

2. Complicaciones asociadas a la ventilación mecánica invasiva

Rosa Cruz Morales

Enfermera en las unidades de reanimación y cuidados intensivos en el hospital general universitario de Ciudad Real.

RESUMEN

La ventilación mecánica es una técnica de sustitución de las funciones realizada por los pulmones. Existe una relación directa entre el número de días usando ventilación mecánica con la aparición de complicaciones siendo estas más frecuentes al sexto día. Entre ellas encontramos la neumonía, que es una infección del parénquima pulmonar. Los pacientes con ventilación mecánica tienen más posibilidades de desarrollarla porque se produce un acumulo de las secreciones en la cavidad orofaríngea y una disminución en la motilidad mucociliar. El volutrauma es la sobredistensión pulmonar causada por el empleo de volúmenes altos que superan el límite de la estructura pulmonar. Otra complicación es el atelectrauma, una deformación causada por el cizallamiento de las unidades alveolar es durante la apertura y cierre de cada ciclo alveolar y en último lugar el barotrauma que es la presencia de aire extralveolar como producto de las altas presiones transpulmonares. El empleo de la ventilación mecánica protectora que consiste en emplear volúmenes bajos, PEEP baja y el reclutamiento disminuiría la aparición de complicaciones asociadas a la ventilación mecánica.

Palabras clave: Ventilación mecánica, neumonía, volutrauma, barotrauma y atelectrauma.

ABSTRACT

Mechanical ventilation is a technique of replacement of the functions performed by the lungs. There is a direct relationship between the number of days using mechanical ventilation and the appearance of complications, these being more frequent on the sixth day. Among them we find pneumonia, which is an infection of the lung parenchyma. Patients with mechanical ventilation are more likely to develop it because there is an accumulation of secretions in the oropharyngeal cavity and a decrease in mucociliary motility. Volutrauma is lung overdistention caused by the use of high volumes that exceed the limit of the lung structure. Another complication is atelectrauma, a deformation caused by shearing of the alveolar units during the opening and closing of each alveolar cycle, and finally barotrauma, which is the presence of extraalveolar air as a pro-

duct of high transpulmonary pressures. The use of protective mechanical ventilation consisting of using low volumes, low PEEP and recruitment would reduce the appearance of complications associated with mechanical ventilation.

Keywords: Mechanical ventilation, pneumonia, volutrauma, barotrauma and atelectrauma.

1. INTRODUCCIÓN

La función principal del sistema respiratorio es adaptar la ventilación a las necesidades del organismo, para obtener una cantidad adecuada de oxígeno y de dióxido de carbono y así mantener valores normales de hidrógeno en la sangre.

El aparato respiratorio realiza el intercambio gases entre la atmósfera y la sangre. La conexión con el aparato circulatorio es muy importante, ya que este se encarga de transportar los nutrientes y el oxígeno hasta las células para que se pueda realizar el metabolismo y obtener energía.

El sistema respiratorio está constituido por las vías respiratorias y por los pulmones. Las vías respiratorias son conductos por los que pasa el aire, lo componen las fosas nasales, la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios y los bronquiolos. En los pulmones son donde se produce el intercambio gaseoso entre el aire y la sangre.

El proceso respiratorio consta de 5 fases: la ventilación, que es la entrada y salida de aire; el intercambio gaseoso entre la sangre y el aire en los alveolos pulmonares; el transporte de gases por medio de la sangre, el intercambio gaseoso y la respiración celular.

En sistema nervioso centrales es donde se origina y se controla el ritmo respiratorio. El ritmo automático se inicia en el tronco del encéfalo, allí se encuentran los centros respiratorios, controlados a su vez de forma voluntaria por la corteza cerebral para realizar funciones como la fonación.

Encontramos diferentes puntos sensoriales situados dentro y fuera del sistema nervioso central. Estos detectan las modificaciones en los parámetros de la PaO₂, la PaCO₂, la concentración del hidrogeno o la distensión pulmonar y transmiten esa información a los controladores.

Los elementos encargados de efectuar la respiración son los músculos inspiratorios de la caja torácica, el diafragma, los músculos intercostales y los músculos que se encuentran en la vía aérea superior. La función de estos es comprimir y expandir de manera intermitente la caja torácica.

Los centros respiratorios se encuentran en el cerebro y tras procesar la información recibida por los receptores envían las ordenes hasta los músculos que se encuentran en la caja torácica y la vía aérea superior. Los centros principales son el neumotoracico, el suprabulbar y el centro apnéustico y bulbares. Los bulbares se encargan del ritmo respiratorio y los supravulbares modulan el ritmo respiratorio. (1)

La ventilación mecánica (VM) es un proceso de respiración artificial que sustituye de manera total o parcial la función respiratoria del paciente y para el que se necesita un ventilador mecánico. (2) (3)

A lo largo de tiempo se ha producido un gran desarrollo de los mecanismos encargados de la ventilación mecánica. Fue en el año 175d.C cuando Galeno realizó el primer estudio sobre la importancia de la respiración artificial para evitar el colapso pulmonar en las toracotomías realizadas en los animales.

En 1754 se descubrieron el dióxido de carbono y el oxígeno, esto ayudó a sentar las bases de la ventilación mecánica. En 1911 Drager creó un dispositivo de presión positiva conocido como 'pulmotor' que realizaba una mezcla de gases y la entregaba al paciente a través de una mascarilla nasobucal. (4)

En 1929 se inventó el Iron Lung también conocido como 'pulmón de acero' por P. Dinker un ingeniero estadounidense que diseñó un tanque donde se introducía el paciente y quedaba únicamente la cabeza fuera.

El sistema bombeaba un flujo de aire que reducía e incrementaba la presión en el interior de la cámara y a su vez sobre el pecho del paciente. Cuando la presión disminuía en el pulmón de acero, los pulmones del paciente se expandían y permitía mantenerlos llenos de aire; cuando la presión del interior del tanque aumentaba, se expulsaba el aire de la persona y se comprimía el pecho.

Se empleaba en aquellos pacientes que tienen lesiones sobre la pared muscular, pero tuvo su mayor uso en el siglo XX cuando se empleó en las personas con poliomielitis.(4)



Figura 1. Respirador portátil Drager 1908(4).

En la década de 1960 comenzaron a entrar en desuso los pulmones de acero y fue entonces cuando aparecieron los respiradores con presión positiva y ciclados mediante presión o volumen. En los setenta se generalizaron en la UCI el modo ventilatorio IPPV, y posteriormente apareció el modelo ventilación mecánica intermitente y la ventilación mecánica sincronizada intermitente.



Figura 2. Respirador Iron Lung 'pulmón de acero' (4).

El modo ventilatorio se refiere a la manera en la que el ventilador interacciona con el paciente. Los factores que determinan el modo ventilatorio son: 1. El tipo de ventilación (controlada o espontánea), 2. La variable primaria de control (volumen o presión), variables de fase (trigger, límite, ciclado y basal) y 3. la secuencia respiratoria (la sustitución total o parcial de la ventilación). (1)

Encontramos diferentes modalidades de ventilación mecánica, con el fin de adaptarse a las necesidades de cada paciente:

1. Ventilación controlada (CMV) o asistencia controlada (A/C)

La ventilación controlada también es conocida como presión positiva intermitente (IPPV). Es la modalidad más básica, se emplea en aquellos pacientes que tienen altas demandas respiratorias y necesitan la sustitución total de la ventilación.

Este modo libera una serie de ventilaciones mecánicas a presión positiva en unos intervalos de tiempo programados e insuflando un volumen de aire determinado.

1.1. Ventilación controlada por volumen (VCV)

En este modo el clínico establece el volumen a administrar al paciente con cada respiración. Se establece un volumen fijo independientemente de la distensión, elasticidad o resistencia que ejerza el paciente.

1.2. Ventilación controlada por presión (VCP)

En este modo, el clínico establece una inspiración máxima para cada respiración mecánica.

2. Ventilación mandataria intermitente sincronizada (SIMV)

Es un modo de sustitución parcial de la respiración, en ella se emplea la ventilación controlada con la espontánea. Este modo usa ciclos ventilatorios asistidos, bien controlados por volumen o por presión a una frecuencia deter-

minada y permite combinarlos con los ciclos espontáneos mandatorios.

En el modo SIMV la ventilación mandataria se sincroniza con la inspiración del paciente determinada por la frecuencia respiratoria. Si no es así, el ventilador proporciona una ventilación controlada.

3. Ventilación espontánea

El paciente puede realizar la ventilación sin recibir ningún tipo de presión positiva en la vía aérea. Este modo se emplea para evaluar si el paciente está preparado para la retirada de la ventilación mecánica.

3.1. Presión positiva continua en la vía aérea

La CPAP es la aplicación de una presión continua en la vía aérea. Este modo evita el colapso alveolar al final de la espiración y aumenta el intercambio gaseoso, lo que implica una mejora de la oxigenación.

3.2. Ventilación con presión soporte

Este modo es muy parecido a la ventilación asistida, la diferencia se encuentra en que en este modo el ventilador detecta el esfuerzo y lo continua hasta alcanzar el nivel final de la inspiración. (1)

La ventilación mecánica está recomendada:

- Revertir la hipoxemia: aumentando la presión arterial de oxígeno, mediante la ventilación alveolar o el volumen pulmonar, disminuir el consumo de oxígeno con el fin de evitar la hipoxemia.
- Acidosis metabólica: obtener valores normales de PaCO₂ arterial normal.
- Mejorar el diestres respiratorio.
- Prevenir o tratar la atelectasia.
- Tratar a fatiga muscular ventilatoria: poniendo en reposo los músculos respiratorios.
- Disminuir el consumo de oxígeno sistemático miocárdico:
- Disminuir la presión intracraneal: empleando la hiperventilación controlada
- Estabilizar la pared torácica: en los casos de trauma torácico impida la función de la pared pulmonar.
- Alteraciones en el estado mental que impiden llevar un ritmo respiratorio inadecuado o la expulsión de secreciones de manera incorrecta. (1) (5)

Por otro lado, encontramos la ventilación mecánica no invasiva, es aquella que no precisa de intubación endotraqueal o de traqueotomía, esto disminuye el riesgo de desarrollar neumonía. Es una modalidad de ventilación que permite aumentar la ventilación alveolar manteniendo intactas las vías respiratorias.

Está indicado en el EPOC reagudizado, crisis asmáticas graves, neumonía, edema agudo de pulmón, síndrome de Guillain Barre, hidrocefalia o distrofias musculares. (1)

Entre las ventajas de usar la ventilación mecánica no invasiva encontramos que es mejor tolerada, esto hace que las demandas de sedación sean menores, permite la expectoración y por lo tanto mejora la eliminación de secreciones y facilita el destete precoz del ventilador.

Aproximadamente el 40% de los pacientes ingresados en las unidades de cuidados intensivos necesitaron ventilación mecánica. Esta puede ser invasiva o no invasiva y se usa principalmente para el tratamiento de la insuficiencia respiratoria aguda (IRA). (5)

El empleo de la ventilación mecánica trata de aumentar el volumen en las zonas de ventilación al espacio muerto y a hipoventilar en las partes con mayor perfusión sanguínea. Esto es de gran importancia en pacientes con patología pulmonar.

El sistema cardiovascular también sufre cambios, se produce la caída del gasto cardiaco, pues disminuye el retorno venoso ya que la ventilación con presión positiva. Esto puede ser subsanada con un aumento de la volemia o con drogas vasoactivas. (5)

Para el uso adecuado de la ventilación mecánica, debemos recurrir a la monitorización general del paciente, que engloba la valoración del estado neurológico, respiratorio, cardiovascular, renal y gastrointestinal. Podemos calificarla en:

1. Monitorización básica:

- b. Electrocardiograma: mediante el cual podemos conocer la frecuencia cardiaca y poder detectar los cambios.
- c. Monitorización hemodinámica: nos permite vigilar las presiones intravasculares del paciente crítico. La presión arterial podemos medirla de manera no invasiva mediante un manguito o de forma invasiva con la colocación de un catéter preferiblemente en la arteria radial.

También encontramos la presión venosa central, que nos permite medir la presión de la vena cava o en la aurícula derecha.

2. Monitorización ventilatoria:

- c. Fonendoscopia
- d. Oximetría: monitorización no invasiva de la saturación de oxígeno de la hemoglobina en sangre arterial.
- e. Capnometría: medición del CO₂ espirado.

3. Monitorización de la temperatura: con el fin de mantener la temperatura en torno a 35-37 °C.

4. Monitorización del SNC:

- a. Electroencefalograma: que registrar la actividad eléctrica cerebral.



Figura 3. Pantalla de monitorización respiratoria (4).

- b. Monitorización de la presión intracraneal.
- c. Presión del líquido ceforraquídeo.
- 5. Monitorización del balance anestésico:
- 6. Monitorización del sistema renal:
 - a. Sedimento urinario
 - b. Proteinuria
 - c. Medición de la diuresis urinaria
 - d. Osmolaridad urinaria. (4)

La literatura relaciona directamente el aumento de días de usando ventilación mecánica con la aparición de complicaciones, siendo éstas más prevalentes a partir del sexto día. Así mismo, se asocian como factores de riesgo para la morbilidad y mortalidad las alteraciones anatomofuncionales presentes en los pacientes de edad avanzada. Como resumen se puede decir que las complicaciones de la ventilación mecánica invasiva son de múltiple etiología, con varios factores que condicionan la aparición de éstas.(4)

Entre la mayoría de las complicaciones de la ventilación fueron el fallo multiorgánico en un 25,3%, fallo en el destete 21,6% y distrés respiratorio en un 20,4%. (6)

Encontramos diferentes factores de riesgo que son comunes a todas las complicaciones:

1. El sexo masculino tiene mayor riesgo. Un estudio demostró que el 57% de los pacientes que desarrollaban las complicaciones eran hombres y en especial aquellos que se encontraban entre 50-69 años.
2. Los antecedentes personales con mayor incidencia eran las enfermedades cardiovasculares en un 36,96%. Estos pacientes reciben un mayor soporte ventilatorio. Además, las comorbilidades más comunes eran la HTA, arteriosclerosis, obesidad y la diabetes.
3. Los pacientes con habito tabáquico tienen un riesgo de 4,73 veces mayor de desarrollar NAAVM que aquellos que nunca habían fumado o habían dejado de hacerlo.
4. La intubación de la vía aérea supone uno de los principales factores de riesgo, pues el pulmón es un órgano estéril, por lo que la intubación rompe con dicha esterilidad.
5. La sedación junto con la intubación hace que los reflejos tusígenos y de expectoración disminuyan, dificultando así la capacidad para eliminar secreciones.
6. La formación de edema es común al Volutrauma, barotrauma y atelectrauma por lo que un balance hídrico positivo se ve aumentado si el aporte de líquidos es positivo. (7) (8)

Un estudio realizado en 2020 por Gómez sobre 82 pacientes ingresados en las unidades de cuidados intensivos y que precisaban de ventilación mecánica. Se observó que solo el 24% eran mujeres y el 75% eran hombres. La edad media era de 55,12 años.

Entre los antecedentes personales que se relacionaban con un aumento en las posibilidades de necesitar ventilación mecánica se encontraban: los factores de riesgo cardiovascular, hábitos tóxicos, enfermedades neurológicas, enfermedades respiratorias (asma, neumonía, EPOC o apnea del sueño), infecciosas o politraumatismos. Sin

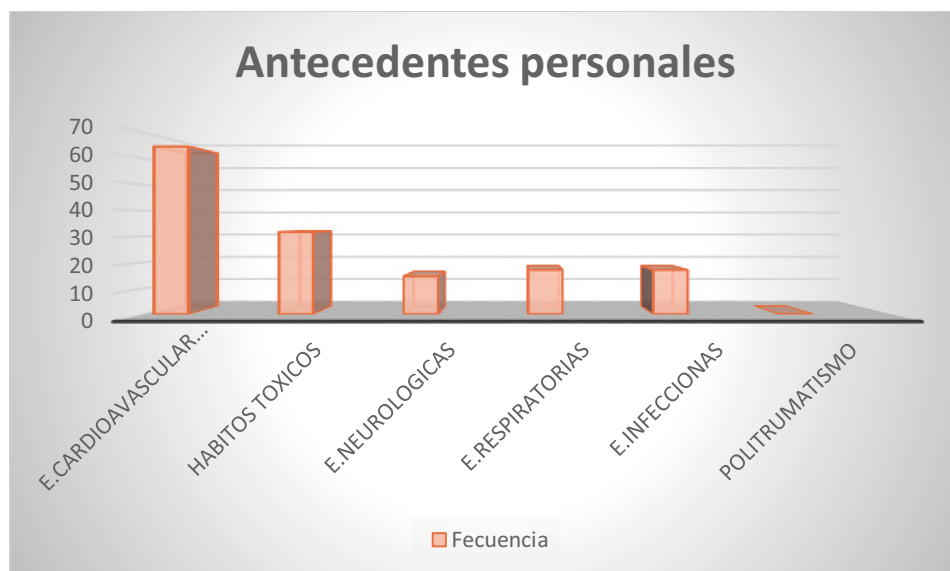


Figura 4. Antecedentes personales (8).

duda las enfermedades cardiovasculares fueron las más frecuentes, pues se encontraban hasta en un 64,63% de los pacientes, seguido de los hábitos tóxicos en un 31,71%. (8)

La ventilación mecánica es una herramienta básica en el tratamiento de los pacientes que se encuentran en las unidades de cuidados intensivos. Las complicaciones más frecuentes y graves son aquellas que surgen durante el proceso de ventilación.

En 1970 se introdujo el término de lesión pulmonar inducida por ventilador para definir los efectos adversos. Las sesiones pulmonares se deben principalmente al desequilibrio de la presión transpulmonar, donde encontramos el barotrauma, volutrauma y el atelectrauma. El empleo de la ventilación mecánica también favorece el desarrollo de neumonía. (5)

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivos

- *Objetivo general:*
 - Conocer las complicaciones asociadas a la ventilación mecánica.
- *Objetivo específico:*
 1. Neumonía asociada a la ventilación mecánica
 2. Volutrauma asociado a la ventilación mecánica
 3. Barotrauma asociado a la ventilación mecánica
 4. Atelectrauma asociado a la ventilación mecánica
 5. Prevención de las complicaciones asociadas a la ventilación mecánica.

3. MATERIAL Y MÉTODO

La revisión sistemática sobre las complicaciones asociadas a el empleo de ventilación mecánica se llevó a cabo en los meses de octubre a enero.

Se retazo a través de las bases de datos Medline (Pubmed), CINHALL, DeCS, TESEO y DIALNET.

Además, se consultaron algunas páginas de interés relacionadas con el tema desarrollado como la web del Ministerio de Salud del Gobierno de España.

Como descriptores se emplearon términos tanto en español como en inglés de las palabras. Para tener una búsqueda más amplia, se utilizaron truncamientos*. De esta forma cuando se busca 'ventila* mecánica*' no se incorporaban aquellos artículos que contenían 'ventilación mecánica*' sino también aquellos como 'ventilación mecánica' entre otros.

También se utilizó el método rueda, que consiste en obtener artículos a partir de otros y que contenían evidencia científica más directa y demostrada.

Las palabras que se empleadas fueron:

Tabla 1. Palabras clave.

Castellano	Inglés
Ventila * mecánica*	Complicación*
Neumonía	Patient
Barotrauma	Respiratory insuficiency
Volutrauma	Barotrauma
Atelectrauma	Volutrauma
Complicación	Safety*
Enfermería	Pneumonia
Cuidados de enfermería	Intense care unit
Protección ventilatoria	Lung injury
Factor de riesgo	Ventilator circuit
Prevención	Pulmonary barotrauma
Enfer *	Risk factor*
	Predective factor
	Ventilator associated complication*
	Nurs*
	Prevent

Dichas palabras se seleccionaron de la base de datos PubMed (tesauro de MeSH) y terminología natural para determinar la relación entre los términos de búsqueda se emplearon los booleanos AND y OR.

Las combinaciones de búsqueda fueron:

- Ventilator associated complication and pneumoniae
- Ventilator associated complication and volutrauma
- Ventilator associated complication and barotrauma
- Ventilator associated complication and atelectasia
- Lung protective ventilation and protection
- Volutruma or barotrauma or atelectasia
- Nurse and prevent

La restricción temporal fue inferior a 5 años.

En cuanto a la estrategia de búsqueda:

a. Criterios de inclusión:

- Castellano, ingles
- Estudios realizados en adultos
- Realizados en unidades de cuidados intensivos o reanimación.
- Estudio de casos o revisiones
- Hacen alusión al empleo de ventilación mecánica

Tabla 2. Búsqueda de artículos en la base de datos.

Bases de datos	Estrategias de búsqueda	Limitadores	Artículos encontrados	Artículos seleccionados
Pubmed	Barotrauma and volutrauma and atelectasia Ventilatori complication Ventilatori prevents	Publicaciones en los últimos 5 años Ingles o español Textos completos	560	15
Scileo	Barotrauma and volutrauma and atelectasia Ventilatori comlication Ventilatori prevent*	Publicaciones en los últimos 5 años Ingles o español Textos completos	654	9
Cuiden	Nurse Barotrauma	Publicaciones en los últimos 5 años Ingles o español Textos completos	15	2

b. Criterios de exclusión:

- Textos no completos
- Los que no se relacionaban con los estudios
- Que estaban en alemán o italiano. Pero si se incluyeron los que estaban en inglés.

Los estudios de la tabla de la página siguiente están realizados por diferentes países entre 2018 y 2021. Tratan sobre las complicaciones asociadas a la ventilación mecánica como la neumonía, el barotrauma, volutrauma o el atelectrauma y el método de protección pulmonar.

4. RESULTADOS

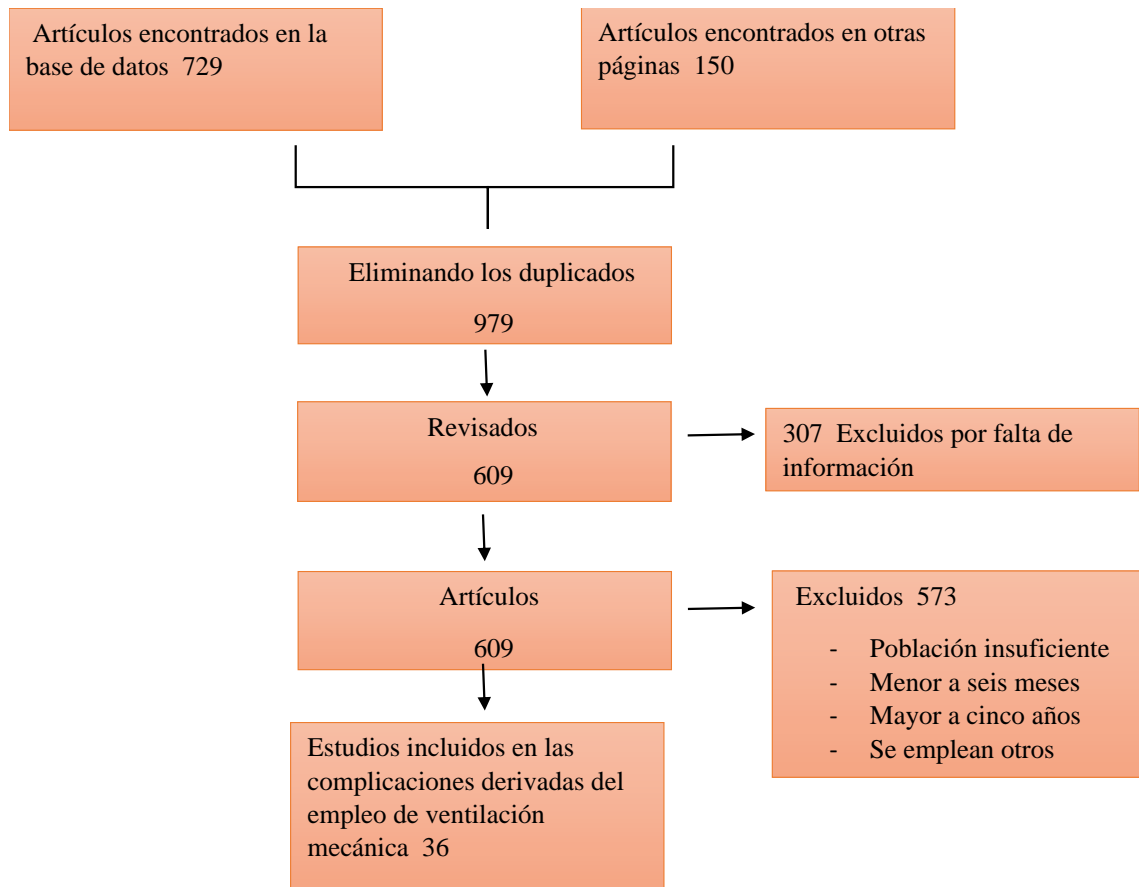


Tabla 3. Artículos utilizados para la obtención de datos.

Autor	Año	País	Características
R. Perris e Itziar de la Cruz	2018	España	Efectos de la ventilación mecánica intraoperatoria y la ventilación de protección
A.Hernandez, R. Ruiz y G. Alcalde	2018	La Habana	Mortalidad de los pacientes sometido a la ventilación mecánica
J. Gomez, C. de la hoz y N. Utrilla	2020	España	Análisis de las complicaciones que presentan los pacientes sometidos a ventilación mecánica
A. Vasquez y S. Reinoso	2019	Ecuador	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
R. Rodriguez y R. Perez	2018	Cuba	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
S. Nuñez y J. Perez	2018	Méjico	Cuidados en la prevención de la neumonía asociada a la ventilación mecánica
E. Díaz y L. Lorente	2019	España	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
H. Rego y A. Delgado	2020	Cuba	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
Felicity Miller	2018	UK	Neumonía asociada al ventilador
E. Díaz y L. lorente	2018	España	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
W. Cornistein y A. Colque	2018	Argentina	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
M. Quinde y M. constante	2019	Ecuador	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
J. Pagan y L. Copa	2020	Cuba	Ventilación mecánica protectora
L. Gattinoni y M. Quintel	2018	Alemania	Volutrauma o atelectrauma
J. Bates y D. Gaverz	2020	-	Atelectrauma vs. volutrauma
F. Cipilli, F. Vasques y Eleonora Duscio	2018	Francia	Atelectrauma vs. volutrauma
F. Vasques, E. Duscio y F. Cipulli	2018	Alemania	Determinantes y prevención de la lesión pulmonar inducida por el ventilador
M. Bolivar y JC. Martinez	2021	Méjico	Barotrauma y volutrauma
F. Aranciba y R. Soto	2018	Chile	Daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica
F. Gordo, C. Delgado y E. Calvo	2019	España	Lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica
T. Tonelli, L. Gattinoni y M. Quintel	2018	Alemania	Prevención de las lesiones pulmonares inducidas por el ventilador
S. García y R. Molina	2021	España	Empleo de ventilación mecánica protectora
O. Perez, E. Deloya y JM. Lomelli	2018	Méjico	Protección alveolar
L. Ferrer y D. Romero		España	Ventilación protectora
C. Bonilla y A. Karina	2018	Ecuador	Neumonía en la ventilación mecánica
M.C. Pintado y R. de Pablo	2018	Madrid	Presión positiva fila inspiratoria
M.D. Pierre-Regins	2021	Francia	Prevención del atelectrauma
F. Collino, F. Rrapetti y F. Vasques	2019	UK	Atelectrauma
G. McGuinness y C. Zhan	2020	EEUU	Incremento del barotrauma durante el Covid-19
L. Chen y H. Xia	2018	China	Barotrauma y ventilación mecánica
P. Medina y R. Delgado	2019	España	Ventilación mecánica protectora
I. Bravo y S. Sanchez	2018	España	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
Dahelire García Acosta	2019	España	Protocolo neumonía zero

4.1. Neumonía asociada a la ventilación mecánica

La neumonía es una infección del parénquima pulmonar que inflama los sacos aéreos de uno o ambos pulmones. Los sacos pueden llegar a llenarse de líquido o de pus. (9) (10)

Los problemas respiratorios son una importante causa de morbilidad y de mortalidad intrahospitalario. Una de las medidas utilizadas para paliar esta enfermedad es la ventilación mecánica invasiva (VMI).

En muchas ocasiones, la VM no cura las causas de la insuficiencia respiratoria, pero si mantiene el funcionamiento de los pulmones, y nos da el tiempo necesario para la curar las afecciones de la función pulmonar. (11)

La neumonía nosocomial o la neumonía contraída en el hospital es aquella que se produce después de 48h tras la hospitalización y no se incluyen todas aquellas que se estuvieran incubando en el momento de ingreso. (7)

La neumonía relacionada con el empleo de la ventilación mecánica se incluye en las infecciones llamadas nosocomiales u 'hospitalarias', pues se desarrollan cuando el paciente se encuentra en un hospital o centro hospitalario. (12) La neumonía suele desarrollarse a partir de las 48-72h después de la intubación endotraqueal. (7)

Para establecer un diagnóstico, deben de darse al menos dos de los siguientes criterios:

- Fiebres de más de 38 °C
- Secreciones de aspecto purulento
- Leucocitosis o leucopenia
- Disminución de la oxigenación (13)

Las pruebas que se realizan para el diagnóstico de la enfermedad son:

- *Hemocultivos*: pero tienen una baja sensibilidad ya que la bacteria puede desarrollarse en los pulmones o de manera extrapulmonar.

- *Análisis y cultivo del líquido pleura*. Una de las pruebas más específica, pero debe realizarse con asepsia, debido a su riesgo de infección.

- *Toma de muestras de las secreciones del tracto respiratorio*. Esto puede realizarse de forma invasiva o no invasiva, a través de la aspiración endotraqueal o con un catéter telescópico. (13)(9)

Encontramos diferentes factores de riesgo que se consideran propios de la neumonía asociada a la ventilación mecánica.

- Sexo masculino
- Enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC)
- Edad mayor a los 70 años.
- Nivel de consciencia disminuido
- Administración de antibióticos
- Nutrición enteral
- Traqueostomía
- Drenaje de secreciones supraglóticas
- Reintubación de emergencia
- Posición prono
- Terapia de reemplazo renal
- Empleo de relajantes musculares.

Esta enfermedad provoca un aumento en los días de estancia en la UCI. Entre 7 y 9 días y los costes se calculan entre 3.000-40.000 euros adicionales. (14)

La neumonía asociada a la ventilación mecánica suele desarrollarse en torno al primer quinto día en un 3%, del sexto a séptimo día entorno al 2% y en un 1% del decimo-primo al decimoquinto día. Se desarrolla la neumonía

Tabla 4. Artículos relacionados con la neumonía causada por la ventilación mecánica.

Autor	Año	País	Características
A. Vasquez y S. Reinoso	2019	Ecuador	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
R. Rodriguez y R. Perez	2018	Cuba	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
S. Nuñez y J. Perez	2018	Méjico	Cuidados en la prevención de la neumonía asociada a la ventilación mecánica
E. Diaz y L. Lorente	2019	España	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
H. Rego y A. Delgado	2020	Cuba	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
Felicity Miller	2018	UK	Neumonía asociada al ventilador
E. Diaz y L. Lorente	2018	España	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
W. Cornistein y A. Colque	2018	Argentina	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
M. Quinde y M. constante	2019	Ecuador	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
C. Bonilla y A. Karina	2018	Ecuador	Neumonía en la ventilación mecánica
I. Bravo y S. Sanchez	2018	España	Neumonía asociada a la ventilación mecánica invasiva

nosocomial alrededor tres casos por cada 1000 días de hospitalización en las unidades de cuidados intensivos.

La posibilidad de padecer esta enfermedad aumenta casi siete veces si los pacientes tienen intubación endotraqueal. (7) Resulta un problema epidemiológico, pues en cuidados intensivos, su frecuencia se encuentra entre el 20-50%. (11)

Los pacientes sometidos a ventilación mecánica tienen un mayor riesgo de desarrollar neumonía asociada a la ventilación mecánica debido al acumulo de secreciones, que se producen desde la cavidad orofaríngea y a la disminución de la motilidad mucociliar. (8)(15)

La vía aérea inferior es una zona habitualmente estéril en las personas sanas, salvo aquellas que tienen enfermedades crónicas pulmonares. Sin embargo, los pacientes sometidos a ventilación mecánica, esta esterilidad se pierde.

El neumotaponamiento en un tubo endotraqueal es un mecanismo diseñado para aislar la vía aérea evitando la entrada de patógenos y la pérdida de aire. Las secreciones que se encuentran alrededor del neumotaponamiento pueden llegar a la vía aérea inferior. Si este sistema no se encuentra correctamente sellado, la cantidad de secreciones que pueden llegar al parénquima pulmonar pueden ser mayores.

Cuando este traspasa la defensa del paciente se produce una reacción inflamatoria donde se desarrolla un infiltrado de leucocitos polimorfonucleares. Una baja presión del neumotaponamiento favorece el mayor paso de las secreciones, lo que puede provocar la aparición de neumonía. (12)

La neumonía asociada a la ventilación mecánica es la causante de que cerca de la mitad de los pacientes que se encuentran ingresados en las unidades de cuidados intensivos reciban antibióticos. (12) (16)

Un estudio realizado por R. Rodríguez 7 obtuvo que de un total de 242 pacientes el 33,8% desarrolló neumonía asociada a la ventilación mecánica y su estancia fue de 8,2 días. La ventilación mecánica duró 7,3 días y tuvo una mortalidad del 62,2%. Los pacientes con una edad en torno a los 61 y 80 años tenían una mortalidad del 49,9%. En el caso de los pacientes de 41-60 años tuvieron un promedio de 22,9% de mortalidad.

Los gérmenes más aislados en las aspiraciones de los tubos endotraqueales fueron bacterias Gram negativas como la *Pseudomona aeruginosa* en un 36%, *Acinetobacter* un 30,5%

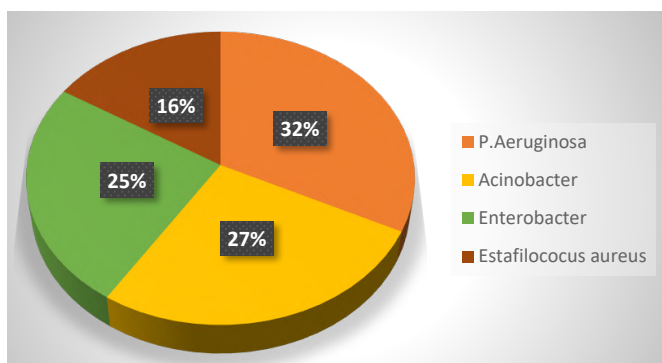


Figura 5. Microorganismos aislados en cultivos (7).

y *Enterobacter* un 36,6%. El germen gran positivo fue el *Stafilococo aureus* en un 1,3%.

Los principales microorganismos que encontramos en la neumonía asociada a la ventilación mecánica que aparecen de forma temprana encontramos la *S. aureus* sensible a la meticilina, *S. pneumoniae* y *H. influenzae*; por otra parte, encontramos aquellos que tardan más en desarrollarse como son la *P. aeruginosa*, *S. aureus* y *A. maumani* en la mayoría de los casos, encontramos que el desarrollo de la enfermedad se encuentran múltiples microorganismos. (7)

Comenzar con un tratamiento antibiótico de manera temprana es imprescindible, pero para ello es necesario diagnosticar el patógeno y su sensibilidad antibiótica, el diagnóstico clínico del paciente (paciente politraumatizado, con problemas neurológicos.), el resultado del examen macroscópico de las secreciones pulmonares y la actividad antibacteriana de los fármacos antimicrobianos.

El tratamiento consta de dos partes: por un lado, encontramos la ventilación mecánica ajustada a las necesidades del paciente y después aplicamos un tratamiento profiláctico adecuado. La duración de este tratamiento dependerá de la respuesta clínica, el agente etiológico y de la gravedad de la enfermedad. (13) (16)

4.2. Volutrauma

El volutrauma se conoce como la sobre distensión de un área pulmonar secundario a volúmenes pulmonares altos que superan el límite físico de la estructura pulmonar y que provocan el alargamiento de las fibras de colágeno. (17) (8)

El volumen pulmonar excesivo provoca una distensión excesiva, es decir, volutrauma, que se caracteriza por la hipermeabilidad de la barrera alveolo-capilar. El efecto directo del volutrauma da como resultado el estiramiento cíclico y persistente durante la ventilación mecánica, se estimulan las células endoteliales vasculares y epiteliasres alveolares a través de iones y proteínas asociadas a membranas mecanosensibles, lo que finalmente se traduce en edema pulmonar. (20)

El volutrauma fue descrito por Dreyfuss en 1988, quien descubre que el edema alveolar en ventilación mecánica se debe a altos volúmenes y no a altas presiones. El autor realizó un estudio en el que sometió a un grupo de ratas a altas presiones con altos volúmenes tidal; a bajas presiones con altos volúmenes tidal o a altas presiones con más bajos volúmenes tidal. De todas ellas, el grupo que no desarrolló daño pulmonar fueron aquellas que se emplearon bajos volúmenes y las ratas sometidas a altos volúmenes desarrollaron volutrauma y barotrauma.

Demostró que para que ocurriera la lesión, lo importante estaba en el volumen tidal alto independientemente de las presiones es decir, el volumen bajo no causó ningún daño a las ratas, sin embargo las altas presiones, incluso a aquellas con cerclaje, si lo hicieron.

Años más tarde, estos autores concluyeron que el volumen final inspiratorio es probablemente el principal determinante del edema inducido por la ventilación. (19)

Tabla 5. Artículos relacionados con el volutrauma.

Autor	Año	País	Características
J. Gomez, C. de la hoz y N. Utrilla	2020	España	Análisis de las complicaciones que presentan los pacientes sometidos a ventilación mecánica
J. Pagan y L. Copa	2018	Alemania	Volutrauma o atelectrauma
J. Bates y D. Gaverz	2020	-	Atelectrauma vs. volutrauma
F. Cipilli, F. Vasques y Eleonora Duscio	2018	Francia	Atelectrauma vs. volutrauma
F. Vasques, E. Duscio y F. Cipulli	2018	Alemania	Determinantes y prevención de la lesión pulmonar inducida por el ventilador
F. Aranciba y R. Soto	2018	Chile	Daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica
F. Gordo, C. Delgado y E. Calvo	2019	España	Lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica
T. Tonelli, L. Gatttononi y M. Quintel	2017	Alemania	Prevención de las lesiones pulmonares inducidas por el ventilador

También se han podido observar estos resultados en un estudio que se hizo sobre ovejas que bajo el efecto de la anestesia fueron ventiladas con volúmenes de 10 ml/kg o con un volumen de 50-70 ml/kg. Se observó que en 48h en el grupo que había sido sometido a un volumen circulante mayor desarrollaban un deterioro en el intercambio gaseoso y una alteración en la mecánica pulmonar. Por lo tanto, este daño se producía principalmente cuando se empleaban volúmenes altos.

Los alveolos pulmonares son similares a los globos que se expanden al entrar el aire y se contraen cuando este sale. Durante el proceso de respiración, se expanden los alveolos pulmonares pero también lo hacen las paredes alveolares también se distienden hasta que se aproximan a la capacidad pulmonar celular.

La tensión celular aparece cuando crece de forma rápida y brusca los lípidos de la membrana plasmática. Se produce un aumento en el área de la superficie celular con el fin de evitar la ruptura de la membrana plasmática. Cuando se exceden estos mecanismos de protección, la sobredimensión se traduce en tensión celular, lo que produce el desprendimiento de las células de la membrana basal, y como consecuente la rotura de unión de las células epiteliales y endoteliales. (17)

Si no se tiene en cuenta la presión transpulmonar en pacientes con ventilación mecánica, puede haber riesgo de complicaciones. El empleo de presiones altas en personas con obesidad mórbida puede provocar presiones pleurales altas y aun así no darse una sobredistension. Por otro lado, los pacientes que sufren síndrome de diestrers respiratorio agudo con falta de aire y con un esfuerzo muscular forzado se tienen que someterse a presiones bajas, si se emplean altas presiones se favorece la aparición de barotrauma/ volutrauma. (19)

Al principio los ventiladores mecánicos ‘ciclados por volumen’, empleaban volúmenes de entre 10 y 15ml/kg, unas cifras mucho mayores a las que se encuentran de forma fisiológica. El empleo de volúmenes que se encuentran en torno a 5-7ml/kg, garantizan una correcta ventilación y administrar de forma correcta la PaCO₂. (17)

Por otra parte, encontramos que el empleo de altas volúmenes de flujo, para mantener la relación I: E provoca el impacto sobre las paredes alveolares y esto puede desencadenar la lesión pulmonar aguda.

Otro factor a tener en cuenta es la ventilación mecánica que va desde la subventilacion hasta una máxima apertura. Esto provoca la sobre distensión de la pared alveolar

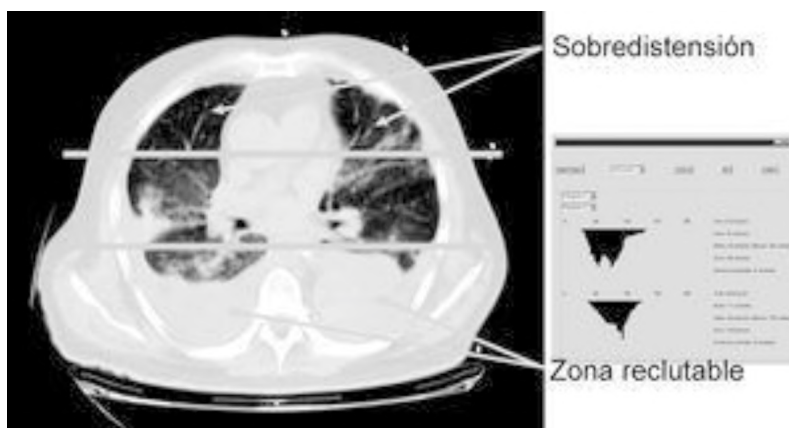


Figura 6. Pulmón con volutrauma (18).

y un constante movimiento de apertura y cierre de manera extrema. En este caso, la presión positiva al final de la inspiración (PEEP) actúa como factor protector. (17)

El volumen final inspiratorio es probablemente el principal determinante del edema inducido por la ventilación y desencadenante del volutrauma. (21)(22) El volutrauma causado por la tensión excesiva estaba relacionado con el barotrauma, causado por una tensión excesiva. Pero hay que tener en cuenta que un volumen corriente más bajo está relacionado con un 10% más de mortalidad que un volumen corriente más bajo. (22)

4.3. Atelectrauma

El atelectrauma o atelectasia cilíndrica es un daño causado por la deformación o el cizallamiento de las unidades alveolares sometidas a la expansión alveolar durante la apertura y el cierre en cada ciclo. (23) (24)

El concepto de atelectrauma fue desarrollado por Arthur Slutsky cuando observo un importante aumento de las citoquinas inflamatorias in vivo en un grupo de ratas cuando colapsó los pulmones y los volvía a inflar de manera cíclica.

La base teórica de este fenómeno fue descrita por Med et Al. Quienes explicaron la mala distribución del estrés y la tensión en el parénquima pulmonar no homogéneo.(19)

El causante principal es la inestabilidad pulmonar. Los alveolos sanos en el ciclo respiratorio apenas tienen deformación, mientras que el un paciente con distrés tiende al colapso. En estos pacientes podemos encontrar la pérdida y la desnaturalización del surfactante, pérdida de peso del tejido suprayacente y la aparición de un gran edema inflamatorio intraalveolar. (19)(17)

El colapso de los alveolos y de las vías respiratorias en los pulmones lesionados tarda en manifestarse y la velocidad en la que esto se establece varía en función de las características de cada paciente y de la lesión pulmonar. Esto

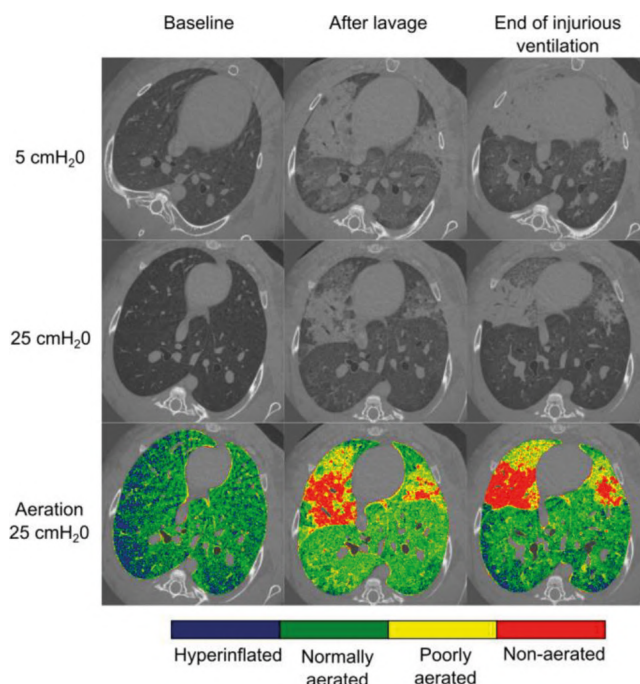


Figura 7. Imágenes de atelectrauma en lesión pulmonar inducida por ventilador mediante microscopía de rayos X 4D (25).

significa que el atelectrauma sea seguramente uno de los mecanismos más insidioso, pues no solo depende de la presión y los volúmenes que se aplican en los pulmones si no de como estos varían con el tiempo. (21)(25)

Se realizaron estudios donde se compararon el peligro de atelectrauma en pacientes sometidos a una PEEP baja vs. los peligros de volutrauma en los pacientes con una PEEP más alta. Los resultados fueron que en aquellos pacientes donde se emplea una PEEP de en torno a 7cmH₂O tenían menos posibilidades de desarrollar atelectrauma que aquellos sometidos a volúmenes más altos. En este ensayo se vio que aumentar la PEEP por encima de 15 cmH₂O es peligroso y aumenta la mortalidad de los pacientes. (19)

Tabla 6. Artículos relacionados con el atelectrauma.

Autor	Año	País	Características
L. Gattinoni y M. Quintel	2018	Alemania	Volutrauma o atelectrauma
J. Bates y D. Gaverz	2020	-	Atelectrauma vs. volutrauma
F. Cipilli, F. Vasques y Eleonora Duscio	2018	Francia	Atelectrauma vs. volutrauma
F. Vasques, E. Duscio y F. Cipulli	2018	Alemania	Determinantes y prevención de la lesión pulmonar inducida por el ventilador
M. Bolivar y JC. Martinez	2021	Méjico	Barotruma y volutrauma
F. Aranciba y R. Soto	2018	Chile	Daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica
F. Gordo, C. Delgado y E. Calvo	2019	España	Lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica
M.C. Pintado y R. de Pablo	2018	Madrid	Presión positiva fila inspiratoria
M.D. Pierre-Regins	2021	Francia	Prevención del atelectrauma
F. Collino, F. Rrapetti y F. Vasques	2019	UK	Atelectrauma

Colmenero et Al, realizaron un estudio sobre como el uso de la PEEP y volúmenes bajos en un grupo de cerdos. Demostraron que el empleo de la PEEP de forma precoz previene el aumento de la permeabilidad vascular inducida pro la ventilación mecancia.

Posteriormente en un modelo experimental sobre ratas, se pudo observar que la ventilación mecánica con volúmenes altos (40 ml/kg) producían un aumento de mediadores inflamatorios a nivel pulmonar. Es fenómeno aumentaba un 50% si el pulmón es ventilado sin PEEP. (18)

Un ensayo realizado sobre treinta lechones sanos que fueron sometidos durante 50h a 30 respiraciones por minuto con un volumen igual a la capacidad residual funcional. Se aplicaron varios niveles de presiones positivas y se registraron las constantes y se realizaron gasometrías y valoraciones hemodinámicas cada 6h. Se pudo observar que la atelectasia pulmonar y la congestión vascular disminuyeron cuando se les aplicaba una presión de entre 4-7 cmH₂O y aumentaban cuando las presiones eran más positivas.(26)

4.4. Barotrauma

El barotrauma se definen como una presión pulmonar producto de altas presiones transpulmonares que ocasiona la presencia de aire extraalveolar.(27) (8)

El barotrauma se observa frecuentemente en buceadores o en pasajeros de aviones en el proceso de ascenso o descenso del avión. Los órganos principalmente afectado son el oído medio(barotrauma ótico) los senos nasales y los pulmones(barotrauma pulmonar). (28)

Fue descrito por primera vez en 1745 por Fothergill quien advirtió sobre la aparición del barotrauma durante la ventilación mecánica en la unidad de reanimación.

El barotrauma es una complicación derivada del empleo de ventilación mecánica. En el proceso fisiológico del ser humano, encontramos presiones intratorácicas negativas, sin embargo, cuando ventilamos a los pacientes se hace con presiones positivas, es por esto que se produce el barotrauma.

Los pacientes que tienen más riesgo de desarrollar el barotrauma son aquellos que sufren EPOC, enfermedad pulmo-



Figura 8. Pulmones que han sufrido barotrauma (18).

nar intersticial, asma o síndrome de dificultad respiratoria aguda.(27)

Un estudio examino 5183 pacientes de UCI y encontró que de los pacientes que habían sufrido barotrauma estando sometido a ventilación mecánica, el 2,9% sufrían EPOC, el 6,3% asma, el 10% enfermedad pulmonar intersticial y el 6,5% de los pacientes SDRA.

El barotrauma sucede cuando se ventila a los pacientes con presiones positivas pues puede provocar una elevación transalveolar o una diferencia de presión en el espacio intersticial. Esta elevación de presión puede provocar la ruptura alveolar y por lo tanto una fuga de aire hacia el tejido extraalveolar. (28)

A principios de 1970 cuando se empleaba la ventilación mecánica controlada por volumen, el objetivo primordial era mantener una PaCO₂ en rangos normales, por lo que el desarrollo de neumotórax era tan frecuente que el uso de drenajes torácicos se ponía de manera profiláctica con el fin de evitar las muertes por neumotórax súbitos a tensión. El principal temor era la FiO₂ alta por lo tanto se comenzaron a emplear las membranas extracorpóreas (ECMO).(22)

Tabla 7. Artículos relacionados con el barotrauma.

Autor	Año	País	Características
J. Gomez, C. de la hoz y N. Utrilla	2020	España	Análisis de las complicaciones que presentan los pacientes sometidos a ventilación mecánica
M. Bolivar y JC. Martinez	2021	Méjico	Barotrauma y volutrauma
F. Aranciba y R. Soto	2018	Chile	Daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica
F. Gordo, C. Delgado y E. Calvo	2019	España	Lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica
T. Tonelli, L. Gatttononi y M. Quintel	2017	Alemania	Prevención de las lesiones pulmonares inducidas por el ventilador
L. Chen y H. Xia	2018	China	Barotrauma y ventilación mecánica
G. McGuinness y C. Zhan	2020	EEUU	Incremento del barotrauma durante el Covid-19

La embolia aérea ha sido altamente estudiada, en 1938 Malcklin analizó los mecanismos de rotura alveolar y determinó que la sobre distensión alveolar era un factor prede-terminante de la rotura alveolar. (19)

El barotrauma se desarrolla por la rotura alveolar y la fuga de aire a los espacios broncovascular. El empleo de presiones pico y plateau elevadas se relaciona con el riesgo de desarrollar barotrauma, en concreto con el empleo de VT elevadas, los valores oscilaron entre 16 y 20 cmH₂O. (24)(27)

El barotrauma es una de las complicaciones más graves en los pacientes sometidos a ventilación mecánica. Un estudio llevado a cabo por Gómez de Oña(8) demostró que el conocimiento del funcionamiento de los ventiladores redujo en la incidencia al 1,22% la posibilidad de desarrollar barotrauma en aquellos pacientes que habían sido sometidos a la ventilación mecánica. Además, el empleo de la ventilación mecánica por presión y el uso de una ventilación protectora disminuyeron la aparición de esta lesión. (8)

Varios metaanálisis han demostrado la prevalencia del barotrauma en un 50%. Los estudios más recientes demuestran que el empleo de la ventilación mecánica protectora disminuiría la incidencia hasta dejarla en un 10%. (28)

Las complicaciones que encontramos del barotrauma son el neumomediastino, neumotórax, enfisema subcutáneo, neumoperitoneo y choque obstructivo. La clínica suele ser inespecífica, pero puede relacionarse con hipoxemia, taquicardia, enfisema subcutáneo y alteraciones hemodinámicas.

En caso de neumomediastino y enfisema subcutáneo la terapia conservadora ha resultado ser la más apropiada. Sin embargo, en los pacientes donde hay neumotórax simple, el mejor tratamiento suele ser el drenaje torácico, bien sea por la técnica percutánea, con la técnica de Seldinger o abierta, siempre teniendo cuidado para evitar o disminuir la aerolización.

El desarrollo del neumomediastino y enfisema subcutáneo no aumenta el riesgo de mortalidad del paciente, se resuelve con tratamiento conservador.

El neumomediastino y el enfisema subcutáneo secundario al barotrauma deben vigilarse, pues pueden tener consecuencias hemodinámicas y respiratorias, puede evolucionar hasta desarrollarse un neumomediastino maligno y compresión torácica por enfisema. Las acciones terapéuticas en estos casos serían el uso de drenajes subcutáneos y la inserción de drenajes de gran calibre(32-36 Fr). En caso de neumotórax simple por barotrauma presenta una gran incidencia. La principal acción consiste en eliminar el aire del espacio pleural y permitir la reexpansión del pulmón. (27)

En 2021, un estudio realizado por M. Adrian J. Martinez observaron que los pacientes que sufrían barotrauma tenían un aumento de la mortalidad en un 31.1%.

Además, una serie de casos descritos por el servicio de cirugía torácica en dos unidades de la ciudad de Nueva York demostraron que la tasa de mortalidad asociada con el barotrauma en pacientes con Covid era del 64% en comparación con aquellos que requirieron ventilación mecánica en comparación con el 25-50% que desarrollaron barotrauma. (27)

La asociación que existe entre la presión que se ejerce en las vías aéreas y la producción de daño pulmonar fue demostrada inicialmente por Webb y Tinerey, los cuales realizaron un estudio en el que sometieron a un grupo de ratas a diferentes niveles de presión en la vía aérea durante una hora. Los animales que fueron sometidos a ventilaciones pico de 14cm H₂O no tuvieron ningún daño, mientras que aquellos que recibieron altas presiones (entre 35 y 40 cmH₂O) desarrollaron un importante edema perivascular y alveolar. Los mismos resultados fueron demostrados en un ensayo realizado con ovejas y conejos, la única diferencia estuvo en que tuvieron que emplear mayor tiempo. (18)

Durante la pandemia de Covid-19 se pudo observar que los pacientes desarrollaban barotrauma y esto estaba relacionado con el empleo de la ventilación mecánica invasiva. Por ello se quiso estudiar si los pacientes con infección por COVID-19 tienen una mayor probabilidad de desarrollar barotrauma que el resto de pacientes ingresados en la unidad de cuidados intensivos.

En este estudio, se un total de 601 pacientes con COVID-19 se sometieron a ventilación mecánica (la edad media de estos pacientes era de 63 años y el 71% hombres). De este total, 89 pacientes tuvieron uno o más episodios de barotrauma en un total de 145 casos. Durante ese mismo tiempo, 196 pacientes sin COVID-19 y sometidos a ventilación mecánica tuvieron un caso de barotrauma. De 285 pacientes con dificultad respiratoria aguda y con ventilación mecánica durante los últimos 4 años desarrollaron 31 eventos de barotrauma.

Por otro lado la universidad de Nueva York buscó la relación entre la formación de barotrauma y el COVID-19. Se encontró que el 15% de los pacientes diagnosticados por SARS-COV2 desarrollaban barotrauma.

El barotrauma es un factor de riesgo independiente a la muerte por COVID-19 y se asocia con una estancia hospitalaria más prolongada. Es por esto que la enfermedad de coronavirus y la ventilación mecánica tuvieron una tasa más alta de barotrauma en los pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda que los pacientes sin coronavirus. (29)

La PEEP mejora la oxigenación mediante el reclutamiento de las unidades alveolares, sin embargo se produce una sobredistensión de los alveolos en los pacientes con afecciones moderadas y graves de síndrome de diestres respiratorio agudo con baja elasticidad pulmonar, por lo que el riesgo de barotrauma será mayor.

Ante la sospecha de barotrauma se debe actuar de inmediato. El neumotórax es una de las complicaciones del barotrauma pulmonar y debe actuar de forma urgente. En el examen físico se escucharán sonidos respiratorios y la mayoría de los pacientes presentarán dificultad respiratoria y dolor torácico.

En el caso de neumotórax a tensión se requiere la descompresión con aguja para evacuar el neumotórax, seguida de la colocación de un tubo de toracotomía. La radiografía de tórax nos permite identificar la presencia de neumotórax, neumomediastino y otras manifestaciones del barotrauma. (28)

Tabla 8. Artículos relacionados con la prevención de complicaciones asociadas a la ventilación mecánica.

Autor	Año	País	Características
R. Perris e Itziar de la Cruz	2018	España	Efectos de la ventilación mecánica intraoperatoria y la ventilación de protección
S. Garcia y R. Molina	2021	España	Empleo de ventilación mecánica protectora
O. Perez, E. Deloya y JM. Lomelli	2018	Méjico	Protección alveolar
L. Ferrer y D. Romero		España	Ventilación protectora
A. Vasquez y S. Reinoso	2019	Ecuador	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
S. Nuñez y J. Perez	2018	Méjico	Cuidados en la prevención de la neumonía asociada a la ventilación mecánica
E. Diaz y L. Lorente	2019	España	Neumonía asociada a la ventilación mecánica
J. Bates y D. Gaverz	2020	-	Atelectrauma vs. volutrauma
F. Vasques, E. Duscio y F. Cipulli	2018	Alemania	Determinantes y prevención de la lesión pulmonar inducida por el ventilado.
F. Gordo, C. Delgado y E. Calvo	2019	España	Lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica
M. Bolivar y JC. Martinez	2021	Méjico	Barotrauma y volutrauma
J. Pagan y L. Copa	2020	Cuba	Ventilación mecánica protectora
S. Garcia y R. Molina	2021	España	Empleo de ventilación mecánica protectora

4.5. Prevención de complicaciones de la ventilación mecánica

4.5.1. Intervenciones de enfermería para evitar complicaciones

Encontramos una serie de intervenciones de enfermería que serían de gran eficacia para paliar estas complicaciones. Para la valoración del paciente con ventilación mecánica nos guiaremos por los patrones funcionales establecidos por Virginia Henderson.

- 1. Necesidades respiratorias:** Para ello valoraremos los parámetros respiratorios como el modo ventilatorio, el volumen tidal, la FiO_2 , la PEEP, la Frecuencia Respiratoria; los ruidos respiratorios (sibilancias, roncus o estertores); movimientos torácicos (movimientos y simetría); características de hipoxia (aumento de la frecuencia respiratoria o aspecto cianótico); intoxicación por oxígeno (disnea, parestesia en los miembros) y la posibilidad de expectoración.
- 2. Necesidades de nutrición:** Tipo de alimentación administrada (oral, parenteral o enteral); signos digestivos (nauseas o vómitos); tolerancia; colocación de sonda enteral.
- 3. Necesidad de movilización:** Para evitar úlceras por presión
- 4. Necesidad de higiene:** Valorar la higiene bucal, hacer enjuagues con clorhexidina y aspiración de secreciones.

4.5.2. Para evitar la aparición de la neumonía asociada a la ventilación mecánica

Para evitar la aparición de neumonía asociada a la ventilación mecánica, podemos encontrar:

- Evitar la reintunación orotraqueal.
- Disminuir la ventilación mecánica no invasiva
- Cambiar los sistemas de ventilación cuando estén sucios o con disfunción.
- Higiene oral con clorhexidina oral. La cavidad orofaríngea actúa como reservorio de microorganismos que pueden llegar al tracto respiratorio en pacientes sometidos a ventilación y aumentan el riesgo de desarrollar neumonía asociada a ventilación mecánica. 8 el empleo de clorhexidina bucal disminuye la probabilidad de desarrollar infecciones respiratorias. Se recomienda el aseo con clorhexidina cada 8-12h.
- Controlar el estado de los pacientes ventilados sin sedantes.
- Movilización temprana y fisioterapia respiratoria.
- Empleo de tubos endotraqueales con aspiraciones supraglóticas para los pacientes que pasen más de 48h.
- Aspiración endotraqueal: la aspiración endotraqueal debe realizarse cuando sea necesario, cuando hay ruido en las secreciones, sean o la curva de presiones del ventilador presente vibraciones. Hay un aumento de la colonización en aquellos pacientes con sistemas de aspiración abierto.
- Elevación de la cabecera 30-40°. La posición de decúbito supino favorece la aspiración y la aparición de neumonía asociada a la ventilación mecánica. La posición en la que el cabecero se encuentra en torno a 30 o 45° disminuye que dichas secreciones se acumulen y pasen

al interior del tubo. esta posición también es muy importante en aquellos pacientes que tienen nutrición enteral pues disminuye la posibilidad de aspiración de contenido gástrico.

- También es importante medir el volumen gástrico residual cada 8 horas y aplicar la retención de la alimentación de 1h.
- Aspiración de las secreciones antes de realizar una movilización. Las secreciones que se acumulan por encima del tubo endotraqueal son un factor de riesgo por el que se debe aspirar al menos cada 4 horas la cavidad orofaríngea.
- Mantener la presión del tubo endotraqueal entre 20-22cm. Con el fin de evitar el paso de microorganismo al tracto inferior. (14)

Podemos encontrar 2 vías de actuación: por un lado, el tratamiento de soporte, que consiste en ajustar la ventilación mecánica a las necesidades del paciente, para ello, ajustaremos la mejor fracción inspirada de oxígeno, que consiste en la menor Fio2 ya que en altas concentraciones el oxígeno puede ser tóxico. por otro lado, encontramos el tratamiento antibiótico, si la nave aparece de manera precoz, la pauta presentará una cobertura correcta de la flora, sin embargo, si el paciente presenta más de una semana de hospitalización, el tratamiento antibiótico deberemos individualizar a pauta. (15) (6)

El proyecto 'neumonía zero' fue puesto en marcha por la sociedad española de medicina intensiva, crítica y unidades coronarias en 2011 con el fin de disminuir los casos de neumonía asociada a ventilación mecánica.

En este protocolo podemos encontrar:

- Medidas para la aspiración de secreciones
 - Empleo de guantes estériles, mascarillas y sondas desechables.
 - Hiperoxigenarían previa a la aspiración
 - Aspiración orofaríngea al terminar el proceso
- Higiene de manos antes de realizar procedimientos sobre la vía aérea
- Mantener las presiones correctas del neumotaponamiento (20-30 cmH₂O)
- Higiene oral con clorhexidina cada 6-8h
- Mantener el cabecero elevado a 30-40° siempre que sea posible
- Realizar cambios posturales cada 8h
- Realizar procedimientos seguros a la hora de realizar la intubación
 - Valoración diaria de la retirada de la sedación
 - Valorar la posibilidad de intubación
 - Uso de ventilación mecánica no invasiva siempre que sea posible

- Evitar cambios en las tubuladuras y humidificadores
- Aspiración de secreciones supraglóticas (30)

4.5.3. Para evitar la aparición de la volutrauma asociada a la ventilación mecánica

Como uno de los principales causantes del Volutrauma es la sobredimensión alveolar por el empleo de volúmenes corrientes elevados, lo primero que se tiene que hacer es emplear VT similares a los fisiológicos, es decir de 5 a 7 ml/kg. Al mismo tiempo, esto puede ser causante de atelectasias, por lo que el empleo de PEEP resulta imprescindible. El uso de la PEEP protege del movimiento repetitivo y de carácter traumático entre la su ventilación y la apertura extrema.(21)

Para prevenir la lesión pulmonar causadas por el empleo de altas velocidades de flujo, deben considerarse dos situaciones: el uso de velocidades de flujo bajas, pero que mantengan una relación I: E correctas y la conservación de velocidades de flujo inicial combinadas con el incremento de tiempo inspiratorio.

Para evitar la producción de volutrauma ligado al aumento de presiones pico y plateau se deben emplear ondas des acelerantes y modos ventilatorios controlados por presión, lo que permite el control de la presión pico. (23)

Parámetro	Valor
Volumen corriente	5-8 ml/kg
Presión plateau	Igual o menor a 35 cmH ₂ O
PEEP	5-15 cmH ₂ O
Gases arteriales	Ph: 7.20-7.44

Figura 9. Valores para evitar el volutrauma (23).

4.5.4. Para evitar la aparición de la atelectrauma asociada a la ventilación mecánica

La lesión se produce por la apertura y el cierre de forma continua de las zonas alveolares, por ello la ventilación protectora resulta muy beneficiosa. Esto consiste en emplear volúmenes circulantes menores a 10ml/kg y de presión alveolar inferior a 30cm H₂O. (18)

Un ensayo realizado por Bastia destacó la importancia de usar la manometría esofágica para determinar la agudeza de las lesiones pulmonares. (31)

4.5.5. Para evitar la aparición de la barotrauma asociada a la ventilación mecánica

Entre las acciones realizadas para disminuir la aparición de barotrauma tendremos que evitar la distensibilidad de los pulmones, para ello programaremos los parámetros con una presión plateau por debajo de 35 cmH₂O, un volumen tidal bajo (6 ml/kg), una presión de distensión menor de 15.

La PEEP se relaciona con la presencia de barotrauma por lo que debe modificarse cuidadosamente cuando se realice el reclutamiento alveolar. 32

4.5.6. La ventilación mecánica protectora

La ventilación mecánica protectora es una forma de ventilación que tiene como objetivo evitar el daño pulmonar asociado a la ventilación mecánica, para ello emplea una serie de parámetros respiratorios individualizados. (32)

Busca disminuir la sobredistensión, obtener una correcta apertura, evitar el roce que se produce en las zonas alveolares sanas. Con la función protectora se reduce el trauma alveolar y la formación de atelectasias al usar un bajo volumen corriente. (33) (34)

La estrategia de ventilación mecánica protectora aceptada de manera internacional consiste en:

1. Volumen corriente bajo (6-8 ml/kg de peso)
2. Presión plateau máxima de 30 cmH₂O de volumen corriente
3. Presión de distensión entre 12- 15 cmH₂O, esto hace referencia a la presión intraalveolar, es decir, a la presión plateau y la PEEP
4. Hipercapnia permisiva(aumento de la presión de CO₂ para reducir el volumen corriente
5. Utilizar una PEEP lo mas baja posible

Uno de los primeros estudios sobre la ventilación mecánica protectora fue desarrollado por Hickling y col, posteriormente Marcelo- Amato y col. los cuales modificaron la forma de ventilar de manera global, demostraron el beneficio del uso de la ventilación con volúmenes tidal bajo y el aumento de la supervivencia a los 28 días, así como una menor incidencia de barotrauma y fallo en el destete. (33)

Las terapias que han demostrado ser eficaces en la ventilación mecánica de protección pulmonar son el empleo de un volumen corriente bajo (4-6 ml/kg) de peso corporal ideal y una presión meseta de 30 cmH₂O o menor. La ventilación mecánica con volúmenes tidales bajos son beneficiosos para aquellos pacientes con SDRA. Tras la implementación de estas medidas se disminuyó del 15% al 1% la hiperventilación y la tasa de ventilación optima aumento del 2 al 22,9%. Hubo un cambio significativo en el uso de la ventilación mecánica controlada por presión a un uso de la ventilación controlada por presión, pues aumento su uso en hasta un 89%. (35) (34)

Un estudio empleo volúmenes bajos y una PEEP de entre 6 y 8 mmH₂O y con maniobras repetidas de reclutamiento se observaron mejoras en los resultados postoperatorios. El uso de capnógrafo volumétrico es una herramienta que nos permitirían en busca de una PEEP individualizada. En general la limitación de la presión y el volumen ventilatorio reduce la mortalidad de los pacientes que tiene lesiones pulmonares. (32) (36)

El uso de volumen corriente elevado lleva a la hipocapnia por hipoventilación. La hipocapnia moderada, ha sido empleada frecuentemente durante la anestesia general para disminuir los esfuerzos espontáneos y minimizar las demandas de sedantes, analgésicos y relajantes neuromusculares. (33)

Las maniobras de reclutamiento pueden prevenir las atelectasias, mejorar la relación de ventilación, optimizar la ventilación con aumento de PaO₂ y producir un aumento de la presión transpulmonar. En este proceso encontramos el empleo de una PEEP elevada, así como unas presiones límites elevadas con una frecuencia de 10-12 rpm durante al menos un minuto. (36)

5. DISCUSIÓN

La ventilación mecánica (VM) es un proceso de respiración artificial que sustituye de manera total o parcial la función respiratoria del paciente y para el que se necesita un ventilador mecánico. Diferentes factores han provocado que el uso de ventiladores haya aumentado en un 30% en España. (36)

Se relaciona de forma directa el empleo de ventilación mecánica invasiva con la aparición de complicaciones, siendo estas mas prevalentes a partir del sexto día. Así mismo se relación con factor de riesgo para la morbilidad y la mortalidad. Por lo tanto, debido al aumento de las complicaciones derivadas del empleo de la ventilación mecánica aparece la necesidad de conocer todo aquello relacionado con las factores que facilitan su aparición y la forma de prevenirlo. (4)

Entre los factores de riesgo encontramos el sexo masculino y en especial aquellos que se encuentran entre los 50-59 años, antecedentes cardiovasculares y el habito tabáquico. (7)

Las complicaciones que tienen mayor importancia son aquellas de carácter infeccioso como la neumonía y las de tipo no infeccioso como el barotrauma, el volutrauma o el atelectrauma. Las lesiones pulmonares se deben principalmente al desequilibrio entre la presión transpulmonar, encontramos el barotrauma, volutrauma, atelectrauma y el desarrollo de la neumonía.

La neumonía es una infección del parénquima pulmonar que inflama los sacos aéreo de uno o ambos pulmones. estos sacos pueden llenarse de liquido o de pus. La neumonía nosocomial es aquella que se desarrolla cuando esta en el hospital, suele aparecer 48.72h después de la intubación endotraqueal. (14)

Los pacientes sometidos a ventilación mecánica tienen mayor riesgo de desarrollar neumonía asociada a la ventilación mecánica debido al acumulo de secreciones que se producen desde la cavidad orofaríngea y a la disminución de la motilidad mucociliar. La cavidad aérea es una zona estéril y al realizar la intubación se pierde dicha esterilidad. (12)

Un estudio realizado por R. Rodríguez que de un total de 242 pacientes ingresado en las unidades de cuidados intensivos el 33,85% desarrollo neumonía y tuvieron una mortalidad del 62,2%.

Los principales microorganismos que encontramos en la neumonía asociada a la ventilación mecánica que aparecen de forma temprana encontramos la *S. aureus* sensible a la meticilina, *S. pneumoniae* y *H. influenzae*; por otra par-

te, encontramos aquellos que tardan más en desarrollarse como son la *P. aeruginosa*, *S. aureus* y *A. maumani* en la mayoría de los casos, encontramos que el desarrollo de la enfermedad se encuentran múltiples microorganismos. (7)

El volutrauma se conoce como la sobredimensión de un área pulmonar secundario a volúmenes pulmonares altos que superan el límite físico de la estructura pulmonar y que provoca el alargamiento de las fibras de colágeno.

Los ventiladores mecánicos emplean volúmenes de entre 10-15 ml/kg, unas cifras mucho mayores a las que se encuentran de forma fisiológica (5-7 ml/kg) con el fin de garantizar la ventilación. El volumen excesivo provoca una distensión excesiva, es decir, el volutrauma. (17)

En un estudio se sometieron a un grupo de ratas con cercaje torácico, apenas había lesión pulmonar, sin embargo, cuando eran ventiladas sin restricción torácica, se esperaba un volumen más alto y por lo tanto se producía lesión pulmonar. (22)

El atelectrauma es un daño producido por la deformación o el cizallamiento de las unidades alveolares sometidas a la expansión alveolar durante la apertura y el cierre en cada ciclo. (23)

Se ha realizado estudios donde se comprueba el riesgo de desarrollar atelectrauma en los pacientes sometidos a una PEEP baja vs. los pacientes con una PEEP alta. Los resultados demostraron que el empleo de una PEEP entorno a 7 cmH₂O disminuían la aparición del atelectrauma mientras que el uso de una PEEP por encima de 15 cmH₂O es peligroso y aumenta la mortalidad en los pacientes.

El barotrauma se define como la presión pulmonar producida por altas presiones transpulmonares que ocasionan la presencia de aire extralveolar.

El empleo de presiones pico y plateau elevadas se relaciona con el riesgo de desarrollar barotrauma.

Entre las complicaciones derivadas del barotrauma encontramos el neumomediastino, neumotórax, enfisema subcutáneo, neumoperitoneo y choque obstructivo. (27) (8)

Entre las intervenciones de enfermería para evitar las complicaciones encontramos: Para ello valoraremos los parámetros respiratorios como el modo ventilatorio, el volumen tidal, la FiO₂, la PEEP, la Frecuencia Respiratoria; los ruidos respiratorios (sibilancias, roncus o estertores); movimientos torácicos (movimientos y simetría); características de hipoxia (aumento de la frecuencia respiratoria o aspecto cianótico); intoxicación por oxígeno (disnea, parestesia en los miembros) y la posibilidad de expectoración.

Una correcta movilización, empleo de enjuague bucal, una correcta presión del tubo endotraqueal. (14)

El empleo de la ventilación protectora tiene como objetivo evitar el daño pulmonar asociado a la ventilación mecánica, para ello se utilizarán parámetros respiratorios individualizados. (32)

La estrategia de ventilación mecánica protectora consiste en:

1. Volumen corriente bajo (6-8 ml/kg de peso)
2. Presión plateau máxima de 30 cmH₂O de volumen corriente
3. Presión de distensión entre 12-15 cmH₂O, esto hace referencia a la presión intraalveolar, es decir, a la presión plateau y la PEEP
4. Hipercapnia permisiva (aumento de la presión de CO₂ para reducir el volumen corriente)
5. Utilizar una PEEP lo más baja posible

6. CONCLUSIÓN

La ventilación mecánica es un proceso de respiración artificial que sustituye de manera total o parcial la función respiratoria del paciente. (14)

Los antecedentes cardiovasculares, los hábitos tóxicos, las enfermedades neurodegenerativas o las enfermedades respiratorias son antecedentes personales que se relacionan con el aumento de posibilidades de necesitar ventilación mecánica.

La neumonía nosocomial es una de las principales causas de mortalidad u morbilidad a nivel intrahospitalario. Esta comienza a desarrollarse a partir de las 48-72h después de la intubación endotraqueal.

Los pacientes sometidos a ventilación mecánica tienen un mayor riesgo de desarrollar neumonía debido al acumulo de secreciones en la cavidad orofaríngea y a la disminución de la motilidad ciliar. Además, al intubar al paciente se pierde la esterilidad de la cavidad orofaríngea.

El volutrauma se produce por la sobredistensión del área pulmonar secundario a volúmenes pulmonares altos, por lo que el empleo de volúmenes entre 5-7 ml/kg, mucho más similares a los fisiológicos, se previene el volutrauma.

El atelectrauma es causado por el cizallamiento de las unidades alveolares durante el proceso de apertura y cierre de cada ciclo respiratorio. En los estudios donde la PEEP se encontraba entre 7 cmH₂O se disminuía la posibilidad de desarrollar dicha patología.

El barotrauma es una complicación derivada del empleo de la ventilación mecánica. En el proceso fisiológico del ser humano encontramos presiones intratorácicas negativas, sin embargo, cuando ventilamos a los pacientes esto se hace por presiones positivas y es cuando se produce el barotrauma. El COVID-19 ha favorecido la aparición de barotrauma.

El empleo de ventilación mecánica protectora evita el daño pulmonar. Entre las estrategias se encuentran:

1. Volumen corriente bajo (6-8 ml/kg de peso)
2. Presión plateau máxima de 30 cmH₂O de volumen corriente
3. Presión de distensión entre 12-15 cmH₂O, esto hace referencia a la presión intraalveolar, es decir, a la presión plateau y la PEEP

4. Hipercapnia permisiva (aumento de la presión de CO₂) para reducir el volumen corriente
5. Utilizar una PEEP lo más baja posible

Además, la ventilación mecánicas con volúmenes tidales bajos son beneficiosos con los pacientes que sufren SDRA. Tras la implementación de estas medidas se disminuyó del 15 al 1% la hiperventilación.

Las intervenciones de enfermería son de gran eficacia para paliar estas complicaciones, la vigilancia de los parámetros ventilatorios, la administración de una correcta nutrición o una higiene oral adecuada pueden disminuir la aparición de volutrauma, barotrauma, atelectrauma o la neumonía.

La prevención de complicaciones está muy avanzada, el empleo del método neumonía Zero ha reducido las complicaciones hasta un 59% la posibilidad de desarrollar neumonía asociada a la ventilación mecánica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sevillano G, Asesor MM, Farje Napa MG, Augusto C. RESPIRACIONES ESPONTÁNEAS Y MODOS VENTILATORIOS EN VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA Trabajo de suficiencia Profesional Para optar por el Título Profesional. 2020.
2. Luis J, Morillón R, Rodrigo Y, Carrancho S. CONCEPTOS BÁSICOS DE VENTILACIÓN MECÁNICA.
3. American Thoracic Society [Internet]. Available from: <http://www.caregiver.org>
4. I. Casabona RS y ML. Historia y evolución de la ventilación mecánica. 2018.
5. Sandro P, Paredes R. "Características epidemiológicas y clínicas de los pacientes que recibieron ventilación mecánica en la unidad de cuidados intensivos del hospital III Goyeneche durante el año 2019". Trabajo de investigación presentado por: Lady Rina Anculle Huayna para optar el título de Médico Cirujano. 2019.
6. Anabel Hernandez Ruiz, Rebeca Iracema Delgado, Fernandez Gaspar, Rafael Alcaide Musteller. Mortalidad en pacientes con ventilación mecánica ingresados en una unidad de cuidados intensivos. 2018;
7. Dr. Ray Del Manuel Rodriguez Garcia, Raul Perez Sarmiento. Neumonía asociada a la ventilación mecánica en una unidad polivalente de cuidados intensivos . 2018;
8. Gomez de Oña JD la HGC. Analisis de las complicaciones que presentan los pacientes sometidos a un programa de ventilación mecánica invasiva. actualidad medica. 2020;
9. Diaz E, Lorente L, Valles J, Rello J. Neumonía asociada a la ventilación mecánica. Medicina Intensiva. 2019 Jun;34(5):318–24.
10. Cadena Bonilla David Alejandro. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias de la Discapacidad, Atención Prehospitalaria y Desastres. Carrera de Terapia física. Neumonía asociada a Ventilación Mecánica. 2018.
11. Heidi Rego Avila ADRAASP. neumonía asociada a la ventilación mecánica en pacientes atendidos en una unidad de cuidados intensivos . revista de ciencias medicas de pinar del rio. 2020;
12. Andres alberto vazquez stefanie cristina reinoso tapia, maria nora. maunonía asociada a la ventilación mecánica . revista científica del mundo de la investigación y el conocimiento . 2019;
13. Mancilla Quinde Andrea de Fátima Molina Constante Hilda Estefanía. FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS MEDICINA CERTIFICACIÓN. 2019.
14. Stephanie Izrazi Olivera JAP y JAT. cumplimiento de los cuidados de enfermería para la prevención de la neumonía asociada a la ventilación mecánica . conamed. 2018;
15. Diaz E, Lorente L, Valles J, Rello J. Neumonía asociada a la ventilación mecánica. Medicina Intensiva. 2019 Jun;34(5):318–24.
16. Cornistein W, Colque AM, Staneloni MI, Lloria MM, Lares M, González AL, et al. Neumonía asociada a ventilación mecánica neumonía asociada a ventilación mecánica. Actualización y recomendaciones inter-sociedades, sociedad argentina de infectología-sociedad argentina de terapia intensiva. 2018;
17. Gattinoni L, Quintel M, Marini JJ. Volutrauma and atelectrauma: Which is worse? Vol. 22, Critical Care. BioMed Central Ltd.; 2018.
18. F Gordo vidal c. delgado arnaiz. lesión pulmonar inducida por la ventilación mecánica . 2019.
19. Arancibia FE. Daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica [Internet]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/266484600>
20. Chen L, Xia HF, Shang Y, Yao SL. Molecular mechanisms of ventilator induced lung injury. Vol. 131, Chinese Medical Journal. Wolters Kluwer Medknow Publications; 2018. p. 1225–31.
21. Bates JHT, Gaver DP, Habashi NM, Nieman GF. Atelectrauma Versus Volutrauma: A Tale of Two Time-Constants. Critical Care Explorations. 2020 Dec 16;2(12):e0299.
22. Tonetti T, Vasques F, Rapetti F, Maiolo G, Collino F, Romitti F, et al. Driving pressure and mechanical power: new targets for VILI prevention. Vol. 5, Annals of Translational Medicine. AME Publishing Company; 2017.
23. Vasques F, Duscio E, Cipulli F, Romitti F, Quintel M, Gattinoni L. Determinants and Prevention of Ventilator-Induced Lung Injury. Vol. 34, Critical Care Clinics. W.B. Saunders; 2018. p. 343–56.
24. Cipulli F, Vasques F, Duscio E, Romitti F, Quintel M, Gattinoni L. Atelectrauma or volutrauma: The dilemma. Vol. 10, Journal of Thoracic Disease. AME Publishing Company; 2018. p. 1258–64.

25. Pintado MC, de Pablo R. Aplicación individualizada de la presión positiva al final de la espiración en pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo. *Medicina Intensiva*. 2018 Nov;38(8):498–501.
26. Collino F, Rapetti F, Vasques F, Maiolo G, Tonetti T, Romitti F, et al. Positive end-expiratory pressure and mechanical power. *Anesthesiology*. 2019 Jan 1;130(1):119–30.
27. Bolívar-Rodríguez MA, Martínez-Nava JC, Pamanes-Lozano A, Cázarez-Aguilar MA, Quiroga-Arias VE, Bolívar-Corona A. Barotrauma and mechanical ventilation in critically ill patients covid-19. *Neumología y Cirugía de Torax(Mexico)*. 2021 Jan 1;80(1):62–7.
28. Diaz R H. Barotrauma Y Ventilación Mecánica. . En: *Stat Pearls StatPearls Publishing, Isla del Tesoro (FL)*. 2021;
29. McGuinness G, Zhan C, Rosenberg N, Azour L, Wikstrom M, Mason DM, et al. Increased incidence of barotrauma in patients with COVID-19 on invasive mechanical ventilation. *Radiology*. 2020 Nov 1;297(2):E252–62.
30. Bermejo Hernández Á, de Fin T, Grado de conocimiento de los enfermeros de la unidad de cuidados intensivos sobre neumonía asociada a la ventilación mecánica y su prevención. 2018.
31. Pierre-Regis Burgel MD, PhD. Transpulmonary Pressure-guided Ventilation to Attenuate Atelectrauma and Hyperinflation in Acute Lung Injury. *Cochin Hospital Assistance Publique Hopitaux de Paris, Paris, France and Institut Cochin, Inserm U1016 Université de Paris, Franc*. 2021;
32. Raquel Perris Iztziar de la Cruz. Efectos de la ventilación mecánica intraoperatoria y la ventilación protectora en el adulto. 2018;
33. Pagán-Aranda Ja, Copa-Córdova L, Miyares-Peña Mv, Espinoza-Rodríguez I, Pérez-Castillo R. Ventilación mecánica protectora perioperatoria: ventilación sin paredes. *Revista Médica Panacea*. 2020 Dec 30;9(3):177–83.
34. Rubén Pérez-Nieto O, Deloya-Tomás E, Manuel Lomelí-Terán J, Pamela Pozos-Cortés K, Monares-Zepeda E, Nicolás Poblano-Morales M, et al. Presión de distensión (driving pressure): Principal objetivo para la protección alveolar [Internet]. Vol. 77, *NCT Revisión Neumol Cir Torax*. 2018. Available from: www.medigraphic.org.mx
35. Zamorano GS, Mendoza MR, del Valle Manzano GS, Penko ZD. REV ELECT ANESTESIAS-VOL 13 (6) :4 Impact of a clinical audit on the improvement of mechanical ventilation for patients admitted to a postoperative care unit. 2019.
36. Ferrer L, Romero D. Capítulo 1 Estado actual de la ventilación protectora. 2020.

+ Publicación Tesina

(Incluido en el precio)

**Máster en laboratorio. Especialista en análisis clínicos**1500
HORAS60
ECTS**+ Publicación Tesina**

(Incluido en el precio)

**Máster en atención de enfermería en las unidades de cuidados intensivos**Universidad
Isabel I1500
HORAS60
ECTS