

VENTILACIÓN MECÁNICA

INTRODUCCIÓN

Desde los primeros pulmones de acero hasta los ventiladores de última generación la evolución tecnológica ha provocado grandes avances tanto en los modos de ventilación como en la monitorización de las variables respiratorias. Todo esto hace que el estudio de la ventilación mecánica se haya convertido en algo complejo apareciendo abundantes manuales y cursos que profundizan de forma diversa en el tema. Sin embargo, las bases fisiopatológicas y los conceptos básicos de funcionamiento de un ventilador no se han modificado y sigue siendo necesario comprenderlos para poder avanzar hasta los aspectos más novedosos. Es en los aspectos básicos donde se va a focalizar el objetivo de este curso.

La ventilación mecánica es un procedimiento de respiración artificial que emplea un aparato mecánico para suplir total o parcialmente la función ventilatoria. Un ventilador es un sistema capaz de generar presión sobre un gas de forma que aparezca un gradiente de presión entre él y el paciente. Por definición la ventilación mecánica actúa de forma contraria a la respiración espontánea, pues mientras ésta genera presiones negativas intratorácicas, la ventilación mecánica suministra aire a los pulmones generando una presión positiva.

No hay que olvidar que la ventilación mecánica no es un tratamiento en sí, sino una técnica de soporte vital que permite mantener la función respiratoria mientras se instauran otros tratamientos curativos.

En dependencia de la interfase que utilizemos para aplicar la ventilación mecánica podemos distinguir dos tipos: invasiva (VMI) si se hace a través de un tubo endotraqueal o de una traqueotomía, o no invasiva (VMNI) si se hace a través de algún tipo de mascarilla.

PRINCIPIOS BÁSICOS

El respirador genera una presión positiva en la vía aérea durante la inspiración a la que se opone la resistencia al flujo aéreo del árbol traqueobronquial y la resistencia elástica del parénquima pulmonar. Se crea un gradiente de presión entre la vía aérea y el alvéolo que desplaza un volumen de gas proporcional al nivel de presión aplicado.

El ciclo respiratorio consta de 3 partes:

- **Insuflación:** el aparato insufla un volumen de aire en el pulmón (volumen corriente) a través de un gradiente de presión. La presión máxima que se alcanza en la vía aérea se llama presión de insuflación o presión pico. El inicio de de la insuflación puede determinarlo el paciente o el respirador.
- **Meseta:** Al terminar la insuflación se mantiene el gas dentro del pulmón durante un tiempo regulable. Este tiempo es la pausa inspiratoria y durante ella el flujo es cero. La presión en la vía aérea en este momento se llama presión meseta y depende de la compliance o distensibilidad pulmonar.
- **Espiración:** es un fenómeno pasivo, causado por la retracción elástica del pulmón insuflado. La presión en la vía aérea desciende hasta cero o puede mantenerse una presión positiva al final de la espiración, lo que se conoce como PEEP.

El respirador ejerce su función a través de tres variables:

1. **Trigger:** responsable de iniciar la inspiración. Puede ser de presión, flujo o tiempo.
2. **Ciclado:** responsable de finalizar la inspiración. Puede ser de volumen, presión, flujo o tiempo.
3. **Límite o control:** responsable de controlar la entrega de gas e interrumpe la inspiración si se alcanza un valor predeterminado de volumen, presión o flujo.

De acuerdo a estas variables hay 4 tipos de respiración:

1. **Controlada:** disparada, limitada y ciclada por el ventilador.
2. **Asistida:** disparada por el paciente y limitada y ciclada por el ventilador.
3. **De soporte:** disparada y ciclada por el paciente y limitada por el ventilador.
4. **Espontánea:** el control de la respiración recae en el paciente.

El ventilador sólo puede controlar de forma directa una variable, la que hemos definido como variable control. Ésta permanecerá constante a pesar de los cambios de resistencia o distensibilidad del sistema. En dependencia de la variable control se distinguen dos tipos de ventilación mecánica:

- **Ventilación controlada por presión:** limitada por presión y ciclada por tiempo. La presión es la variable independiente, mientras que el volumen insuflado y el flujo inspiratorio son cambiantes (variables dependientes).
- **Ventilación controlada por volumen:** La variable de ciclado es el volumen y el flujo controla el ciclo respiratorio, mientras que la presión es la variable dependiente. En realidad es una ventilación controlada por flujo, que es lo que mide directamente el ventilador, mientras que el volumen se obtiene a partir de él ($\text{Flujo} = \text{Vol} / \text{T. insp.}$).

OBJETIVOS E INDICACIONES

Los objetivos de la ventilación mecánica ya se definieron en la Conferencia de Consenso sobre ventilación mecánica del año 1993, que distinguía entre objetivos fisiológicos y objetivos clínicos:

Objetivos fisiológicos:

1. Actuar sobre el intercambio de gases:
 - Proporcionar una ventilación alveolar adecuada.
 - Mejorar la oxigenación arterial.
2. Mantener el volumen pulmonar:
 - Conseguir una capacidad residual adecuada, impidiendo el colapso alveolar.
 - Conseguir una adecuada insuflación pulmonar al final de la inspiración.
3. Reducir el trabajo respiratorio:
 - Descarga de los músculos respiratorios.

Objetivos clínicos:

- Revertir la hipoxemia.
- Corregir la acidosis respiratoria.

- Aliviar la disnea y el esfuerzo respiratorio.
- Prevenir o quitar atelectasias.
- Revertir la fatiga de los músculos respiratorios.
- Permitir la sedación y el bloqueo neuromuscular.
- Disminuir el consumo de oxígeno sistémico o miocárdico.
- Reducir la presión intracraneal.
- Estabilizar la pared torácica.

La indicación de ventilar artificialmente a un paciente es fundamentalmente clínica, basada en la evaluación continuada del mismo y en su evolución. Los parámetros gasométricos o las mediciones relacionadas con la mecánica respiratoria sólo tienen valor orientativo.

Debe considerarse el estado mental (agitación, confusión o estupor), los signos de trabajo respiratorio elevado (taquipnea, tiraje, uso de músculos accesorios), los signos de fatiga de los músculos inspiratorios (respiración paradójica) y el agotamiento general del enfermo. Los parámetros gasométricos que indican hipoxia ($pO_2 < 60$ mmHg o $SO_2 < 90\%$), hipercapnia ($pCO_2 > 50$ mmHg) o acidosis ($pH < 7,25$); y los parámetros objetivos de mecánica pulmonar (capacidad vital forzada < 10 ml/Kg ó P. inspiratoria máxima < 25 cmH₂O) pueden ayudar a decidir la indicación.

PARÁMETROS Y PROGRAMACIÓN DEL RESPIRADOR

En general todos los ventiladores tienen los mismos componentes:

- **Fuente de gas:** Mezcla el aire y el oxígeno y los comprime para crear una presión positiva. La mezcla de gases se hace en función de la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2).
- **Circuitos de conexión:** La tubuladura inspiratoria conduce el gas hasta el paciente y la tubuladura espiratoria recoge el gas espirado por el paciente. Los dos circuitos se unen en una pieza en Y que los conecta al tubo endotraqueal.
- **Válvulas:** Generalmente situadas dentro del ventilador. Hay una válvula inspiratoria y otra espiratoria que impiden que se mezcle el gas insuflado y el espirado.
- **Sistema de control:** Es el sistema electromecánico del ventilador que regula las características del ciclo respiratorio.
- **Sistemas de alarma:** Sistemas de seguridad que alertan ante situaciones potencialmente peligrosas para el paciente. Incluyen sensores de presión o de volumen. Son dispositivos programables acústicos o luminosos.

En la figura 1 se representa el esquema de un respirador.

Todos los ventiladores tienen la posibilidad de programar una serie de funciones básicas para realizar su función:

- **Fracción inspiratoria de oxígeno (FiO_2):** Se ajusta para alcanzar $PaO_2 > 60$ mmHg o $SaO_2 > 90\%$. Inicialmente puede empezarse con FiO_2 de 1 hasta poder hacer controles gasométricos.
- **Frecuencia respiratoria (FR):** Entre 8 y 15 ciclos/minuto. Se ajusta para mantener la pCO_2 adecuada.

- **Volumen corriente** (Vc): es el volumen de gas que insuflamos en cada ciclo. Suele estar en torno a los 8 ml/Kg de peso, pero puede modificarse en dependencia de la patología del enfermo.
- **Trigger**: Puede ser de tiempo, presión o flujo. En el primer caso funciona independientemente del paciente y con los otros dos se puede ajustar la sensibilidad para que el paciente inicie la inspiración.
- **Relación I:E o Tiempo inspiratorio (Ti)**: Se programa el tiempo inspiratorio para obtener una relación inspiración/expiración de 1:2. Esta relación puede modificarse aumentando el tiempo espiratorio en situaciones de obstrucción al flujo aéreo para evitar atrapamiento aéreo, o invirtiendo la relación I:E en el SDRA.
- **Flujo inspiratorio**: El inicial debe estar entre 40-60 l/min aunque en ocasiones puede llegar a 100 l/min. En la ventilación bajo volumen control el flujo se determina a través del Ti y el Vc. Hay ventiladores que permiten elegir diferentes morfologías de la curva de flujo inspiratorio: constante, acelerado, decelerado o sinusoidal .
- **Presiones**: Se puede determinar el nivel de PEEP (presión positiva al final de la expiración) utilizada para disminuir el colapso alveolar y mejorar la oxigenación. En las modalidades de presión control también se determina el nivel de presión de insuflación.
- **Límites de las alarmas**: Pueden ser alarmas de volumen, alarmas de presión o alarmas técnicas que avisen de mal funcionamiento del ventilador.
- **Modo de ventilación**: finalmente se puede elegir el modo de ventilación entre los que vamos a conocer seguidamente.

Existen diferentes modos de ventilación y la elección de uno u otro depende de las características del paciente y de la patología que presenta. En primer lugar hay que determinar si se precisa un soporte ventilatorio total o parcial.

En dependencia del modo de ciclado podemos distinguir entre modos de ventilación controlada (donde el ciclado se hace por tiempo) o modos de respiración asistida, donde el ventilador detecta los esfuerzos del paciente y es él el que determina el inicio de la inspiración. En estos casos se precisa un trigger que puede ser de flujo o de presión.

Por otra parte podemos ventilar por presión o por volumen en dependencia de cuál sea el parámetro control para acabar la insuflación. En general son más utilizadas las modalidades volumétricas.

Distinguiremos entre respiraciones mandatorias u obligatorias y respiraciones espontáneas. En las primeras el respirador entrega el volumen establecido independientemente de los esfuerzos realizados por el paciente mientras que las otras son iniciadas por el paciente.

Vamos a comentar los modos de ventilación más utilizados:

1. **Ventilación controlada**: Se caracteriza porque todas las respiraciones son mandatorias y no existen respiraciones iniciadas por el enfermo. Suele ser necesario sedar al enfermo para evitar la asincronía respirador-paciente.

Puede usarse en volumen control o en presión control. En el primer caso establecemos los parámetros de Volumen corriente, frecuencia respiratoria, relación I:E y FiO₂. En el segundo caso, en vez del Volumen corriente determinamos el nivel de presión de insuflación. En ambos casos podemos aplicar PEEP.
2. **Ventilación asistida/controlada**: En la ventilación asistida el paciente realiza el esfuerzo inspiratorio y el ventilador le asiste insuflando el gas. Si el esfuerzo no es

detectado durante un período de tiempo programado, el respirador inicia un ciclo automáticamente. El ventilador sincroniza el esfuerzo inspiratorio con el inicio del ciclo y puede haber respiraciones mandatorias o asistidas.

Este modo ventilatorio puede realizarse con volumen control o presión control. Será necesario programar, además de los parámetros que hemos visto en CMV, la sensibilidad del trigger. Esta determina el mayor o menor esfuerzo que debe realizar el paciente para activar el mecanismo de disparo.

Este modo de ventilación permite una mayor sincronía entre el paciente y el respirador, reduciendo las necesidades de sedación.

3. **Ventilación con presión de soporte:** En este modo todas las respiraciones son espontáneas. La ventilación está limitada por presión y ciclada por flujo. Los únicos parámetros que programamos son la presión de soporte y la sensibilidad del trigger. Es un método utilizado para destete de la ventilación mecánica. El volumen minuto depende del paciente por lo que hay que realizar una estricta monitorización.
4. **Ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV):** Alterna respiraciones mandatorias con espontáneas del paciente. El ventilador sincroniza las respiraciones mandatorias con los esfuerzos inspiratorios del paciente para no interferir con las respiraciones espontáneas. En las respiraciones espontáneas se puede aplicar presión soporte. Se ajusta el trigger, el Vc y la FR de las respiraciones mandatorias, además del nivel de presión soporte de las espontáneas. Es otro modo de ventilación usado para el destete.
5. **Volumen soporte:** Es un modo de ventilación asistida donde programamos el trigger y el Vc deseado. El enfermo inicia las respiraciones y se completan con la presión necesaria para alcanzar ese Vc. No se programa FR mínima por lo que hay que prestar gran atención a las alarmas. En este tipo de ventilación el ciclado es por flujo.
6. **CPAP** (presión positiva continua en la vía aérea): El enfermo respira espontáneamente pero se le aplica una presión positiva moderada (entre 5-15 cmH₂O) de forma continua en el circuito ventilatorio. Puede aplicarse a través del tubo endotraqueal o con mascarilla. Sus efectos beneficiosos se deben al aumento de la capacidad residual funcional del paciente y a la reducción del trabajo respiratorio. Se indica en las fases iniciales de algunos tipos de insuficiencia respiratoria y como destete de la ventilación mecánica.
7. **BIPAP** (presión positiva en la vía aérea binivel): Se aplica presión positiva en la vía aérea a dos niveles, un nivel en inspiración y otro en espiración. Se suele aplicar en VMNI.
8. **APRV** (ventilación por liberación de presión): Es una ventilación por presión ciclada por tiempo en la que se permite al enfermo efectuar respiraciones espontáneas sin asistencia. Se programan dos grados de presión diferentes sobre intervalos de tiempo muy amplios. El objetivo es mantener el máximo tiempo posible los pulmones insuflados y su uso potencial es en pacientes con SDRA.
9. **PAV** (ventilación proporcional asistida): Es una ventilación por presión ciclada por flujo, que aplica un nivel de presión variable proporcional al esfuerzo realizado por el paciente. El ventilador calcula en cada ciclo respiratorio el trabajo que realiza el paciente y el trabajo total del sistema y ajusta el nivel de presión que ha de proporcionar para mantener constante el trabajo del paciente. Se programa el porcentaje de soporte que debe dar el ventilador al esfuerzo del paciente.

10. **Otros modos:** Existen otros modos ventilatorios como la ventilación pulmonar independiente, la ventilación oscilatoria de alta frecuencia o la ventilación asistida ajustada neuronalmente (NAVA) que pueden usarse en determinadas situaciones.

En la siguiente tabla se repasan las características de los principales modos ventilatorios.

Modalidad	Ajustes	Trigger	Objetivo	Ciclado
CMV	Vc, FR	Ventilador	Volumen	Volumen/Tiempo
ACV	Vc, FR, Trigger	Ventilador/Enfermo	Volumen	Volumen/Tiempo
SIMV	Vc, FR, FR-SIMV	Ventilador/Enfermo	Volumen	Volumen/Tiempo
VS	Vc	Enfermo	Volumen	Volumen
CMP	Presión, FR	Ventilador	Presión	Tiempo
ACP	Presión, FR, Tr.	Ventilador/Enfermo	Presión	Tiempo
PS	Presión	Enfermo	Presión	Tiempo
CPAP	Presión	Enfermo	Presión	Flujo
BPAP	Presión, FR	Enfermo	Presión	Flujo
APRV	Presión, FR	Ventilador/Enfermo	Presión	Tiempo
PAV	Presión	Enfermo	Presión	Flujo

Hay que recordar que mientras en las modalidades controladas por volumen el flujo puede ser constante o decelerante, en las controladas por presión siempre es decelerante.

Las curvas de presión y flujo también son características de cada modo de ventilación, como puede apreciarse en las figuras 2,3,4.

MONITORIZACIÓN

El paciente con ventilación mecánica debe someterse a una vigilancia estrecha que incluye aspectos relacionados con el paciente, con el ventilador y con el intercambio gaseoso.

Respecto al paciente, se registran las constantes vitales (tensión arterial, frecuencia cardiaca, ECG...) de forma periódica. Además hay que comprobar la eficacia de la insuflación pulmonar y el estado de adaptación a la ventilación mecánica (sincronía con el respirador, nivel de sedación...). También es necesario hacer comprobaciones del tubo endotraqueal que incluyen su posición y el inflado del neumotaponamiento.

El intercambio gaseoso se controla por medio de la pulsioximetría continua (SO₂), la capnografía (pCO₂) y con gasometrías arteriales periódicas. De estas extraemos los índices de oxigenación más manejados como la diferencia arterioalveolar de oxígeno y el cociente pO₂/FiO₂.

El seguimiento del ventilador tiene dos aspectos. Por una parte la programación del mismo, comprobando el modo ventilatorio y las variables que se seleccionan (FR, FiO₂, PEEP,...), además del buen funcionamiento de las alarmas. Por otra parte obtendremos

datos de la mecánica respiratoria: volúmenes, presiones en la vía aérea,... En los ventiladores modernos se monitorizan de forma directa parámetros de compliance, resistencias o relacionados con el atrapamiento aéreo como la auto-PEEP.

Sirva como ejemplo la siguiente tabla de problemas frecuentes detectados en relación con el ventilador y sus posibles causas.

VENTILADOR	CAUSAS
Aumento de presión de insuflación	Obstrucción del tubo endotraqueal, broncoespasmo, retención de secreciones, intubación selectiva bronquial, PEEP intrínseca, neumotórax, edema pulmonar,...
Descenso de presión de insuflación	Desconexión del paciente, fuga en el neumotaponamiento,...
Volumen minuto menor del programado	Desconexión del paciente, fuga aérea, sedación excesiva en técnicas de soporte ventilatorio parcial,...
Volumen minuto mayor del programado	Aumento de frecuencia respiratoria en modos asistidos, autodisparo del ventilador,...
Aumento de frecuencia respiratoria	Programación de Vc o flujo inspiratorio bajos, incremento de la demanda ventilatoria, hipoxemia, acidosis metabólica, dolor o ansiedad,...
Mala función del ventilador	Fallo de suministro eléctrico, fallo de fuente de gas, fuga en circuitos, montaje incorrecto, disfunción de la válvula espiratoria o de sensores de flujo o presión,...

COMPLICACIONES DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA

La ventilación mecánica afecta de forma directa al aparato respiratorio pero también va a inducir cambios en el resto de órganos. Las complicaciones también van a estar asociadas a la intubación endotraqueal y a la sedación.

1. **Complicaciones relacionadas con la intubación traqueal:** Durante la intubación se pueden producir lesiones traumáticas en la orofaringe, alteraciones reflejas producidas por la estimulación del sistema nervioso simpático que incluyen broncoespasmo y cambios en el ritmo cardiaco y tensión arterial, además del riesgo de hipoxemia y broncoaspiración de contenido gástrico. Por otra parte el tubo endotraqueal puede migrar provocando intubación selectiva de un bronquio o extubación accidental del paciente. La obstrucción del tubo traqueal es otra posible complicación. Además existe la posibilidad de lesiones locales en tráquea que van desde erosiones hasta fístulas traqueoesofágicas, o granulomas cuando la intubación es prolongada.

2. **Complicaciones pulmonares:** Sabemos que la ventilación mecánica puede provocar o agravar la lesión pulmonar por una serie de mecanismos que se incluyen en el concepto de lesión inducida por el ventilador o VILI (Ventilador Induced Lung Injury). La manifestación más evidente de este cuadro es el barotrauma, que consiste en la fuga extraalveolar de gas secundaria al uso de altas presiones en la vía aérea. En función de donde va el gas podemos encontrar enfisema intersticial, enfisema subcutáneo, enfisema mediastínico, neumopericardio, neumoperitoneo o neumotórax. Los factores de riesgo que se asocian con esta complicación son determinadas patologías de base como el asma bronquial y el mantenimiento de Presiones meseta por encima de 35 cmH₂O.

La lesión inducida por el ventilador también incluye otros mecanismos de lesión:

- **Volutrauma:** Lesión similar al SDRA causada por el uso de volúmenes corrientes elevados que provocan sobredistensión de regiones pulmonares y lesiones estructurales a nivel de la membrana alveolo-capilar.
- **Atelectrauma:** El uso de volúmenes pulmonares bajos o niveles de PEEP bajos puede inducir lesión pulmonar al crearse áreas de colapso alveolar.
- **Biotrauma:** La ventilación mecánica puede inducir y mantener una respuesta inflamatoria a nivel local e incluso sistémico cuando los mediadores rompen la membrana alveolo-capilar y pasan a la sangre.

Otro factor perjudicial es la toxicidad por oxígeno, habiéndose demostrado que el uso de concentraciones elevadas de oxígeno producen radicales libres que puede causar alteraciones de la membrana alveolo-capilar similares a la lesión pulmonar aguda. Se recomienda usar FiO₂ inferiores a 0'6.

3. **Complicaciones hemodinámicas:** Las alteraciones hemodinámicas son consecuencia de la presión positiva intratorácica que causa la ventilación mecánica. Esto provoca una disminución del retorno venoso y del llenado del ventrículo derecho y por tanto disminuyen la precarga y el gasto cardíaco del ventrículo derecho. Además aumentan las resistencias vasculares pulmonares incrementándose la postcarga del ventrículo derecho que puede dilatarse desplazando el septo interventricular a la izquierda, lo que afecta al gasto cardíaco del ventrículo izquierdo. El resultado final es una reducción del gasto cardíaco que puede provocar hipotensión, más acentuada en pacientes hipovolémicos.
4. **Complicaciones renales:** La ventilación mecánica es un factor de riesgo independiente para insuficiencia renal aguda. Probablemente la causa sea la disminución del flujo sanguíneo renal por el descenso del gasto cardíaco.
5. **Complicaciones gastrointestinales:** La disminución de la perfusión también afecta a las vísceras abdominales. Está aumentado el riesgo de úlcera de stress en la mucosa gastroduodenal y puede haber cierto grado de disfunción hepática. Por otra parte la deglución de aire puede causar distensión gástrica. El uso de sedantes y relajantes musculares causa hipomotilidad intestinal dificultando la nutrición por vía digestiva.
6. **Complicaciones neurológicas:** El uso de presión positiva produce un aumento de la presión intracraneal, que debe tenerse en cuenta sobre todo en pacientes con traumatismo craneoencefálico. Además es frecuente la aparición de enfermedad neuromuscular (polineuropatía o miopatía) en enfermos con ventilación mecánica prolongada que requieren fármacos como corticoides o relajantes musculares y que deben estar inmovilizados.
7. **Complicaciones infecciosas:** Está aumentado el riesgo de algunas infecciones como neumonía, traqueobronquitis o sinusitis.

8. **Otras complicaciones:** En algunos estudios se ha relacionado la ventilación mecánica con alteraciones psicológicas como ansiedad, depresión o delirio. Entre los factores que influyen están la privación de sueño, el dolor, la dificultad para comunicarse o el uso de determinados fármacos. También se han descrito secuelas morfofuncionales pulmonares tardías, aunque suelen ser leves.

DESTETE DE LA VENTILACION MECÁNICA

Se conoce como destete o "weaning" al proceso por el que se reduce de forma progresiva el soporte que el enfermo recibe del ventilador hasta poder retirar la ventilación mecánica. El último paso es la extubación que consiste en la retirada del tubo endotraqueal.

Para poder retirar la ventilación mecánica el enfermo debe demostrar que tiene un nivel de capacidad respiratoria suficiente. Esto incluye al intercambio gaseoso y a la ventilación. El intercambio gaseoso correcto lo valoramos a través de índices de oxigenación: $pO_2/FiO_2 > 200$, $D(A-a)O_2 < 350$, $pO_2 > 60$ mmHg con $FiO_2 < 0.4$. Numerosos parámetros se han estudiado para determinar si la ventilación espontánea es correcta y permite el destete, aunque ninguno ha mostrado suficiente especificidad por sí solo. Unos hacen referencia a la capacidad de la musculatura respiratoria (Presión inspiratoria máxima, Presión de oclusión de la vía aérea,...) mientras otros analizan el patrón respiratorio (Índice de Tobin, Volumen minuto, frecuencia respiratoria,..). En la siguiente tabla se exponen algunos de estos criterios con los valores que se demandan para poder retirar la ventilación mecánica.

PARÁMETROS	VALORES
pO_2 ; $FiO_2 < 0.4$	> 60 mmHg
$D(A-a)O_2$	< 300 mmHg
pO_2/FiO_2	> 200 mmHg
Q_s/Q_t (shunt)	$< 20\%$
V_d/V_c (espacio muerto)	< 0.6
Volumen circulante	> 5 ml/Kg
Capacidad vital	> 10 ml/Kg
Frecuencia respiratoria	< 35 resp/min
Volumen minuto	5-10 l/min
Compliance pulmonar	> 25 ml/cmH ₂ O
Trabajo respiratorio	< 7.5 Jul/l
Presión inspiratoria máxima	> -20 cmH ₂ O
Presión de oclusión (P _{0'1})	< 6 cmH ₂ O
Índice de Tobin (FR/V _c)	< 80

Además de los criterios respiratorios es necesario que el paciente reúna otras condiciones: estabilidad hemodinámica, ausencia de fiebre elevada, cifras de Hb por encima de 9-10 mg/dl, nivel de conciencia adecuado (Glasgow por encima de 8). Además debe plantearse si el paciente va a ser capaz de respirar sin el tubo endotraqueal valorando que la vía aérea esté permeable, que se mantenga la capacidad tusígena y las secreciones no sean muy abundantes. Hay que tener en cuenta que el fracaso del destete y la necesidad de reintubación aumenta el riesgo de mortalidad.

En general se utilizan dos métodos de destete: la ventilación espontánea monitorizada a través de un tubo en T (aplicar oxígeno al tubo endotraqueal) o aplicando un soporte ventilatorio mínimo: CPAP, Presión soporte o SIMV. Ninguno de los métodos parece repercutir en el resultado. Cuando se han realizado estudios comparativos entre ellos no se han apreciado diferencias entre PS o tubo en T. Otros métodos como el SIMV han mostrado ser más lentos.

Cuando usamos tubo en T se puede hacer un destete rápido en pacientes con poco tiempo de ventilación mecánica manteniendo la ventilación espontánea durante 30 minutos a 2 horas antes de extubarle. En casos de ventilación mecánica prolongada se hace un destete gradual alternando períodos de ventilación mecánica y períodos de respiración espontánea. Cuando usamos Presión soporte se va reduciendo progresivamente la presión de 2 en 2 cmH₂O hasta alcanzar niveles de 5-7 cmH₂O.

En caso de fracaso del destete se vuelve al nivel de soporte previo. Son criterios clínicos de fracaso del destete: desaturación, taquipnea, taquicardia o bradicardia, hipo o hipertensión, respiración paradójica, sudoración, agitación o disminución del nivel de conciencia. Cuando se alarga en el tiempo el destete y pensamos que el paciente va a necesitar de forma prolongada la ventilación mecánica es necesario realizar una traqueotomía tanto para evitar lesiones traqueales por el neumotapón como para acortar la retirada del soporte respiratorio. En las diferentes series la mediana del tiempo en que se realiza es de 12 días.

No está claro todavía el papel que puede desempeñar la VMNI como método de destete de la VMI aunque parece haber buenos resultados en pacientes con EPOC.

VENTILACIÓN MECÁNICA NO INVASIVA (VMNI)

Los principios básicos de la VMNI son los mismos que los de la VMI, ya que es un soporte ventilatorio que va a generar una presión positiva intratorácica. La diferencia es que en vez de precisar una interfase invasiva entre el ventilador y el paciente, bien tubo endotraqueal o bien traqueostomía, la VMNI utiliza interfases no invasivas, mascarillas. Esto aporta algunas ventajas relacionadas con la menor necesidad de sedación, la disminución de lesiones en la vía aérea causadas por el tubo endotraqueal y la menor incidencia de infecciones, sobre todo neumonías.

Se han fabricado diferentes tipos de interfase buscando una mejor adaptación y mayor comodidad del paciente. Hay nasales, nasobucales, fáciles y tipo casco. Cada tipo tiene ventajas y desventajas. Así, las nasales se toleran bien pero puede haber fuga aérea importante por la boca, mientras las de tipo casco son más ruidosas y pueden favorecer la retención de CO₂. En la figura 5 se aprecian algunos tipos de mascarilla.

Se pueden utilizar ventiladores específicos para VMNI o ventiladores convencionales de los usados en VMI. En el primer caso la conexión a la mascarilla es con una sola tubuladura y necesitan una válvula espiratoria cerca de la mascarilla para no reinhalar el aire espirado. Esta no es necesaria en los convencionales por tener tubuladuras diferentes para el aire insuflado y el espirado.

Se pueden usar la mayoría de los modos ventilatorios que hemos visto como presión soporte, ventilación proporcional asistida o modalidades asistidas/controladas por volumen o presión. Sin embargo los dos modos que se usan fundamentalmente son CPAP y BIPAP. En BIPAP se programa la presión inspiratoria (IPAP), la presión espiratoria (EPAP) y la FiO₂.

Una vez iniciada la VMNI debe apreciarse una mejoría del paciente en las dos horas siguientes o si no hay que intubarle y pasar a VMI. Los pacientes en que fracasa la VMNI tienen mayor mortalidad en relación con los que se inicia directamente la VMI.

El destete se realiza disminuyendo progresivamente las presiones o suspendiendo la VMNI durante algunos períodos.

Existen indicaciones bien establecidas y otras más controvertidas para usar esta modalidad de ventilación. En general estaría justificada en pacientes que no requieren intubación urgente, que no tienen contraindicaciones para su uso y que su patología pueda mejorar con ella. Suelen responder mejor los pacientes más jóvenes, menos graves, con buen nivel de conciencia y que cooperen.

Hay dos indicaciones bien establecidas:

- **Pacientes con EPOC agudizada que retienen CO₂:** Los estudios publicados demuestran que la VMNI disminuye el riesgo de muerte e intubación, además de reducir la estancia hospitalaria. La VMNI actúa disminuyendo el trabajo respiratorio, haciendo más eficaz el patrón ventilatorio y corrigiendo la hipercapnia.
- **Edema pulmonar cardiogénico:** Se ha publicado que la VMNI reduce el tiempo de resolución y la necesidad de intubación. Sus efectos beneficiosos son la reducción de la precarga y postcarga cardiaca, además de disminuir el trabajo respiratorio y aumentar la capacidad residual funcional pulmonar.

Existen evidencias de que puede ser útil en otras situaciones como: síndrome obesidad-hipoventilación, postoperatorios de cirugía general o torácica, prevención del fracaso de extubación en pacientes con EPOC, infiltrados pulmonares en inmunodeprimidos...

El uso de la VMNI en pacientes con insuficiencia respiratoria hipoxémica grave sin hipercapnia es controvertido y no hay evidencias suficientes para usarla en patologías como el SDRA o la fibrosis pulmonar.

Las contraindicaciones absolutas son la parada cardiorespiratoria o la necesidad de intubación urgente. Son contraindicaciones relativas: falta de colaboración, incapacidad para proteger la vía aérea o para eliminar secreciones, bajo nivel de conciencia, obstrucción de la vía aérea, alteraciones faciales que dificulten el uso de máscaras, hemorragia digestiva alta, riesgo elevado de aspiración gástrica, inestabilidad hemodinámica grave o situaciones de fracaso multiorgánico.

Las complicaciones suelen ser locales: lesiones cutáneas, irritación ocular, distensión gástrica. La presión positiva intratorácica da menos problemas que con la VMI.