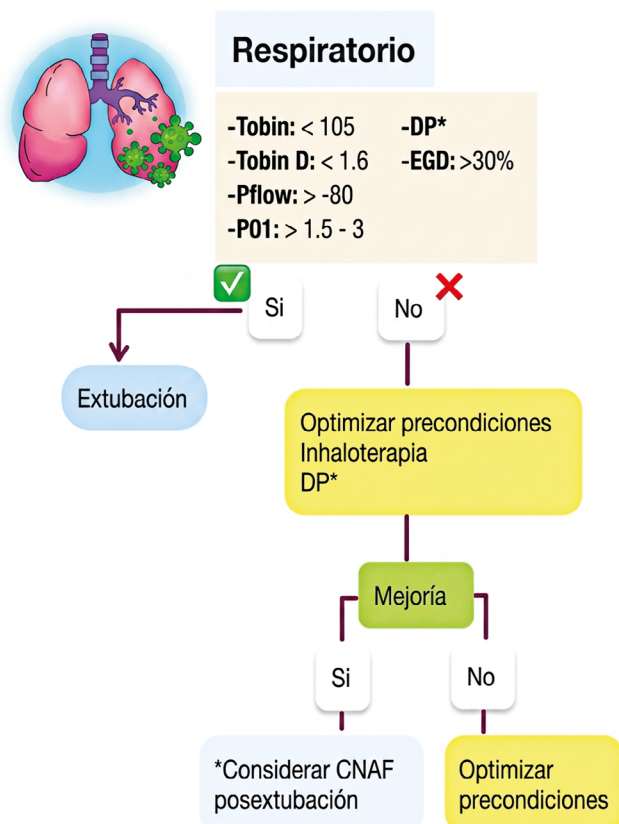


Figura 7.

Discusión

El proceso de destete ventilatorio involucra múltiples factores y la necesidad de una evaluación integral. La evidencia reciente confirma que la prueba de ventilación espontánea (SBT) sigue siendo el pilar fundamental del proceso de destete ventilatorio; sin embargo, no existe superioridad clara entre sus distintas maneras en términos de desenlaces clínicos relevantes como mortalidad o reintubación^{58-60, 74, 75, 79}.

Los predictores clásicos, particularmente RSBI, han demostrado limitaciones significativas en su rendimiento diagnóstico, especialmente en poblaciones heterogéneas, lo que reduce su beneficio como herramienta aislada en la toma de decisiones clínicas^{61, 76}. Por lo tanto, la tendencia actual se orienta hacia la integración de múltiples parámetros fisiológicos en modelos multimodales y específicos^{68, 69, 70}.

La ecografía pulmonar y diafragmática ha surgido como una herramienta clave en el proceso de weaning, proporcionando una evaluación dinámica de la aireación pulmonar, la presencia de edema pulmonar inducido por el destete y la función diafragmática^{62-65, 82}. Asimismo, la cuantificación de la función diafragmática mediante índices como el D-RSBI ha señalado un mejor rendimiento predictivo frente a los índices tradicionales, reafirmando como un marcador prometedor^{66, 67, 83}.

Desde un enfoque fisiopatológico, la interacción corazón-pulmón ejerce un papel central en el fracaso del destete. La transición de ventilación mecánica a respiración espontánea implica cambios hemodinámicos representativos que pueden precipitar disfunción cardíaca, sobre todo en pacientes con patologías cardiovasculares⁸⁷. En este contexto, biomarcadores como el BNP/NT-proBNP y la ecocardiografía han demostrado utilidad en la identificación precoz de estos mecanismos^{87, 64}.

Otro aspecto relevante es el papel del drive respiratorio y el esfuerzo ventilatorio ya que sus alteraciones pueden conducir a fenómenos como la lesión pulmonar autoinducida (P-SILI), contribuyendo al fracaso del destete y empeorando los desenlaces clínicos^{86, 93}. Por ello, la monitorización del esfuerzo respiratorio se ha convertido en un objetivo emergente en el manejo del paciente ventilado⁹².

En relación con las estrategias terapéuticas, el uso de soporte respiratorio no invasivo posterior a la extubación, incluyendo la ventilación no invasiva (VNI) y la cánula nasal de alto flujo (CNAF), ha demostrado reducir significativamente las tasas de reintubación, particularmente en pacientes de alto riesgo^{72, 80, 81, 88-91}. Estudios recientes sugieren que la selección del tipo de soporte debe basarse en el perfil clínico del paciente, incluyendo factores como obesidad, enfermedad pulmonar crónica y riesgo de hipercapnia^{73, 47, 90}.

A pesar de estos avances, la evidencia actual presenta limitaciones importantes. Existe una destacada heterogeneidad

en los diseños de estudio, en las definiciones de éxito y fracaso del destete, así como en los criterios de inclusión de los pacientes^{61, 68}. Además, muchos de los nuevos índices propuestos carecen de validación externa robusta y procede de estudios observacionales o cohortes pequeñas^{69, 77}.

La evidencia disponible sigue siendo limitada en poblaciones específicas, como pacientes neurocríticos y aquellos con ventilación mecánica prolongada^{78, 95}. Actualmente, el estudio multicéntrico prospectivo ECO-WEANING (NCT06609798) evalúa un modelo basado en ecografía multiorgánica para la predicción del fracaso de extubación, representando un paso importante hacia estrategias de destete más personalizadas. Estos esfuerzos podrían complementarse en el futuro con modelos predictivos multimodales basados en inteligencia artificial que integren variables clínicas, fisiológicas y ecocardiográficas.

Conclusiones

El destete ventilatorio en el paciente crítico debe plantearse como un proceso dinámico, y multifactorial que requiere una evaluación integral y personalizada. La evidencia actual favorece la integración de múltiples herramientas diagnósticas, incluyendo parámetros clínicos, fisiológicos, ecográficos y biomarcadores, para optimizar la toma de decisiones y reducir la morbilidad asociada al proceso de weaning^{58-60, 87}.

La integración de tecnologías emergentes como la ecografía diafragmática, el monitoreo del esfuerzo respiratorio y el uso estratégico de soporte no invasivo postextubación ha permitido mejorar la identificación de pacientes en riesgo de fracaso, facilitando intervenciones más oportunas y dirigidas^{80, 81, 85, 92}.

Sin embargo, la falta de estandarización y validación de muchos de estos parámetros limita su aplicación universal, lo que pone en evidencia la necesidad de estudios multicéntricos robustos que permitan consolidar un enfoque basado en fenotipos clínicos y medicina de precisión en el destete ventilatorio^{61, 68, 69}.

En este aspecto, el futuro del weaning ventilatorio se encamina hacia un modelo integrador que encaje la monitorización avanzada, la individualización terapéutica y el uso de herramientas predictivas de alta precisión, con el objetivo de mejorar los desenlaces clínicos en pacientes críticos^{74, 94}.

Referencias

1. Esteban A, Anzueto A, Frutos F, Alía I, Brochard L, Stewart TE, et al; Mechanical Ventilation International Study Group. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA*. 2002 Jan 16;287(3):345-55. doi: 10.1001/jama.287.3.345.
2. Hill AD, Fowler RA, Burns KE, Rose L, Pinto RL, Scales DC. Long-Term Outcomes and Health Care Utilization after Prolonged Mechanical Ventilation. *Ann Am Thorac Soc*. 2017 Mar; 14(3):355-362. doi: 10.1513/AnnalsATS.201610-792OC.
3. Kahn JM, Le T, Angus DC, Cox CE, Hough CL, White DB, et al; ProVent Study Group Investigators. The epidemiology of chronic critical illness in the United States*. *Crit Care Med*. 2015 Feb;43(2):282-7. doi: 10.1097/CCM.0000000000000710.
4. Burns KEA, Khan J, Phoophiboon V, Trivedi V, Gomez-Builes JC, Giammaroli B, et al. Spontaneous Breathing Trial Techniques for Extubating Adults and Children Who Are Critically Ill: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Netw Open*. 2024 Feb 5;7(2):e2356794. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.56794.
5. Girard TD, Alhazzani W, Kress JP, Ouellette DR, Schmidt GA, Truitt JD, et al; ATS/CHEST Ad Hoc Committee on Liberation from Mechanical Ventilation in Adults. An Official American Thoracic Society/American College of Chest Physicians Clinical Practice Guideline: Liberation from Mechanical Ventilation in Critically Ill Adults. Rehabilitation Protocols, Ventilator Liberation Protocols, and Cuff Leak Tests. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017 Jan 1;195(1):120-133. doi: 10.1164/rccm.201610-2075ST.
6. Fernandez MM, González-Castro A, Magret M, Bouza MT, Ibañez M, et al. Reconnection to mechanical ventilation for 1 h after a successful spontaneous breathing trial reduces reintubation in critically ill patients: a multicenter randomized controlled trial. *Intensive Care Med*. 2017 Nov;43(11):1660-1667. doi: 10.1007/s00134-017-4911-0.
7. Coudroy R, Lejars A, Rodriguez M, Frat JP, Rault C, Arrivé F, Le Pape S, et al. Physiologic Effects of Reconnection to the Ventilator for 1 Hour Following a Successful Spontaneous Breathing Trial. *Chest*. 2024 Jun;165(6):1406-1414. doi: 10.1016/j.chest.2024.01.038.
8. Esteban A, Frutos F, Tobin MJ, Alía I, Solsona JF, Valverdú I, et al. A comparison of four methods of weaning patients from mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *N Engl J Med*. 1995 Feb 9;332(6):345-50. doi: 10.1056/NEJM199502093320601.
9. Esteban A, Alía I, Gordo F, Fernández R, Solsona JF, Vallverdú I, et al, Goldwasser RS. Extubation outcome after spontaneous breathing trials with T-tube or pressure support ventilation. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997 Aug;156(2 Pt 1):459-65. doi: 10.1164/ajrccm.156.2.9610109.
10. Dadam MM, Gonçalves ARR, Mortari GL, Klamt AP, Hippler A, Lago JU, et al. The Effect of Reconnection to Mechanical Ventilation for 1 Hour After Spontaneous Breathing Trial on Reintubation Among Patients Ventilated for More Than 12 Hours: A Randomized Clinical Trial. *Chest*. 2021 Jul;160(1):148-156. doi: 10.1016/j.chest.2021.02.064.

Como citar este artículo:

López Laaz SA, Bolaños Ladinez OA, Olivos Massa PF, Campozaño Burgos CV. Weaning ventilatorio en cuidados críticos: desafíos y estrategias de mejora. CC&EM [Internet]. [citado 25 de agosto de 2026];6(2):1-11. Disponible en: <https://criticalcareandemergencymedicine.com/OJS/index.php/inicio/article/view/9>

11. Karthika M, Al Enezi FA, Pillai LV, Arabi YM. Rapid shallow breathing index. *Ann Thorac Med.* 2016 Jul-Sep;11(3):167-76. doi: 10.4103/1817-1737.176876.
12. Trivedi V, Chaudhuri D, Jinah R, Pitcaru J, Agarwal A, Liu K, et al. The Usefulness of the Rapid Shallow Breathing Index in Predicting Successful Extubation: A Systematic Review and Meta-analysis. *Chest.* 2022 Jan;161(1):97-111. doi: 10.1016/j.chest.2021.06.030.
13. Telias I, Junhasavasdikul D, Rittayamai N, Piquilloud L, Chen L, Ferguson ND, et al. Airway Occlusion Pressure As an Estimate of Respiratory Drive and Inspiratory Effort during Assisted Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2020 May 1;201(9):1086-1098. doi: 10.1164/rccm.201907-1425OC.
14. Schepens T, Dianti J. Diaphragm protection: what should we target? *Curr Opin Crit Care.* 2020 Feb;26(1):35-40. doi: 10.1097/MCC.0000000000000683.
15. Bien Udos S, Souza GF, Campos ES, Farah de Carvalho E, Fernandes MG, Santoro I, et al. Maximum inspiratory pressure and rapid shallow breathing index as predictors of successful ventilator weaning. *J Phys Ther Sci.* 2015 Dec;27(12):3723-7. doi: 10.1589/jpts.27.3723.
16. Jiang C, Esquinas A, Mina B. Evaluation of cough peak expiratory flow as a predictor of successful mechanical ventilation discontinuation: a narrative review of the literature. *J Intensive Care.* 2017 Jun 2;5:33. doi: 10.1186/s40560-017-0229-9.
17. Ahmed FR, Al-Yateem N, Nejadghaderi SA, Saifan AR, Farghaly Abdelaliem SM, AbuRuz ME. Harnessing machine learning for predicting successful weaning from mechanical ventilation: A systematic review. *Aust Crit Care.* 2025 May;38(3):101203. doi: 10.1016/j.aucc.2025.101203.
18. Nemer SN, Barbas CS, Caldeira JB, Cárias TC, Santos RG, Almeida LC, et al. A new integrative weaning index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Care.* 2009;13(5):R152. doi: 10.1186/cc8051.
19. Shinohara M, Iwashita M, Abe T, Takeuchi I. Risk factors associated with symptoms of post-extubation upper airway obstruction in the emergency setting. *J Int Med Res.* 2020 May;48(5):300060520926367. doi: 10.1177/0300060520926367.
20. Kuriyama A, Jackson JL, Kamei J. Performance of the cuff leak test in adults in predicting post-extubation airway complications: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2020 Nov 7;24(1):640. doi: 10.1186/s13054-020-03358-8.
21. Ghiani A, Walcher S, Lutfi A, Paderewska J, Jaeger SU, Kneidinger N, et al. Mechanical power density, spontaneous breathing indexes, and prolonged weaning failure: a prospective cohort study. *Sci Rep.* 2024 Jul 15;14(1):16297. doi: 10.1038/s41598-024-67237-w.
22. Harder J, Molter J, Nugent K. The association of ventilator mechanical power with weaning outcomes in intensive care unit patients: a narrative review. *J Thorac Dis.* 2025 Jan 24;17(1):487-495. doi: 10.21037/jtd-24-1381.
23. Ghiani A, Paderewska J, Walcher S, Neurohr C. Mechanical power normalized to lung-thorax compliance predicts prolonged ventilation weaning failure: a prospective study. *BMC Pulm Med.* 2021 Jun 17;21(1):202. doi: 10.1186/s12890-021-01566-8.
24. Hamad, D.A., Abdel-Moniem, A.E., Meshref, T.S. et al. Diagnostic accuracy of lung ultrasound in detecting weaning-induced pulmonary edema. *Egypt J Bronchol.* 2023; 17 (22). doi: 10.1186/s43168-023-00197-3
25. Tuinman PR, Shi Z, Heunks L. How we use ultrasound in the management of weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 2025 Feb;51(2):393-396. doi: 10.1007/s00134-024-07753-5.
26. Tuinman PR, Shi Z, Heunks L. How we use ultrasound in the management of weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 2025 Feb;51(2):393-396. doi: 10.1007/s00134-024-07753-5.
27. Spadaro S, Grasso S, Mauri T, Dalla Corte F, Alvisi V, Ragazzi R, et al. Can diaphragmatic ultrasonography performed during the T-tube trial predict weaning failure? The role of diaphragmatic rapid shallow breathing index. *Crit Care.* 2016 Sep 28;20(1):305. doi: 10.1186/s13054-016-1479-y.
28. Torrini F, Gendreau S, Morel J, Carteaux G, Thille AW, Antonelli M, et al. Prediction of extubation outcome in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2021 Nov 15;25(1):391. doi: 10.1186/s13054-021-03802-3.
29. El Maraghi S, Hosny M, Samir M, Radwan W. Usage of B-type natriuretic peptide for prediction of weaning outcome by spontaneous breathing trial. *Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis.* 2014; 63 (3): 671 – 678. doi: 10.1016/j.ejcdt.2014.04.003.
30. Liu J, Wang CJ, Ran JH, Lin SH, Deng D, Ma Y, Xu F. The predictive value of brain natriuretic peptide or N-terminal pro-brain natriuretic peptide for weaning outcome in mechanical ventilation patients: Evidence from SROC. *J Renin Angiotensin Aldosterone Syst.* 2021 Jan-Dec;22(1):1470320321999497. doi: 10.1177/1470320321999497.
31. Deschamps J, Andersen SK, Webber J, Featherstone R, Sebastiani M, Vandermeer B, et al. Brain natriuretic peptide to predict successful liberation from mechanical ventilation in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2020 May 11;24(1):213. doi: 10.1186/s13054-020-2823-9.
32. Farghaly S, Galal M, Hasan AA, Nafady A. Brain natriuretic peptide as a predictor of weaning from mechanical ventilation in patients with respiratory illness. *Aust Crit Care.* 2015 Aug;28(3):116-21. doi: 10.1016/j.aucc.2014.12.002.
33. Russell JA. Biomarker (BNP)-guided weaning from mechanical ventilation: time for a paradigm shift? *Am J Respir Crit Care Med.* 2012 Dec 15;186(12):1202-4. doi: 10.1164/rccm.201210-1770ED.
34. Ocampo Terreros C, Jara León I, Campozano V, Plúa Tigua G. Saturación venosa central O2 como predictor en el fracaso del retiro del ventilador: revisión de literatura. *Investigation.* 2026;24. doi:10.31095/investigatio.2026.24.1207
35. Sánchez Díaz J, Peniche Moguel K, Betancourt Vera J, Vargas García I, Pérez Nieto O, Guerrero Gutiérrez M. Utilidad de la gasometría en el retiro de la ventilación mecánica. *Rev Chil Anest.* 2022;51(4). doi: 10.25237/revchilanestv5110051453
36. Béduneau G, Pham T, Schortgen F, Piquilloud L, Zogheib E, Jonas M, et al; WIND (Weaning according to a New Definition) Study Group and the REVA (Réseau Européen de Recherche en Ventilation Artificielle) Network ‡. Epidemiology of Weaning Outcome according to a New Definition. The WIND Study. *Am J*

- Respir Crit Care Med.* 2017 Mar 15;195(6):772-783. doi: 10.1164/rccm.201602-0320OC.
37. Vignon P. Cardiopulmonary interactions during ventilator weaning. *Front Physiol.* 2023 Sep 7;14:1275100. doi: 10.3389/fphys.2023.1275100.
 38. Cabello B, Thille AW, Roche-Campo F, Brochard L, Gómez FJ, Mancebo J. Physiological comparison of three spontaneous breathing trials in difficult-to-wean patients. *Intensive Care Med.* 2010 Jul;36(7):1171-9. doi: 10.1007/s00134-010-1870-0.
 39. Duncan CF, Bowcock E, Pathan F, Orde SR. Mitral regurgitation in the critically ill: the devil is in the detail. *Ann Intensive Care.* 2023 Aug 2;13(1):67. doi: 10.1186/s13613-023-01163-4.
 40. Anguel N, Monnet X, Osman D, Castelain V, Richard C, Teboul JL. Increase in plasma protein concentration for diagnosing weaning-induced pulmonary oedema. *Intensive Care Med.* 2008 Jul;34(7):1231-8. doi: 10.1007/s00134-008-1038-3.
 41. Sanfilippo F, Di Falco D, Noto A, Santonocito C, Morelli A, Bignami E, et al. Association of weaning failure from mechanical ventilation with transthoracic echocardiography parameters: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* 2021 Jan;126(1):319-330. doi: 10.1016/j.bja.2020.07.059.
 42. Papanikolaou J, Makris D, Saranteas T, Karakitsos D, Zintzaras E, Karabinis A, et al. New insights into weaning from mechanical ventilation: left ventricular diastolic dysfunction is a key player. *Intensive Care Med.* 2011 Dec;37(12):1976-85. doi: 10.1007/s00134-011-2368-0.
 43. Mayo P, Volpicelli G, Lerolle N, Schreiber A, Doelken P, Vieillard-Baron A. Ultrasonography evaluation during the weaning process: the heart, the diaphragm, the pleura and the lung. *Intensive Care Med.* 2016 Jul;42(7):1107-17. doi: 10.1007/s00134-016-4245-3.
 44. Shi R, Ayed S, Beuzelin M, Persichini R, Legouge M, Vita NDE, et al. Incidence and risk factors of weaning-induced pulmonary oedema: results from a multicentre, observational study. *Crit Care.* 2025 Mar 31;29(1):140. doi: 10.1186/s13054-025-05350-6.
 45. Rapis K, Lo Muzio FP, Faragli A, Wainstejn D, Nelki V, Spillmann F, et al. Right Ventricular Longitudinal Strain Predicts Weaning Success in Cardiogenic Shock Patients Supported by a Microaxial Flow Pump. *Crit Care Explor.* 2025 Jul 14;7(7):e1283. doi: 10.1097/CCE.0000000000001283.
 46. Singh M, Prakash V, Chaudhary G, Kumar S, Kumar G, Kumar H, et al. De/PO.1 and Tapse as Predictors of Extubation Outcome in Patients on Mechanical Ventilator. *SSRN.* 2024. doi: 10.2139/ssrn.4992269
 47. Boscolo A, Pettenuzzo T, Sella N, Zatta M, Salvagno M, Tassone M, et al. Noninvasive respiratory support after extubation: a systematic review and network meta-analysis. *Eur Respir Rev.* 2023 Apr 5;32(168):220196. doi: 10.1183/16000617.0196-2022. Erratum in: *Eur Respir Rev.* 2023 Jun 21;32(168):225196. doi: 10.1183/16000617.5196-2022.
 48. Oczkowski S, Ergon B, Bos L, Chatwin M, Ferrer M, Gregoretti C, et al. ERS clinical practice guidelines: high-flow nasal cannula in acute respiratory failure. *Eur Respir J.* 2022 Apr 14;59(4):2101574. doi: 10.1183/13993003.01574-2021.
 49. Hernández G, Paredes I, Moran F, Buj M, Colinas L, Rodríguez ML, et al. Effect of postextubation noninvasive ventilation with active humidification vs high-flow nasal cannula on reintubation in patients at very high risk for extubation failure: a randomized trial. *Intensive Care Med.* 2022 Dec;48(12):1751-1759. doi: 10.1007/s00134-022-06919-3. Epub 2022 Nov 18. Erratum in: *Intensive Care Med.* 2023 Mar;49(3):385. doi: 10.1007/s00134-023-06978-0.
 50. Oczkowski S, Ergon B, Bos L, Chatwin M, Ferrer M, Gregoretti C, et al. ERS clinical practice guidelines: high-flow nasal cannula in acute respiratory failure. *Eur Respir J.* 2022 Apr 14;59(4):2101574. doi: 10.1183/13993003.01574-2021.
 51. Hernández G, Paredes I, Moran F, Buj M, Colinas L, Rodríguez ML, et al. Correction to: Effect of postextubation noninvasive ventilation with active humidification vs high-flow nasal cannula on reintubation in patients at very high risk for extubation failure: a randomized trial. *Intensive Care Med.* 2023 Mar;49(3):385. doi: 10.1007/s00134-023-06978-0. Erratum for: *Intensive Care Med.* 2022 Dec;48(12):1751-1759. doi: 10.1007/s00134-022-06919-3.
 52. Grasselli G, Calfee CS, Camporota L, Poole D, Amato MBP, Antonelli M, et al; European Society of Intensive Care Medicine Taskforce on ARDS. ESICM guidelines on acute respiratory distress syndrome: definition, phenotyping and respiratory support strategies. *Intensive Care Med.* 2023 Jul;49(7):727-759. doi: 10.1007/s00134-023-07050-7.
 53. Rochwerf B, Brochard L, Elliott MW, Hess D, Hill NS, Nava S, Navalesi P Members Of The Steering Committee, Antonelli M, Brozek J, Conti G, Ferrer M, Guntupalli K, Jaber S, Keenan S, Mancebo J, Mehta S, Raoof S Members Of The Task Force. Official ERS/ATS clinical practice guidelines: noninvasive ventilation for acute respiratory failure. *Eur Respir J.* 2017 Aug 31;50(2):1602426. doi: 10.1183/13993003.02426-2016.
 54. Frat JP, Ricard JD, Quenot JP, Pichon N, Demoule A, Forel JM, et al; FLORALI-2 study group; REVA network. Non-invasive ventilation versus high-flow nasal cannula oxygen therapy with apnoeic oxygenation for preoxygenation before intubation of patients with acute hypoxaemic respiratory failure: a randomised, multicentre, open-label trial. *Lancet Respir Med.* 2019 Apr;7(4):303-312. doi: 10.1016/S2213-2600(19)30048-7.
 55. Roca O, Caralt B, Messika J, Samper M, Sztrymf B, Hernández G, et al. An Index Combining Respiratory Rate and Oxygenation to Predict Outcome of Nasal High-Flow Therapy. *Am J Respir Crit Care Med.* 2019 Jun 1;199(11):1368-1376. doi: 10.1164/rccm.201803-0589OC.
 56. Prakash J, Bhattacharya PK, Yadav AK, Kumar A, Tudu LC, Prasad K. ROX index as a good predictor of high flow nasal cannula failure in COVID-19 patients with acute hypoxemic respiratory failure: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care.* 2021 Dec;66:102-108. doi: 10.1016/j.jcrc.2021.08.012.
 57. Duan J, Wang S, Liu P, Han X, Tian Y, Gao F, et al. Early prediction of noninvasive ventilation failure in COPD patients: derivation, internal validation, and external validation of a simple risk score. *Ann Intensive Care.* 2019 Sep 30;9(1):108. doi: 10.1186/s13613-019-0585-9.
 58. Roberts KJ, Goodfellow LT, Battey-Muse CM, Hoerr CA, Carreon ML, Sorg ME, et al. AARC Clinical Practice Guideline: Spontaneous Breathing Trials for Liberation From Adult Mechanical Ventilation. *Respir Care.* 2024 Jun 28;69(7):891-901. doi: 10.4187/respcare.11735.

59. Ha TS, Oh DK, Lee HJ, Chang Y, Jeong IS, Sim YS, Hong SK, Park S, Suh GY, Park SY. Liberation from mechanical ventilation in critically ill patients: Korean Society of Critical Care Medicine Clinical Practice Guidelines. *Acute Crit Care*. 2024 Feb;39(1):1-23. doi: 10.4266/acc.2024.00052.m
60. Burns KEA, Rochweg B, Seely AJE. Ventilator Weaning and Extubation. *Crit Care Clin*. 2024 Apr;40(2):391-408. doi: 10.1016/j.ccc.2024.01.007.
61. da Silva AR, Novais MCM, Neto MG, Correia HF. Predictors of extubation failure in neurocritical patients: A systematic review. *Aust Crit Care*. 2023 Mar;36(2):285-291. doi: 10.1016/j.aucc.2021.11.005.
62. Zhang Z, Guo L, Wang H, Zhang Z, Shen L, Zhao H. Diagnostic accuracy of lung ultrasound to predict weaning outcome: a systematic review and meta-analysis. *Front Med (Lausanne)*. 2024 Nov 1;11:1486636. doi: 10.3389/fmed.2024.1486636.
63. Marques MR, Pereira JM, Paiva JA, de Casasola-Sánchez GG, Tung-Chen Y. Ultrasonography to Access Diaphragm Dysfunction and Predict the Success of Mechanical Ventilation Weaning in Critical Care: A Narrative Review. *J Ultrasound Med*. 2024 Feb;43(2):223-236. doi: 10.1002/jum.16363.
64. Song J, Luo Q, Lai X, Hu W, Yu Y, Wang M, Yang K, Chen G, Chen W, Li Q, Hu C, Gong S. Combined cardiac, lung, and diaphragm ultrasound for predicting weaning failure during spontaneous breathing trial. *Ann Intensive Care*. 2024 Apr 20;14(1):60. doi: 10.1186/s13613-024-01294-2.
65. Al-Husinat L, Jouryyeh B, Rawashdeh A, Robba C, Silva PL, Rocco PRM, Battaglini D. The Role of Ultrasonography in the Process of Weaning from Mechanical Ventilation in Critically Ill Patients. *Diagnostics (Basel)*. 2024 Feb 12;14(4):398. doi: 10.3390/diagnostics14040398.
66. Ma L, Zhou N, Yuan K, et al. Predictive value of bedside diaphragmatic ultrasonography for extubation success in critically ill patients after general anaesthesia: a meta-analysis with trial sequential analysis (TSA). *Indian J Anaesth*. 2025;69(1):38-53. doi:10.4103/ija.ija_881_24.
67. Parada-Gereda HM, Molano-Franco D, Peña-López LA; et al. Diaphragmatic rapid shallow breathing index for predicting successful weaning from mechanical ventilation: systematic review and meta-analysis. *Aust Crit Care*. 2025;38(5):101266. doi: 10.1016/j.aucc.2025.101266
68. Zeng X, Chen XJ, Lai P, et al. Risk prediction models for extubation failure in critically ill patients on mechanical ventilation: a systematic review. *Front Med (Lausanne)*. 2025;12:1695394. doi:10.3389/fmed.2025.1695394.
69. Yin C, Xu L, Li W; et al. Risk prediction model for difficulty in weaning from mechanical ventilation in critically ill patients: results from a multicentre retrospective study. *BMJ Open*. 2025;15(5):e097419. doi: 10.1136/bmjopen-2024-097419.
70. Vollbrecht H, Patel BK. Management of sedation during weaning from mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care*. 2025; 31(1):78-85. doi:10.1097/MCC.0000000000001226.
71. De Noray H, Duclos NC, Boyer A, et al. Handgrip strength association with weaning outcome in mechanically ventilated ICU patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2025;29(1):478. doi:10.1186/s13054-025-05729-5
72. Duarte HB, Batista UJS, Oliveira PM; et al. Effects of prophylactic non-invasive ventilation on weaning outcomes: systematic review and meta-analysis. *Aust Crit Care*. 2025;38(3):101199. doi: 10.1016/j.aucc.2025.101199.
73. Pensier J, Naudet-Lasserre A, Monet C, et al. Noninvasive respiratory support following extubation in critically ill adults with obesity: a systematic review and network meta-analysis. *EClinicalMedicine*. 2024;79:103002. doi:10.1016/j.eclinm.2024.103002
74. Ippolito M, Sardo S, Tripodi VF; et al. Association between spontaneous breathing trial methods and reintubation: systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *Chest*. 2024;166(5):1020-1034. doi: 10.1016/j.chest.2024.06.3773.
75. Clerk AM, Shah RJ, Kothari J, Sodhi K, Vadi S, Bhattacharya PK, et al. Position Statement of ISCCM Committee on Weaning from Mechanical Ventilator. *Indian J Crit Care Med*. 2024;28(Suppl 2):S233-S248. doi:10.5005/jp-journals-10071-24716.
76. Jia D, Wang H, Wang Q, et al. Rapid shallow breathing index predicting extubation outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Intensive Crit Care Nurs*. 2024;80:103551. doi:10.1016/j.iccn.2023.103551
77. Li W, Zhang Y, Wang Z; et al. Risk factors of reintubation in ICU patients on mechanical ventilation: systematic review and meta-analysis. *Intensive Crit Care Nurs*. 2023;74:103340. doi: 10.1016/j.iccn.2022.103340
78. Da Silva AR, Magalhães Novais MC, Gomes Neto M; et al. Predictors of extubation failure in neurocritical patients: systematic review. *Aust Crit Care*. 2023;36(2):285-291. doi: 10.1016/j.aucc.2021.11.005.
79. Roberts KJ. 2022 year in review: ventilator liberation. *Respir Care*. 2023;68(12):1728-1735. doi:10.4187/respcare.11114.
80. Cortegiani A, Ippolito M, Luján M; et al. High-flow nasal therapy after extubation in critically ill adults: updated evidence and clinical implications. *Intensive Care Med*. 2023;49(5):543-555. doi:10.1007/s00134-023-06988-3
81. Grieco DL, Menga LS, Raggi V, et al. Noninvasive respiratory support after extubation in critically ill patients. *Lancet Respir Med*. 2023;11(4):345-357. doi:10.1016/S2213-2600(22)00445-7
82. Xu Z, Lian Y, Wang Z; et al. Predictive value of diaphragm ultrasound for weaning outcome in mechanically ventilated patients: a systematic review. *BMC Pulm Med*. 2023; 23:112. doi:10.1186/s12890-023-02345-6
83. Laghi F, Tobin MJ, Jubran A, et al. Respiratory muscle weakness and ventilator liberation in critical illness. *Am J Respir Crit Care Med*. 2023;208(3):273-285. doi:10.1164/rccm.202301-0123CI
84. Dres M, Goligher EC, Heunks LMA, et al. Critical illness-associated diaphragm weakness. *Intensive Care Med*. 2017;43(10):1441-1452. doi: 10.1007/s00134-017-4928-4.
85. Schepens T, Dres M, Heunks L; et al. Diaphragm-protective mechanical ventilation *Curr Opin Crit Care*. 2019;25(1):77-85. doi: 10.1097/MCC.0000000000000578.
86. Telias I, Brochard L. Respiratory drive and effort during mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care*. 2023;29(1):35-42. doi:10.1097/MCC.0000000000001010.

87. Thille AW, Coudroy R, Gacouin A; et al. Post-extubation respiratory failure: risk stratification and preventive strategies. *Intensive Care Med.* 2023;49(6):711-724. doi:10.1007/s00134-023-07068-8.
88. Rochweg B, Brochard L, Elliott MW; et al. High-flow nasal cannula and noninvasive ventilation in acute respiratory failure: Current evidence. *Intensive Care Med.* 2022;48(12):2226-2237. doi:10.1007/s00134-022-06868-0
89. Perkins GD, Mistry D, Gates S. et al. Effect of Protocolized Weaning With Early Extubation to Noninvasive Ventilation vs Invasive Weaning on Time to Liberation From Mechanical Ventilation Among Patients With Respiratory Failure: The Breathe Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2018;320(18):1881-1888. doi: 10.1001/jama.2018.13763.
90. Hernández G, Vaquero C, Ortiz R; et al. Benefit with preventive noninvasive ventilation in subgroups of patients at high-risk for reintubation: a post hoc analysis *Intensive Care Med.* 2022. 11;10(1):43. doi: 10.1186/s40560-022-00635-2.
91. Frat JP, Coudroy Rémi, Marjanovic N; et al. High-flow nasal oxygen therapy and noninvasive ventilation in the management of acute hypoxemic respiratory failure. *Ann Transl Med.* 2017;5(14):297. doi: 10.21037/atm.2017.06.52.
92. Cammarota G, Esposito T, Azzolina D; et al. Respiratory mechanics monitoring during assisted ventilation and weaning. *Intensive Care Med.* 2022;48(9):1183-1195. doi:10.1007/s00134-022-06755-8
93. Yoshida T, Grieco DL, Brochard L; et al. Patient self-inflicted lung injury and positive end-expiratory pressure for safe spontaneous breathing. *Curr Opin Crit Care.* 2020;26(1):59-65. doi: 10.1097/MCC.0000000000000691.
94. Sklar MC, Burns K, Rittayamai N; et al. Association of ventilator liberation protocols with ICU outcomes. *Crit Care Med.* 2021;49(11): e1102-e1112. doi:10.1097/CCM.0000000000005174
95. Chao CM, Lai CC, Cheng KC; et al. Weaning predictors in prolonged mechanical ventilation: updated evidence. *J Clin Med.* 2021;10(16):3569. doi:10.3390/jcm10163569.
96. Dres M, Demoule A. Monitoring diaphragm function in the ICU. *Curr Opin Crit Care.* 2020;26(1):18-25. doi:10.1097/MCC.0000000000000682