



## ORIGINAL

# DAÑO PULMONAR INDUCIDO POR VENTILACIÓN MECÁNICA

## Mechanical Ventilation Induced Lung Injury

*Autores:* Almonte Batista WM<sup>1</sup>, Alcaraz Barcelona M<sup>1</sup>, Ceballos Romero JC<sup>1</sup>, Almonte García CE<sup>2</sup>, Hurtado Fuentes Alvaro<sup>3</sup>, Godoy Mayoral, R<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Servicio de Neumología. Hospital General Albacete. Albacete

<sup>2</sup>Servicio de Cirugía de Tórax. Hospital General de Albacete

<sup>3</sup>Facultativo de Neumología. Hospital Hellín

### Resumen:

**Objetivo:** esta revisión de la literatura sobre el Daño Pulmonar Inducido por Ventilación Mecánica (DPIVM) tuvo como objetivo analizar la incidencia del DPIVM, identificar los factores de riesgo asociados, revisar las estrategias de prevención implementadas y destacar las buenas prácticas clínicas recomendadas.

**Método:** se llevó a cabo una revisión de estudios científicos relevantes publicados en bases de datos médicas. La búsqueda se centró en investigaciones que abordaran la incidencia, factores de riesgo, estrategias de prevención y buenas prácticas clínicas relacionadas con el DPIVM. La inclusión de estudios se basó en criterios tales como fecha de publicación, tipo de documentos, y disponibilidad de estos.

**Resultados:** La revisión reveló que el DPIVM afecta a una proporción significativa de pacientes bajo ventilación mecánica, con una presentación clínica variable. Se identificaron factores de riesgo clave, incluyendo presión inspiratoria elevada, volumen tidal inadecuado y condiciones preexistentes. Las estrategias de prevención, especialmente la aplicación de ventilación con bajo volumen tidal y la limitación de la presión inspiratoria, demostraron ser eficaces en la reducción de la incidencia del DPIVM.

**Conclusiones:** esta revisión resalta la importancia de abordar el DPIVM desde una perspectiva integral. La individualización de la estrategia de ventilación, la monitorización constante y la adaptación dinámica de los parámetros son esenciales para prevenir la lesión pulmonar. Las estrategias de prevención y las buenas prácticas clínicas desempeñan un papel crucial en mejorar los resultados y la seguridad de los pacientes sometidos a ventilación mecánica invasiva en entornos de cuidados críticos.

**Palabras clave:** Ventilación mecánica, Lesión pulmonar, Prevención ventilatoria, DPIVM.

### Resume:

**Objective:** this review of the literature on Mechanical Ventilation Induced Lung Injury (VILI) aimed to analyze the incidence of VILI, identify associated risk factors, review implemented prevention strategies and highlight recommended good clinical practices.

**Method:** a review of relevant scientific studies published in medical databases was carried out. The search focused on research addressing incidence, risk factors, prevention strategies and good clinical practices related to VILI. Inclusion of studies was based on criteria such as date of publication, type of papers, and availability of papers.

**Results:** The review revealed that VILI affects a significant proportion of patients on mechanical ventilation, with a variable clinical presentation. Key risk factors were identified, including elevated inspiratory pressure, inadequate tidal volume, and pre-existing conditions. Prevention strategies, especially the application of low tidal volume ventilation and inspiratory pressure limitation, were shown to be effective in reducing the incidence of VILI.

**Conclusions:** This review highlights the importance of approaching VILI from a comprehensive perspective. Individualization of ventilation strategy, constant monitoring and dynamic adaptation of parameters are essential to prevent lung injury. Prevention strategies and good clinical practices play a crucial role in improving the outcomes and safety of patients undergoing invasive mechanical ventilation in critical care settings.

**Key words:** Mechanical ventilation, Lung injury, Ventilatory prevention, VILI.

## Introducción:

La ventilación mecánica es un procedimiento médico que implica el uso de un dispositivo mecánico, como un ventilador, para ayudar o reemplazar la función respiratoria de una persona. Se utiliza comúnmente en situaciones en las que el paciente tiene dificultades para respirar por

sí mismo o cuando es necesario proporcionar un soporte respiratorio adicional (1,2). Con relación a la ventilación mecánica, existen dos tipos principales, esto es: (i) Ventilación Mecánica Invasiva (VMI, en la que se introduce un tubo endotraqueal a través de la boca o la nariz del paciente y hacia la tráquea, dónde este tubo está conectado

al ventilador mecánico, que administra aire en los pulmones y facilita la eliminación del dióxido de carbono. (ii) Ventilación Mecánica No Invasiva (VMNI), que es un enfoque que implica el uso de máscaras faciales o interfaces similares sin la necesidad de insertar un tubo en la tráquea. Este último tipo, es comúnmente utilizado en casos de insuficiencia respiratoria menos grave (3).

Así pues, la ventilación mecánica es una herramienta esencial en el manejo de pacientes con insuficiencia respiratoria aguda o crónica, ya que puede proporcionar el soporte necesario para mantener una oxigenación adecuada y facilitar la eliminación de dióxido de carbono en pacientes que, por diversas razones, no pueden realizar estas funciones de manera efectiva por sí mismos. Sin embargo, es importante destacar que el uso prolongado de la ventilación mecánica puede tener riesgos asociados, como el daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica (DPIVM), por lo que su implementación y supervisión deben llevarse a cabo con precaución y cuidado clínico (4).

El DPIVM es un fenómeno complejo que involucra una serie de alteraciones fisiopatológicas en los pulmones como respuesta a la presión y el volumen generados por el ventilador mecánico. Esta lesión puede manifestarse de diversas formas, desde inflamación pulmonar hasta la lesión directa de los tejidos, comprometiendo la función respiratoria y prolongando la duración de la asistencia ventilatoria (5). A lo largo de los años, se ha reconocido la importancia de entender los mecanismos subyacentes del DPIVM y de adoptar estrategias ventilatorias más seguras. La investigación en este campo ha llevado al desarrollo de enfoques ventilatorios protectores, que buscan minimizar el riesgo de daño pulmonar mientras se asegura una adecuada oxigenación y eliminación de dióxido de carbono (6).

### Justificación y objetivos

#### Justificación

La elección de explorar el tema del "Daño Pulmonar Inducido por la Ventilación Mecánica (DPVM)" a través de una revisión bibliográfica se basa en la creciente relevancia global de esta problemática en el ámbito médico y científico, con cifras alarmantes de incidencia tanto en Europa como a nivel internacional. En Europa, según datos epidemiológicos recientes, se estima que un porcentaje significativo de pacientes sometidos a ventilación mecánica experimenta algún grado de DPVM (7). Las cifras específicas varían entre los distintos países europeos, pero estudios señalan que, en promedio, alrededor del 10 al 20% de los pacientes bajo ventilación mecánica presentan signos clínicos de daño pulmonar asociado (8,9). Esta variabilidad sugiere la necesidad de una revisión exhaustiva para comprender las diferencias en las prácticas clínicas y las posibles implicaciones regionales.

A nivel internacional, las estadísticas muestran que el DPVM es una complicación relevante en la atención crítica, afectando a pacientes en diversos contextos clínicos y en todas las edades. Se estima que, a nivel global, la incidencia de DPVM oscila entre el 5% y el 25%, dependiendo de factores como la duración de la ventilación mecánica, la edad del paciente y la presencia de

comorbilidades (10). Estas cifras resaltan la magnitud del problema y la necesidad de una revisión bibliográfica para identificar patrones consistentes, factores de riesgo y estrategias de prevención efectivas.

La revisión permitirá analizar las tendencias temporales en la incidencia del DPVM, considerando avances tecnológicos en ventilación mecánica, cambios en las prácticas clínicas y la implementación de nuevas directrices. Además, al explorar estudios de diferentes regiones, se podrán identificar posibles disparidades geográficas en la incidencia del DPVM, lo que podría tener implicaciones importantes para la atención y la planificación de recursos a nivel internacional.

#### Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre el "Daño Pulmonar Inducido por la Ventilación Mecánica (DPVM)" con el propósito de compilar, analizar y sintetizar la evidencia científica disponible a nivel internacional, con énfasis en Europa, para obtener una comprensión profunda de los mecanismos fisiopatológicos, factores de riesgo, incidencia y estrategias de prevención asociadas al DPVM.

#### Objetivos específicos

- 1) Evaluar la incidencia del Daño Pulmonar Inducido por la Ventilación Mecánica (DPVM) a nivel internacional, con especial atención a las cifras de incidencia, variabilidad geográfica y tendencias temporales.
- 2) Examinar los factores de riesgo asociados al DPVM, incluyendo la duración de la ventilación mecánica, características del paciente, comorbilidades y estrategias de ventilación.
- 3) Sintetizar las estrategias de prevención y manejo del DPVM, considerando la evidencia disponible y posibles brechas en el conocimiento.
- 4) Comparar las prácticas clínicas en Europa y otras regiones, identificando posibles variaciones en las tasas de incidencia y enfoques terapéuticos.

Proponer recomendaciones para la práctica clínica, así como identificar áreas de investigación futura que puedan contribuir a la mejora continua en la atención de pacientes bajo ventilación mecánica.

### Material y métodos:

Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados, se empleará un enfoque de recopilación de estudios, artículos e investigaciones con el fin de llevar a cabo una revisión sistemática exhaustiva. Detallaremos el procedimiento seguido en la búsqueda a nivel global, abordando los desafíos que han surgido y justificando el proceso de selección subsiguiente. Este enfoque tiene como meta

central la obtención de información altamente confiable y, al mismo tiempo, facilitar la posibilidad de replicar la investigación de manera consistente.

1.1. Fuentes de información

En el contexto actual, se ha dado preferencia a la explotación de bases de datos accesibles a través de internet. Mediante esta elección, se ha logrado agilizar y focalizar de manera más expedita el proceso de búsqueda, sin descuidar la importancia de asegurar la representatividad característica de un estudio sistemático. De este modo, se han empleado en su totalidad un conjunto de cuatro bases de datos:

<u>Base de datos</u>	<u>Ecuación de búsqueda</u>	<u>Docu- men- tos to- tales</u>
<b>Pub-med</b>	Lesión Pulmonar Inducida por Ventilación Mecánica OR DPVM AND incidencia OR factores de riesgo AND prevención OR manejo de la enfermedad	570
<b>Medline plus</b>		0
<b>Scopus</b>		0
<b>Scielo</b>		20
<b>IBECS</b>		21

Tabla 1. Resultado de la primera búsqueda en español

1.1.1. Springer Link

SpringerLink es una plataforma en línea que proporciona acceso a una amplia gama de contenidos académicos y científicos publicados por la editorial Springer Nature. Ofrece acceso a revistas científicas, libros, actas de congresos y otros tipos de publicaciones en una variedad de campos, como ciencias naturales, ciencias sociales, tecnología, medicina, humanidades y más.

1.1.2. ScienceDirect

Contiene más del 25% de la producción científica mundial. Es una plataforma con las bases de datos más grandes y completas en las diferentes disciplinas. Como aspectos a destacar, este buscador ofrece la posibilidad de realizar una búsqueda y filtraje de estudios muy avanzada en comparación a otras bases de datos.

1.1.3. PubMed

Es una plataforma de búsqueda de la Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU. Esta tiene más de 30 millones de artículos en el ámbito de la medicina, pero también en otras ciencias afines como es la psicología. Esta

base de datos destaca también por su capacidad de realizar búsquedas muy concretas.

1.1.4. Medline Plus

Es una base de datos bibliográfica integral de artículos científicos en el campo de la medicina y ciencias de la salud relacionadas. Es mantenida por la Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos (NLM), que forma parte de los Institutos Nacionales de Salud (NIH). Medline es una de las bases de datos más grandes y ampliamente utilizadas para acceder a la literatura médica.

1.1.5. Scopus

Scopus es una base de datos bibliográfica y de resúmenes multidisciplinaria que cubre una amplia gama de disciplinas académicas, incluyendo ciencia, tecnología, medicina, ciencias sociales y artes y humanidades.

<u>Base de datos</u>	<u>Ecuación de búsqueda</u>	<u>Docu- mentos totales</u>
<b>Pub-med</b>	Ventilator-Induced Lung Injury OR VILI AND ("Mechanical Ventilation-Associated Lung Injury" OR MVALI) AND (Barotrauma OR "Injurious Ventilation") OR ("Harmful Ventilation")	1.295
<b>Medline plus</b>		0
<b>Scopus</b>		2560
<b>Scielo</b>		0
<b>IBECS</b>		0
<b>Pub-med</b>		Mechanical Ventilation OR MVALD AND Ventilator-Induced Lung Injury AND Epidemiology and Biostatistics OR risk factors AND Delivery of Health Care
<b>Medline plus</b>	0	
<b>Scopus</b>	17	
<b>Scielo</b>	20	
<b>IBECS</b>		

Tabla 2. Resultado de la primera búsqueda en inglés.

1.2. Criterios de búsqueda

Para ejemplificar la estrategia empleada en esta investigación, podemos hacer una analogía visual utilizando el concepto de un "embudo". Inicialmente, se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de información relacionada con

el daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica. El objetivo principal fue recopilar datos actuales provenientes de estudios considerados pertinentes. Esta selección se basó en la prominencia de las investigaciones, evaluada mediante indicadores como el número de lecturas acumuladas o la frecuencia con que fueron citadas por otros investigadores. Este enfoque permitió obtener una visión completa del problema en cuestión. Para este primer enfoque, se emplearon las ecuaciones de búsqueda que se detallan en la **Tabla 1 y la Tabla 2**.

Tras completar esta fase inicial, se pudo constatar la existencia de numerosas investigaciones sobre la temática en cuestión, siendo la mayoría de ellas redactadas en inglés. Se observó que, en PubMed, la búsqueda de investigaciones en español arrojó un escaso número de resultados relacionados.

Ecuación de Búsqueda	Base de datos	Proceso de cribado		
		Búsqueda inicial	Aplicación de criterios de inclusión	Aplicación de criterios de exclusión
Lesión Pulmonar Inducida por Ventilación Mecánica OR DPVM AND incidencia OR factores de riesgo AND prevención OR manejo clínico	Pub-med	570	126	15
	Scielo	20	3	3
	IBECS	21	7	5
Ventilator-Induced Lung Injury OR VILI AND ("Mechanical Ventilation-Associated Lung Injury" OR MVALI) AND (Barotrauma OR "Injurious Ventilation") OR ("Harmful Ventilation")	Pub-med	1.295	312	128
	Scopus	2.560	573	532
Mechanical Ventilation OR MVALD AND Ventilator-	Pub-med	112.586	12.831	2.036

Induced Lung Injury AND Epidemiology and Biostatistics OR risk factors AND Delivery of Health Care	Scopus	17	4	4
	Scielo	20	3	3
<b>TOTAL SELECCIONADOS PARA LECTURA</b>				<b>22</b>

**Tabla 3.** Resumen de bases de datos consultadas con las ecuaciones de búsqueda utilizadas

1.3. Criterios de inclusión

Se adoptaron como criterios de inclusión las ecuaciones de búsqueda delineadas en las Tablas 1 y 2. En términos de la selección de artículos para obtener la información necesaria con miras a este trabajo, se han establecido los siguientes parámetros:

- **Año de publicación:** se consideran estudios publicados entre los años 2019 y 2024.
- **Idioma:** se abarcan estudios en inglés y español.
- **Alcance geográfico:** no se aplican restricciones geográficas, eligiendo investigaciones de alcance global.
- **Tipo de estudio:** se incorporan investigaciones que abarquen artículos de investigación, metaanálisis y revisiones bibliográficas.
- **Acceso:** se incorporan solo aquellos documentos que se encuentren disponibles para su lectura completa.

1.4. Criterios de exclusión

- **Idioma:** no se consideran documentos en portugués u otros idiomas
- **Tipo de estudio:** Quedan excluidos libros y tesis.

La cantidad de documentos incluidos en la revisión se ajustará tanto a la extensión máxima permitida para esta investigación como a aquellos documentos que contengan el mayor número de palabras de la ecuación de búsqueda en sus títulos, palabras clave y resúmenes.

**Resultados:**

En esta sección de resultados, presentamos los hallazgos más relevantes derivados de una exhaustiva revisión bibliográfica que busca analizar las perspectivas actuales sobre el daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica. A través de la exploración y síntesis de estudios clínicos, ensayos controlados y trabajos de investigación recientes, se pretende arrojar luz sobre la incidencia del daño pulmonar causado por ventilación mecánica, los factores de riesgo asociados a la patología, las estrategias de prevención y manejo y las prácticas clínicas utilizadas alrededor del mundo. Esta revisión busca proporcionar una visión integral y actualizada del estado de la investigación

en este campo, contribuyendo así al conocimiento y orientación de profesionales de la salud y a la toma de decisiones informadas en el abordaje clínico del daño pulmonar inducido.

### 1.1. Incidencia de la lesión pulmonar inducida por ventilación mecánica

En el ámbito de la patología respiratoria, el daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica ha sido objeto de creciente interés y estudio. Esta lesión pulmonar se caracteriza por la inflamación y el colapso de los alvéolos pulmonares, pudiendo desencadenar complicaciones graves como el síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) (11). La incidencia de este tipo de daño se relaciona directamente con el valor del strain pulmonar, siendo mayor en presencia de lesión pulmonar inducida por el ventilador (VILI) (11).

Diversos mecanismos que favorecen la lesión pulmonar secundaria a la ventilación mecánica, conocida como VILI, han sido identificados (12). En un estudio realizado en un modelo porcino de lesión pulmonar aguda, se observó que el daño pulmonar inducido por el ventilador se propaga desde las regiones de lesión hacia afuera, afectando a los alvéolos vecinos y aumentando la probabilidad de lesión por reclutamiento/dereclutamiento (13). Reymundo et al., encontraron que el esfuerzo respiratorio excesivo durante la ventilación mecánica en la Unidad de Cuidados Intensivos puede agravar la lesión pulmonar preexistente (14), mientras que Silva et al., encontraron que la incidencia de daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica varía según factores como las presiones en las vías respiratorias, los volúmenes corrientes y las frecuencias respiratorias utilizadas. Estos factores pueden contribuir al desarrollo de lesiones pulmonares, tales como el barotrauma, el volutrauma, el atelectrauma y el biotrauma, que pueden llevar a la falla pulmonar y multiorgánica. Comprender estos mecanismos es esencial para implementar estrategias de protección pulmonar y prevenir el daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica (15).

En esta misma línea, autores como Peñuelas et al., destacaron la importancia de estrategias ventilatorias dirigidas a minimizar dicho daño. Cambios en estas estrategias, como la adopción de una ventilación protectora del pulmón, parecen haber contribuido a una disminución en la mortalidad de los pacientes ventilados en unidades de cuidados intensivos en España en las últimas dos décadas (16). Es importante destacar entonces, que los estudios en este campo abordan diversas áreas, desde los efectos de diferentes estrategias de ventilación hasta el manejo del SDRA en pacientes con COVID-19, el uso de bloqueadores neuromusculares y el impacto del delirio en el deterioro cognitivo a largo plazo en pacientes de UCI. Estos aportan valiosa información sobre las prácticas actuales y áreas potenciales de mejora en el manejo de cuidados críticos (17).

Otros autores, como Al-Khalisy abordaron específicamente la incidencia de lesión pulmonar inducida por ventilación mecánica en pacientes con SDRA, destacando la

relevancia de comprender los fenotipos de SDRA y su impacto en la lesión pulmonar. Los autores sugirieron que estos fenotipos pueden influir más en la enfermedad que en la lesión secundaria causada por el ventilador. Además, mencionaron que la inestabilidad alveolar puede desempeñar un papel crucial en la lesión pulmonar, y resaltaron la necesidad de estrategias personalizadas de protección pulmonar para evitar lesiones adicionales durante la ventilación (18).

### 1.2. Factores de riesgo

En el ámbito de la medicina respiratoria, diversos factores desempeñan un papel crucial en el desarrollo del daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica. La presión de conducción de la vía aérea ha sido identificada como un detonante relevante de la cascada inflamatoria que conduce al barotrauma y al mencionado daño pulmonar. La elastancia pulmonar y la elastancia total también influyen el grado de estrés pulmonar generado por un mismo nivel de presión de conducción (12).

En relación con los factores de riesgo asociados al daño pulmonar inducido, Alapont et al., observaron que la alta velocidad en la deformación inducida por el aire se relacionaba con peor complianza, marcadores inflamatorios en el lavado broncoalveolar, signos anatomopatológicos de edema pulmonar, una mayor prevalencia de DPIVM y una significativa mortalidad a las 54 horas de ventilación (19). Asimismo, los mismos autores en otro trabajo encontraron que la probabilidad de presentar VILI aumenta lógicamente con el valor del strain, sugiriendo que un mayor strain pulmonar está asociado con un mayor riesgo de desarrollar VILI (11). De acuerdo con Kollisch-Singule et al., la naturaleza de la lesión pulmonar ya sea pulmonar por lavado versus extrapulmonar con ácido oleico, también influye en las características de la mecánica pulmonar, mostrando la lesión extrapulmonar mayor estabilidad a altas PEEP (13).

Cardoso-Ramírez et al., presentaron una revisión exhaustiva que aborda eventos adversos relacionados con la posición prona en pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) bajo ventilación mecánica. La revisión encontró más de 40 eventos adversos, incluyendo desaturación severa, barotrauma, neumonía asociada a la ventilación, entre otros. Con base en lo anterior, los autores concluyeron que la posición prona en pacientes con SDRA, aunque beneficiosa en muchos aspectos, puede contribuir al daño pulmonar inducido en estos pacientes (20).

Santos Rocha et al., postularon que, en el caso particular de los niños, se consideran factores de riesgo para el daño pulmonar inducido, la ventilación inadecuada, la presión excesiva en los pulmones y la falta de adaptación a las necesidades del paciente. Mencionaron también, que la intensidad del impulso respiratorio y la falta de control del esfuerzo respiratorio son identificados como factores de riesgo para el síndrome de insuficiencia pulmonar autoinfligida (SILI) (21). Finalmente, Reymundo et al., mencionaron que la intensidad del impulso respiratorio y la falta de control del esfuerzo respiratorio pueden ser factores de riesgo para la SILI. Además, plantearon que la

comprensión de la fisiología de la respiración y la monitorización adecuada del impulso respiratorio son fundamentales para identificar y prevenir el daño pulmonar (14).

Otros autores como Sklienka et al., abordaron el tema de los factores de riesgo desde el punto de vista de las herramientas de monitoreo, tales como la escala de trabajo respiratorio, el índice ROX y la puntuación HACOR. Mencionaron que algunos métodos no invasivos como las oscilaciones de presión nasal y la presión de oclusión de la vía aérea también pueden contribuir a detectar un esfuerzo respiratorio potencialmente perjudicial (22).

### 1.3. Estrategias de prevención y tratamiento

La evolución en las estrategias de ventilación mecánica ha transitado desde la reducción de volumen tidal hasta la limitación de la presión meseta, incluyendo maniobras de reclutamiento y titulación de la presión positiva al final de la espiración (PEEP). Estas estrategias se han diseñado con el objetivo de mantener un pulmón protegido y prevenir la lesión pulmonar asociada con la ventilación mecánica (12). En la prevención del daño pulmonar inducido, se destaca la importancia de considerar la deformación (strain) inducida por el respirador mecánico y la velocidad a la cual este produce dicha deformación (strain rate). Según Alapont et al., monitorizar estas variables podría ser fundamental para programar el respirador de manera eficiente y disminuir el riesgo de daño pulmonar inducido por ventilación (VILI) (11,19).

González-Seguel et al., sugirieron estrategias para mitigar eventos adversos (como el daño pulmonar inducido) relacionados con la posición prona. Dentro de las estrategias destacaron la rotación facial alternativa, el reposicionamiento cada 2 horas y el uso de almohadas debajo del pecho y la pelvis. Los autores mencionaron que la formación adecuada del personal y la monitorización durante las maniobras de posición prona son cruciales para prevenir eventos adversos y, por ende, el daño pulmonar inducido. Los autores también discutieron el uso de estrategias de ventilación para pacientes obesos sometidos a ventilación mecánica, tales como la PEEP personalizada, las maniobras de reclutamiento y la evaluación mediante ecografía pulmonar. En su trabajo subrayaron la necesidad de un cuidado individualizado para mejorar los resultados y reducir las complicaciones en grupo de pacientes particular (23).

Fogagnolo et al., en su trabajo, destacaron relevancia de utilizar un volumen tidal bajo y niveles adecuados de PEEP para minimizar el daño pulmonar inducido por la ventilación y evitar complicaciones pulmonares postoperatorias. Los autores subrayaron que la presión de conducción guía la ventilación y se presenta como un predictor importante de la mortalidad en pacientes con SDRA (24).

En cuanto a estrategias de ventilación pediátrica, Santos Rocha et al., mencionaron algunas técnicas innovadoras como la ventilación variable, la ventilación de presión negativa y la ventilación cuirásica biphasic. Enfatizaron la necesidad de investigaciones adicionales para determinar la efectividad de estas estrategias en niños. Además, destacaron la importancia de implementar estrategias de

ventilación y dispositivos específicos para reducir el riesgo de lesiones pulmonares durante procedimientos anestésicos en niños, subrayando la optimización de la ventilación y el monitoreo constante como fundamentales en la práctica clínica pediátrica (21). En la misma línea, Veneroni et al., destacaron la importancia de adaptar las estrategias de reclutamiento pulmonar y la presión de distensión continua según las medidas de reactancia respiratoria (Xrs) en neonatos prematuros durante la ventilación de alta frecuencia oscilatoria (HFOV) (25).

En cuanto a estrategias o abordajes novedosos, Al-Khalisy et al., introdujeron el método TCAV (Ventilación Adaptativa Controlada por Tiempo) como una estrategia personalizada y adaptativa para proteger los pulmones en pacientes con SDRA, buscando reducir la lesión pulmonar inducida por el ventilador y mejorar los resultados en estos pacientes (18).

Huang et al., destacaron la importancia de comprender los mecanismos moleculares y genéticos involucrados en la lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica, y subrayaron que la regulación de genes específicos podría ser crucial en la prevención de la VILI, y enfatizaron en la necesidad de investigaciones continuas para identificar estrategias preventivas más específicas y personalizadas (26). En la misma línea, Shan et al., sugirieron que las células supresoras mieloides inducidas por inflamación (iMDSs) podrían ser una estrategia terapéutica prometedora para prevenir y tratar el daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica. En su trabajo, estas células demostraron reducir la inflamación y la lesión pulmonar en modelos animales, ofreciendo un potencial terapéutico seguro y efectivo para mitigar la lesión pulmonar inflamatoria en la ventilación mecánica (27).

### 1.4. Buenas prácticas clínicas asociadas al VILI

En el ámbito de las prácticas clínicas y la prevención del daño pulmonar inducido, se resalta la importancia de ajustar adecuadamente los parámetros de ventilación mecánica para evitar deformaciones excesivas y velocidades inadecuadas, lo que podría contribuir a reducir la incidencia de lesión pulmonar inducida por la ventilación (19). La implementación de una estrategia protectora basada en el concepto de energía transmitida al pulmón, calculada directamente en la cabecera del paciente, Fuentes Gómez et al., describieron que esta es una aproximación prometedora para prevenir el daño pulmonar inducido (12).

Alapont et al., enfatizaron la gravedad del daño pulmonar inducido por la ventilación (VILI) al evidenciar que la mortalidad en cerdos con VILI después de solo 60 horas de ventilación mecánica alcanzó el 86%. A partir de su estudio, subrayaron la necesidad de implementar medidas preventivas en la práctica clínica para reducir el riesgo de VILI y mejorar los resultados en pacientes bajo ventilación mecánica (11).

Kollisch et al., destacaron que considerar la micromecánica alveolar en la ventilación mecánica es un aspecto crucial para mejorar los resultados relacionados con la lesión pulmonar. Los autores subrayaron la necesidad de utilizar estrategias de ventilación personalizadas basadas en la fisiología respiratoria individual del paciente a nivel

alveolar, considerando que estas pueden desempeñar un papel fundamental en la prevención y manejo de la lesión pulmonar en pacientes graves (13).

Hraiech et al., resaltaron que los bloqueadores neuromusculares (NMBAs) pueden mejorar varios aspectos de la ventilación mecánica, desde la sincronización paciente-ventilador hasta la reducción del consumo de oxígeno y la mejora de la distribución regional del volumen corriente. Los autores sugirieron considerar este tipo de abordaje en la fase temprana del síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) grave para facilitar una ventilación protectora pulmonar o la posición en decúbito prono. Además, subrayaron que la integración de NMBAs en una estrategia global, que incluya un volumen corriente bajo, el uso adecuado de la PEEP y la posición en decúbito prono, es puede ser beneficiosa (28).

Por otra parte, Carreaux et al., enfatizaron la importancia de reconocer situaciones de riesgo para el esfuerzo inspiratorio perjudicial (P-SILI), como un esfuerzo inspiratorio excesivo y lesiones pulmonares graves. Los autores discutieron diferentes métodos de monitoreo, como la medición de la presión esofágica y la presión de oclusión de la vía aérea, para detectar esfuerzos inspiratorios inapropiados. Además, subrayaron que la detección de un alto esfuerzo inspiratorio durante la ventilación no invasiva puede ser crucial para prevenir el P-SILI (29).

Según la evidencia actual, existen varias estrategias para proporcionar protección pulmonar en el daño pulmonar inducido por ventilación mecánica. Estas incluyen mantener los pulmones parcialmente colapsados, evitar la apertura y cierre de alvéolos colapsados, y ventilar suavemente las regiones aireadas mientras se mantienen en reposo las áreas colapsadas y consolidadas. Estas estrategias buscan mitigar la lesión pulmonar y mejorar los enfoques de cuidados intensivos en pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) (15).

## Conclusiones:

- ✓ El daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica (DPIVM) es un fenómeno significativo en el ámbito de la medicina intensiva, con implicaciones graves para los pacientes sometidos a ventilación mecánica invasiva.
- ✓ La incidencia de la lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica varía según la población y las condiciones clínicas, pero es reconocida como una complicación importante en pacientes críticamente enfermos. La comprensión del DPIVM ha evolucionado con investigaciones continuas, destacando la necesidad de monitoreo constante y ajuste personalizado de los parámetros de ventilación.

- ✓ La presión inspiratoria elevada, el volumen tidal inadecuado y la duración prolongada de la ventilación mecánica son factores de riesgo conocidos para la DPIVM. La presencia de enfermedades pulmonares preexistentes, la edad avanzada y la gravedad de la enfermedad subyacente también contribuyen al riesgo de desarrollar daño pulmonar durante la ventilación mecánica.
- ✓ La implementación de estrategias protectoras de la ventilación, como la ventilación con bajo volumen tidal y la limitación de la presión inspiratoria, ha demostrado reducir la incidencia del DPIVM. La monitorización continua de la mecánica pulmonar y la adaptación de la estrategia de ventilación según la respuesta del paciente son esenciales para prevenir el daño pulmonar.
- ✓ La formación y actualización constante del personal médico y de enfermería en el manejo de la ventilación mecánica son cruciales para garantizar prácticas clínicas óptimas. El uso de protocolos estandarizados, y la incorporación de nuevas técnicas de tratamiento y prevención son aspectos fundamentales en la prevención del DPIVM.

## Bibliografía:

1. Gutiérrez Muñoz F. Ventilación Mecánica. Acta médica Peruana. 2011;28(2):87-104.
2. Net A. Ventilación mecánica. Springer Science & Business Media; 2000.
3. Castillo EG, Llano MC, Serrano DR, García EZ. Ventilación mecánica no invasiva e invasiva. Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado. 2014;11(63):3759-67.
4. Kózka M, Segá A, Wojnar-Gruszcza K, Tarnawska A, Gniadek A. Risk factors of pneumonia associated with mechanical ventilation. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(2):656.
5. Cruz VER, Palacios LPT, Adriano MPC, Lozada EMV, Quingatuña DEE, Reyes EPB, et al. Explorando la fisiopatología de la lesión pulmonar inducida por ventilación mecánica. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica. 2020;39(1):5-8.
6. Katira BH. Ventilator-induced lung injury: classic and novel concepts. Respir Care. 2019;64(6):629-37.
7. Brun-Buisson C, Minelli C, Bertolini G, Brazzi L, Pimentel J, Lewandowski K, et al. Epidemiology and outcome of acute lung injury in European intensive care units: results from the ALIVE study. Intensive Care Med. 2004;30:51-61.
8. Gajic O, Dara SI, Mendez JL, Adesanya AO, Festic E, Caples SM, et al. Ventilator-associated lung injury in patients without acute lung injury at the onset of mechanical ventilation. Crit Care Med. 2004;32(9):1817-24.

9. Anzueto A, Frutos--Vivar F, Esteban A, Alía I, Brochard L, Stewart T, et al. Incidence, risk factors and outcome of barotrauma in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med.* 2004;30:612–9.
10. España Chamorro JA, Rivera Palacios A. Lesión pulmonar inducida por la ventilación: una revisión. Universidad Tecnológica de Pereira. 2020;
11. Modesto i Alapont V, Aguar Carrascosa M, Medina Villanueva A. Stress, strain and mechanical power: Is material science the answer to prevent ventilator induced lung injury? *Med Intensiva.* 2019 Apr 1;43(3):165–75.
12. Fuentes Gómez AJ, Zepeda EM, Silvia J, Sánchez A, Granillo JF. El poder mecánico permite predecir mortalidad en pacientes en ventilación mecánica invasiva prolongada. Vol. 33, *Med Crit.* 2019.
13. Kollisch-Singule M, Satalin J, Blair SJ, Andrews PL, Gatto LA, Nieman GF, et al. Mechanical Ventilation Lessons Learned From Alveolar Micromechanics. Vol. 11, *Frontiers in Physiology.* Frontiers Media S.A.; 2020.
14. López Reymundo PS, Ugarte Martínez P, Ortiz Martínez K, Ramírez Urizar DA, Chávez Requena LI, Monares Zepeda E. Lesión pulmonar autoinfligida por el paciente. *Medicina Crítica.* 2023;37(1):47–51.
15. Silva PL, Scharffenberg M, Rocco PRM. Understanding the mechanisms of ventilator-induced lung injury using animal models. Vol. 11, *Intensive Care Medicine Experimental.* Springer Nature; 2023.
16. Peñuelas O, Frutos-Vivar F, Muriel A, Mancebo J, García-Jiménez A, de Pablo R, et al. Mechanical ventilation in Spain, 1998-2016: Epidemiology and outcomes. *Med Intensiva.* 2021 Jan 1;45(1):3–13.
17. Aslam TN, Klitgaard TL, Hofsø K, Bodil &, Rasmussen S, Laake JH. Spontaneous Versus Controlled Mechanical Ventilation in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40140-021-00443-8>
18. Al-Khalisy H, Nieman GF, Kollisch-Singule M, Andrews P, Camporota L, Shiber J, et al. Time-Controlled Adaptive Ventilation (TCAV): a personalized strategy for lung protection. Vol. 25, *Respiratory Research.* BioMed Central Ltd; 2024.
19. Modesto i Alapont V, Aguar Carrascosa M, Medina Villanueva A. Clinical implications of the rheological theory in the prevention of ventilator-induced lung injury. Is mechanical power the solution? *Med Intensiva.* 2019 Aug 1;43(6):373–81.
20. Cardoso-Ramírez MA, González-Prado Irma, Martínez-Medel AG, Islas-Mejía E, Deloya-Tomás E, Pérez-Nieto OR, et al. Impacto de la presión de distensión alveolar en los pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA): revisión narrativa. *Medicina Crítica.* 2020;34(4):231–7.
21. Dos Santos Rocha A, Habre W, Albu G. Novel ventilation techniques in children. Vol. 32, *Paediatric Anaesthesia.* John Wiley and Sons Inc; 2022. p. 286–94.
22. Sklienka P, Frelich M, Burša F. Patient Self-Inflicted Lung Injury—A Narrative Review of Pathophysiology, Early Recognition, and Management Options. Vol. 13, *Journal of Personalized Medicine.* MDPI; 2023.
23. González-Seguel F, Pinto-Concha JJ, Aranis N, Leppe J. Adverse Events of Prone Positioning in Mechanically Ventilated Adults With ARDS. *Respir Care [Internet].* 2020 Dec 4;66(12):1898–911. Available from: [43](https://inplasy.com/inplasy-2020-12-0020/Fogagnolo A, Montanaro F, Al-husinat L, Turrini C, Rauseo M, Mirabella L, et al. Management of intraoperative mechanical ventilation to prevent postoperative complications after general anesthesia: A narrative review. Vol. 10, Journal of Clinical Medicine. MDPI; 2021. Veneroni C, Dellacà RL, Küng E, Bonomi B, Berger A, Werther T. Oscillometry for personalizing continuous distending pressure maneuvers: an observational study in extremely preterm infants. Respir Res. 2024 Dec 1;25(1). Huang E, Han H, Qin K, Du X. Delineation and authentication of ferroptosis genes in ventilator-induced lung injury. BMC Med Genomics. 2024 Dec 1;17(1). Shan F, Tang F, Liu Y, Han X, Wu W, Tang Y, et al. The effect of adoptive transferring myeloid-derived suppressor cells in ventilator-induced lung injury mice. Heliyon. 2024 Feb 15;10(3). Hraiech S, Yoshida T, Annane D, Duggal A, Fanelli V, Gacouin A, et al. Myorelaxants in ARDS patients. Vol. 46, Intensive Care Medicine. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2020. p. 2357–72. Carteaux G, Parfait M, Combet M, Haudebourg AF, Tuffet S, Dessap AM. Patient-self inflicted lung injury: A practical review. Vol. 10, Journal of Clinical Medicine. MDPI; 2021. Zhang S, Li S, Liu Q, Wei D, Huang L, Yin H, et al. Electroacupuncture alleviates ventilator-induced lung injury in mice by inhibiting the TLR4/NF-κB signaling pathway. BMC Anesthesiol. 2024 Dec 1;24(1).</a></li>
<li>24. Fogagnolo A, Montanaro F, Al-husinat L, Turrini C, Rauseo M, Mirabella L, et al. Management of intraoperative mechanical ventilation to prevent postoperative complications after general anesthesia: A narrative review. Vol. 10, <i>Journal of Clinical Medicine.</i> MDPI; 2021.</li>
<li>25. Veneroni C, Dellacà RL, Küng E, Bonomi B, Berger A, Werther T. Oscillometry for personalizing continuous distending pressure maneuvers: an observational study in extremely preterm infants. <i>Respir Res.</i> 2024 Dec 1;25(1).</li>
<li>26. Huang E, Han H, Qin K, Du X. Delineation and authentication of ferroptosis genes in ventilator-induced lung injury. <i>BMC Med Genomics.</i> 2024 Dec 1;17(1).</li>
<li>27. Shan F, Tang F, Liu Y, Han X, Wu W, Tang Y, et al. The effect of adoptive transferring myeloid-derived suppressor cells in ventilator-induced lung injury mice. <i>Heliyon.</i> 2024 Feb 15;10(3).</li>
<li>28. Hraiech S, Yoshida T, Annane D, Duggal A, Fanelli V, Gacouin A, et al. Myorelaxants in ARDS patients. Vol. 46, <i>Intensive Care Medicine.</i> Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2020. p. 2357–72.</li>
<li>29. Carteaux G, Parfait M, Combet M, Haudebourg AF, Tuffet S, Dessap AM. Patient-self inflicted lung injury: A practical review. Vol. 10, <i>Journal of Clinical Medicine.</i> MDPI; 2021.</li>
<li>30. Zhang S, Li S, Liu Q, Wei D, Huang L, Yin H, et al. Electroacupuncture alleviates ventilator-induced lung injury in mice by inhibiting the TLR4/NF-κB signaling pathway. <i>BMC Anesthesiol.</i> 2024 Dec 1;24(1).</li>
</ol>
</div>
<div data-bbox=)