

# 16

## VENTILACIÓN DURANTE EL TRASLADO AÉREO

TOMÁS IOLSTER Y ALEJANDRO SIABA SERRATE

### OBJETIVOS

- Conocer los diferentes tipos de transporte.
- Conocer los diferentes tipos de aeronaves.
- Describir los diferentes factores que afectan el traslado aéreo.
- Repasar las indicaciones y contraindicaciones del traslado aéreo.
- Conocer los diferentes tipos de soporte de oxígeno y calcular sus requerimientos y duración.

### CASO CLÍNICO

Paciente de 6 años, sana hasta el momento en que presenta episodio de shock séptico secundario a infección por *Staphylococcus aureus*. Se decide colocar en asistencia ventilatoria mecánica (AVM) con parámetros de ventilador elevados y altos requerimientos de fármacos inotrópicos. La paciente evoluciona en forma desfavorable con síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) grave con un neumotórax pequeño de grado 1. La familia y los médicos deciden pedir su derivación a un centro de mayor complejidad para su diagnóstico y tratamiento, que se encuentra a una distancia de 4.562 km de la institución de referencia.

¿Se puede trasladar a la paciente?

¿Qué tipo de traslado es el indicado?

¿Qué estudios de laboratorio, de imágenes o ambos pediría y por qué?

¿Qué factores tendría en cuenta antes del traslado aéreo?

### INTRODUCCIÓN

El traslado aéreo es un complemento indispensable para poder tratar a niños críticamente enfermos en centros especializados sin importar la distancia a la que se encuentren. El traslado

entre hospitales distantes para acceder a terapéuticas especializadas o el traslado rápido desde sitios de accidentes para lograr la estabilidad dentro de la “hora de oro” son ejemplos en los que los vehículos aéreos tienen claras ventajas con relación a los terrestres.



Los traslados aéreos tienen características que son únicas y que deben ser bien conocidas por los miembros del equipo de transporte. Las dos mayores implicancias clínicas son la hipoxia y la expansión de gases; sin embargo, los ruidos, las vibraciones, los cambios de humedad y de temperatura también pueden tener impacto sobre la condición de pacientes críticos.

El objetivo de todo traslado debe ser ofrecer la misma calidad de atención que en la unidad de cuidados intensivos. Esto significa que es esencial contar con el soporte ventilatorio y farmacológico adecuados, además de una monitorización óptima; pero, sobre todo, es necesario contar con personal idóneo con experiencia en la manipulación del equipamiento portátil y conocimientos de las complicaciones relacionadas con la altura.

Hay diversos motivos por los cuales un paciente que requiere ventilación mecánica necesita un traslado aéreo. Por desgracia, en la cabina de una aeronave no se pueden duplicar las modalidades diagnósticas y terapéuticas presentes en centros de complejidad de tercer nivel. Sin embargo, una planificación meticulosa previa al traslado, en la que se prevean posibles complicaciones, contribuirá a una misión exitosa.

## TIPOS DE TRASLADO

### Traslado primario

Es el traslado desde un lugar de emergencia (p. ej., la escena de un accidente) hacia un centro asistencial que cuente con los medios necesarios para el tratamiento inicial del paciente. Se realiza lo más rápido posible; el tiempo de permanencia en la escena debe ser el mínimo necesario para realizar las maniobras de estabilización básicas. En pacientes con indicación de control de la vía aérea, la intubación endotraqueal se debe realizar en la escena debido a que en la aeronave el procedimiento será más dificultoso. Además se deberán colocar los accesos venosos y, si hay signos de neumotórax, se deberá drenar antes del traslado. En los pacientes politraumatizados, además del reconocimiento primario se deberá hacer una evaluación secundaria rápida para reconocer lesiones graves que puedan complicar el traslado. El medio de transporte aéreo ideal para este tipo de situaciones es el helicóptero.

### Traslado secundario

Implica el traslado entre hospitales, en general de un centro de menor complejidad a uno de atención terciaria. Es la situación más frecuente en la que se utiliza ventilación mecánica durante los traslados aéreos. La regla es la estabilización del paciente y una preparación meticulosa previa a la salida para enfrentar cualquier situación adversa. Se deben conocer bien las posibles complicaciones durante el vuelo y el tiempo de duración del transporte, incluido el traslado terrestre cuando este sea necesario. La sincronización y la comunicación adecuadas son necesarias para evitar exponer al paciente a demoras indeseadas.

## TIPO DE AERONAVE

Durante un traslado aéreo se pueden utilizar los siguientes medios:

### Aviones

#### Presurizados

La presión barométrica en el interior de la aeronave es constante a pesar de los cambios de altura. Según el grado de presurización, equivale a alturas que por lo general son menores de 2.500 metros. Los aviones presurizados tienen la ventaja de poder ascender a alturas mayores y, por lo tanto, ser menos afectados por las condiciones climáticas dado que pueden sobrevolar áreas de turbulencia o tormentas. Además, una altura mayor permite optimizar el consumo de combustible y aumentar la autonomía de la aeronave.



Es el medio de transporte ideal para traslados de pacientes críticos a larga distancia. Los aviones sanitarios con frecuencia pueden modificar la presurización de la cabina para satisfacer las necesidades del paciente. Tienen la desventaja de requerir aeropuertos fijos.

#### No presurizados

La presión atmosférica desciende a medida que la aeronave gana altura. Por lo general no superan los 3.200 m de altura y, por ello, requieren buenas condiciones climáticas para el vuelo. La utilización de este tipo de aviones para trasladar pacientes críticos es más limitada debido a que la restricción de altura puede prolongar la duración del vuelo y la turbulencia, que es más frecuente a bajas alturas, lo que incrementa la incomodidad, el dolor y la posibilidad de complicaciones. Los aviones livianos de este grupo tienen la ventaja de poder tomar tierra en espacios cortos; esto permite mayor accesibilidad a sitios remotos sin aeropuertos fijos, aunque siempre requieren pista de aterrizaje.

### Helicópteros

Los helicópteros no están presurizados. Habitualmente se los utiliza para cubrir distancias de entre 50 y 300 km. Su capacidad de maniobra, versatilidad, acceso a zonas restringidas e independencia de aeropuertos, los convierten en un medio de transporte muy útil. Su mayor limitación son las condiciones meteorológicas adversas. Por otro lado, la mayoría de los helicópteros no está preparada para realizar vuelos nocturnos.



El tiempo que se requiere para organizar el traslado en helicóptero, el sitio de aterrizaje y su costo elevado son condiciones que se deben tener en cuenta al momento de elegir entre este medio de transporte y el terrestre.

## AMBIENTE DEL TRASLADO

Durante el transporte de paciente críticos, el equipo de salud debe lidiar con numerosas circunstancias que complicarán la difícil tarea de ofrecer un estándar de calidad similar al de la unidad de cuidados intensivos. En los traslados aéreos influyen los efectos de la altura sobre el paciente y el equipamiento, las situaciones de estrés a las que están sometidos la tripulación y el

paciente, además de la imposibilidad de detenerse en caso de complicaciones. La hipoxia, la expansión de los gases, los cambios de temperatura y humedad, y las fuerzas gravitatorias son características únicas del traslado aéreo.

Un ambiente de tamaño reducido, además de generar incomodidad física, restringe el acceso al paciente que, de por sí, se puede encontrar limitado por los cobertores, cintas de sujeción o por estar dentro de una incubadora. Por otro lado, la falta de espacio obliga a organizar la disposición del equipamiento en forma tal que esté fácilmente disponible e identificable para su acceso rápido.

Durante el vuelo, las situaciones de turbulencia pueden generar temor en el equipo de salud, lo que reduce su capacidad de concentración sobre el paciente y, en individuos susceptibles, puede generar náuseas y vómitos. Pueden además producir desplazamientos del paciente e incrementar la dificultad para moverse dentro de la cabina.

Las vibraciones, además de ser causa de incomodidad y desadaptación del paciente, pueden ser irritantes para el personal de salud y predisponer a la fatiga. A su vez, dificultan los procedimientos y favorecen el desprendimiento de piezas del equipo o desconexiones de la AVM, vías intravenosas, sensores o electrodos. La monitorización también se afecta con las vibraciones: se puede perder la onda de saturimetría o el registro del ECG. Si bien las vibraciones no se pueden eliminar, se puede minimizar su impacto sobre el paciente utilizando colchones y reduciendo el contacto con los paneles laterales.

El ruido, sobre todo durante el traslado en helicópteros, puede impedir la comunicación adecuada entre los miembros del equipo, interferir con la auscultación u ocultar el sonido de alarmas, de pérdida de gases o fallas en el ventilador. Para optimizar la comodidad del paciente en situaciones de ruido excesivo, se puede utilizar protección auditiva externa, teniendo el cuidado de no generar bolsillos aéreos cerrados en los conductos auditivos.

La temperatura exterior desciende con la altura aproximadamente 2 °C cada 300 metros. Si bien la temperatura es controlada por la tripulación, en modelos de aviones no presurizados o en helicópteros, el control de esta puede ser inadecuado. Además, durante el traslado hasta la aeronave o en el destino final, el paciente puede estar expuesto a bajas temperaturas. Es necesario contar con el equipo necesario (p. ej., incubadoras, colchones térmicos, mantas) para evitar la hipotermia, en particular durante el traslado de lactantes y neonatos. Asimismo, el personal de traslado debe contar con ropa de abrigo.

La humedad del aire ambiente también puede modificarse durante los vuelos. A mayor altura, el aire exterior que se utiliza para presurizar la cabina contiene menos humedad y, por lo tanto, el aire en el interior será más seco. Esto puede causar irritación de mucosas y el secado o espesamiento de las secreciones bronquiales, lo que puede favorecer obstrucciones del tubo endotraqueal (TET).

En general, la iluminación del habitáculo no es óptima, o incluso puede no haber luz durante vuelos nocturnos. Esto impide un control adecuado del paciente y dificulta los procedimientos. El equipo de salud debe contar con linternas (idealmente frontoluces, para liberar las manos) y baterías de repuesto.

La aceleración y la desaceleración no suelen tener impacto de significancia durante los traslados aéreos, a excepción de las maniobras de despegue y aterrizaje, durante las cuales debe asegurarse la adecuada sujeción del equipamiento, el paciente y el personal.

Los sistemas eléctricos pueden variar mucho según el tipo de aeronave. En las aeronaves pequeñas, es menos frecuente la corriente de 12 V directa y es más habitual la corriente de

24-48 V directa, mientras que en las aeronaves grandes la corriente puede ser de hasta 115 V alterna (400 Hz). El equipamiento eléctrico no debe producir interferencia sobre los sistemas de navegación de la nave.

## FISIOLOGÍA



La fisiología durante los vuelos aéreos depende de las leyes físicas relacionadas con cambios en la presión y volumen que se producen con la altura. Las consecuencias más negativas son la hipoxia y la expansión de gases.

## Hipoxia



A medida que se asciende, a pesar de que la composición relativa del aire permanece constante, la presión barométrica disminuye y, por lo tanto, la presión parcial de cada componente gaseoso del aire decrece de manera proporcional (ley de Dalton).

$$P_{iO_2} = P_B \times 0,21$$

( $P_{iO_2}$ : presión inspirada de oxígeno;  $P_B$ : presión barométrica)

En la práctica, esto implica que con la altura hay menos moléculas de oxígeno disponibles por volumen de aire inspirado porque estas se dispersan. La hipoxia consecuente es la mayor causa de estrés fisiológico en la altura debido a que lograr una cabina totalmente aislada del exterior es casi imposible. Las aeronaves que se desplazan a alturas mayores de 3.000-3.200 m suelen presurizar el aire ambiente para lograr una distribución gaseosa más fisiológica. Por lo general, las cabinas se presurizan a un equivalente de entre 1.500 m (alrededor de 5.000 pies) y 2.500 m (alrededor de 8.200 pies) de altura. Para lograr esto, si por ejemplo la altitud de vuelo es de 10.660 m (35.000 pies) donde la presión atmosférica es de 176 mm Hg, el compresor deberá agregar 445 mm Hg para lograr una presión de 620 mm Hg, equivalente aproximadamente a 1.500 m de altura. De esta manera, la  $PO_2$  alveolar será de alrededor de 80 mm Hg. Si se asume que la curva de disociación de la hemoglobina es normal, la saturación sanguínea de oxígeno será mayor del 90% hasta alrededor de los 3.500 m de altura respirando aire ambiente. Dado que la presurización de las cabinas será por lo general a un equivalente de altura menor de los 2.500 m y las aeronaves no presurizadas suelen volar a alturas inferiores a los 3.200 m, el paciente sin compromiso respiratorio no corre riesgo de hipoxemia. Sin embargo, en pacientes con enfermedad alvéolo-capilar, hipoventilación, cortocircuitos o defectos de la ventilación/perfusión, estas alturas pueden agravar la hipoxemia en la medida en que el paciente no reciba aporte adicional de oxígeno. En las aeronaves no presurizadas, la hipoxemia en estas patologías empeora de manera progresiva con el ascenso, mientras que en las presurizadas el grado de hipoxemia depende del nivel de presurización y suele ser de poca magnitud. Sin embargo, la situación más crítica de hipoxemia se relaciona con la despresurización de la cabina, que puede ser repentina o progresiva. Si la pérdida de presurización es completa, a una altura de 6.000 m, la saturación de oxígeno en sangre será de alrededor del 68% respirando aire ambiente y disminuirá de manera progresiva a mayor altura (cuadro 16-1).

**CUADRO 16-1.** EFECTOS DE LOS CAMBIOS DE ALTURA SOBRE LA PRESIÓN BAROMÉTRICA, LA PRESIÓN ALVEOLAR DE OXÍGENO Y LA SATURACIÓN. VALORES APROXIMADOS.

Altura (m)	Presión barométrica (mm Hg)	Presión alveolar de O <sub>2</sub> (mm Hg)	SaO <sub>2</sub> (%)
0	760	100	97
1.500	640	80	96
3.000	540	60	92
4.500	450	45	80
6.000	370	38	67
9.000	250	21	45

## Expansión de gases



La ley de Boyle establece que, a temperatura constante, el cambio en volumen de un gas es inversamente proporcional al cambio de presión del gas.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

P<sub>1</sub> = presión a altitud 1; V<sub>1</sub> = volumen a altitud 1; P<sub>2</sub> = presión a altitud 2; V<sub>2</sub> = volumen a altitud 2

Por lo tanto, a medida que la altura se incrementa, la presión disminuye y los gases se expanden. Esto explica las molestias en los oídos, senos, dientes o intestino a medida que se asciende en una aeronave. A una altura de 2.500 m, un gas se expandirá 1,35 veces con relación al volumen que tiene al nivel del mar, mientras que a una altura de 10.000 m el volumen del gas se expandirá cuatro veces. Las cavidades aéreas cerradas dentro del organismo sufrirán estas expansiones; por lo tanto, un neumotórax se puede tornar hipertensivo, una bulla se puede agrandar o romper, el neumoencéfalo puede agrandarse y producir hipertensión intracraneana, y ante casos de obstrucción intestinal, la expansión del aire intraabdominal puede producir distensión gástrica con compromiso respiratorio de tipo restrictivo. Por otro lado, el gas contenido en el equipamiento médico también se expandirá, lo que puede producir complicaciones. En pacientes ventilados, la expansión del manguito del TET puede producir daño en las paredes traqueales si no se resuelve a tiempo.

## INDICACIONES

La indicación más frecuente para los traslados aéreos suelen ser las grandes distancias. Para estas situaciones, los aviones tienen la ventaja obvia de la velocidad y una mayor autonomía. Sin embargo, la indicación del traslado no debe depender solamente de los kilómetros a recorrer

sino de la velocidad requerida. Situaciones de extrema urgencia en una ciudad congestionada, en la que un helicóptero puede acceder con facilidad tanto al centro al que se derivará al paciente como del que será derivado, podría ser un ejemplo de una indicación para un traslado aéreo de corta distancia. Del mismo modo, en áreas rurales o montañosas con caminos difíciles de transitar, o donde la habilidad de realizar despegues o aterrizaje verticales sean necesarios, el traslado en helicóptero es una opción aunque las distancias sean cortas.

Las demoras en la disponibilidad de una aeronave o de la tripulación y las condiciones climáticas son factores a tener en cuenta ante la elección del tipo de transporte, y hacen que en oportunidades el traslado terrestre termine siendo más veloz para distancias intermedias. Otro factor a considerar es que durante los traslados en aviones se deben realizar por lo menos cuatro movimientos del paciente. Con relación a las distancias, por lo general se utilizan helicópteros cuando la distancia es entre los 50 y 200-300 km, según la autonomía, mientras que se emplean aviones cuando las distancias son mayores.



Las contraindicaciones absolutas para el traslado aéreo son neumocéfalos y neumotórax no drenado. También hay contraindicaciones relativas, como estatus convulsivo, infarto agudo de miocardio inestable, hemorragia aguda activa, hipoxemia refractaria, entre otros. Hay que tener en cuenta que, una vez estabilizados y compensados, se podrá trasladar a estos pacientes.

## EQUIPAMIENTO PORTÁTIL

Los traslados en general, y el traslado aéreo en particular, someten al equipamiento portátil a situaciones de estrés que pueden llevar al mal funcionamiento. Por otro lado, el equipamiento puede interferir en los sistemas eléctricos de la aeronave. Los ventiladores están sometidos a cambios de presión, cambios de volúmenes de aire, vibraciones y golpes, ya sea por caídas o desplazamientos. El ventilador ideal, además de poder administrar los modos ventilatorios necesarios, debe ser robusto, liviano, fácil de manipular, y debe poder funcionar con baterías. Debe tener capacidad de monitorización de volumen corriente, volumen minuto y presiones, además de tener alarmas de desconexión, exceso de volumen o de presión.

El monitor multiparamétrico también debe ser capaz de soportar las circunstancias mencionadas. Debe contar con ECG, saturometría, temperatura y medición invasiva de la presión arterial. Además, todo paciente ventilado debería contar con monitorización de CO<sub>2</sub> espirado que, además de contribuir a optimizar la ventilación, puede alertar sobre complicaciones, como el desplazamiento u oclusión del TET. Las alarmas deben ser visibles además de audibles debido a la interferencia auditiva, en particular durante los traslados en helicóptero.

Se debe contar además con desfibrilador, bombas de jeringa equipadas con baterías y equipamiento de aspiración que también pueda funcionar con baterías, además de un aspirador manual como soporte. Colchones o mantas térmicas, incubadoras de transporte para los neonatos o lactantes pequeños y colchones moldeables con vacío son otros elementos que contribuyen al éxito del traslado.

Es esencial comprobar la carga adecuada de las baterías de todo el equipo antes de su utilización. Durante la estabilización del paciente en el centro desde el cual se deriva, el equipo debe ser conectado a la corriente de pared para no consumir baterías. Por otro lado, antes de salir a buscar un paciente, se debe probar el equipo para constatar su funcionamiento adecuado. El ventilador debe armarse y debe ser puesto en funcionamiento, descartando pérdidas y otros des-

perfectos. En los casos en que la válvula de presión positiva de fin de espiración (PEEP) sea externa, se debe asegurar que esté fijada al equipo de manera adecuada. Debe recordarse que la mayoría de las fallas del equipo, una vez iniciado el transporte, no se podrán solucionar. Otros elementos esenciales son la bolsa de resucitación autoinflable, máscaras de varios tamaños, laringoscopio con baterías cargadas, linternas, cintas, tijeras y fármacos apropiados (cuadro 16-2).



Los miembros del equipo de traslado deben estar bien familiarizados con el equipamiento, con los fármacos, con su disposición dentro de la aeronave y con la habilitación correspondiente de acuerdo con el INMAE (Instituto Nacional De Medicina Aeroespacial).

## SISTEMAS DE SOPORTE

### Oxígeno

Es el principal soporte durante el traslado de pacientes que reciben AVM y debe utilizarse en forma eficiente para maximizar su duración. Quedarse sin oxígeno en el aire siempre implica una catástrofe. Durante la planificación del traslado se deben calcular las reservas de oxígeno, considerando no solo la duración esperada del traslado, sino también probables demoras, ya sean antes, después o durante el vuelo.

Las opciones para la administración de oxígeno incluyen:

- Oxígeno comprimido.
- Oxígeno líquido.
- Sistemas de generación de oxígeno en la aeronave.

El más utilizado es el oxígeno gaseoso comprimido, que por lo general está contenido en un cilindro. La mayoría de las aeronaves utilizadas para transporte cuentan con tubos grandes ins-

#### CUADRO 16-2. EQUIPAMIENTO BÁSICO

- Ventilador mecánico
- Monitorización de ECG
- Oxímetro de pulso
- Monitorización de CO<sub>2</sub> espirado
- TA no invasiva/invasiva
- Desfibrilador
- Incubadora de traslado (neonatos o lactantes pequeños)
- Bombas de infusión de jeringa
- Aspirador portátil
- Colchón térmico
- Colchón moldeable por vacío
- Analizador de gases portátil
- Linternas
- Baterías de repuesto

talados en las cabinas. Siempre se debe contar además con tubos portátiles para el traslado hasta la aeronave y desde esta. Todos los cilindros deben ser controlados para asegurar la carga adecuada. Aunque los cilindros no se hayan utilizado desde la última carga puede haber pérdidas que contribuyan a su vaciado.

Para calcular la cantidad de tanques de aire comprimido se debe tener en cuenta el flujo de oxígeno requerido (de acuerdo con el ventilador utilizado) y el tiempo de vuelo.

### Cálculo del requerimiento de oxígeno a diferentes alturas:

$$FiO_{2(a)} = FiO_2 \times PB_1 / PB_2$$

$FiO_2$ : fracción inspirada de oxígeno que requiere el paciente;  $PB_1$ : presión barométrica en el sitio donde se encuentra el paciente;  $PB_2$ : presión barométrica esperable durante el vuelo (según el grado de presurización de la cabina);  $FiO_{2(a)}$ : fracción inspirada de oxígeno requerida a la altura de vuelo.

Por ejemplo: paciente que recibe  $FiO_2$  de 0,5 que se trasladará entre dos sitios al nivel del mar en una aeronave con cabina presurizada a un equivalente de 2.000 m de altura.

$$0,5 \times 760/600 = 0,63$$

En la medida en que el paciente se mantenga estable desde el punto de vista respiratorio, deberá recibir una  $FiO_2$  de 0,63 durante el vuelo.

### Cálculo de las reservas necesarias de oxígeno

La duración de un cilindro de oxígeno dependerá de su tamaño y del factor de tanque. Los diferentes tipos de cilindros se describen en el cuadro 16-3.

¿Cómo sabemos cuánto oxígeno llevamos?

Se llega al resultado haciendo un cálculo sencillo:

$$\text{Capacidad en litros} = \frac{\text{Presión de manómetro (PSI)} \times \text{Capacidad de cilindro a carga máxima (litros)}}{\text{Presión máxima del cilindro}}$$

$$\text{Hay que recordar que llamamos factor de tanque a: } \frac{\text{Capacidad de cilindro a carga máxima}}{\text{Presión máxima del cilindro}}$$

Por lo tanto, la fórmula sería:

$$\text{Capacidad en litros} = \text{presión de manómetro (PSI)} \times \text{Factor de tanque}$$

Por ejemplo, el tubo M tiene un factor de tanque de 1,56 y la presión del manómetro marca 1.300 PSI, por lo cual, reemplazando la fórmula tenemos:  $1,3 \times 1,56 = 2,028$  litros.

Una vez conocida la cantidad de oxígeno en litros, debemos preguntarnos: ¿cuánto oxígeno va a consumir este paciente? ¿Podemos saberlo sobre la base de un cálculo teórico? ¿Cuánto consume un adulto normal?

Un adulto normal tiene un volumen corriente de 500 mL y una frecuencia respiratoria (FR) aproximada de 14 ciclos por minuto, por lo cual su volumen minuto es:  $500 \text{ mL} \times 14 \text{ resp./min} = 7.000 \text{ mL/min}$  o  $7 \text{ L/min}$  o  $420 \text{ L/hora}$ .

**CUADRO 16-3.** CILINDROS DE OXÍGENO

Tamaño del cilindro	Capacidad (L)	Factor de tanque
D	360	0,16
E	680	0,28
Q	2.266	0,94
M	3.450	1,56
G	2,41	
H	3,14	
K	3,14	

En caso de que el paciente consuma cantidades variables de oxígeno, cabe preguntarse si la cantidad de oxígeno es la suficiente y cómo se debe actuar en estos casos.

En primer lugar, se deben conocer el factor de tanque, el consumo del paciente, cuánta presión marcan los cilindros e intentar relacionar estos valores.



Cálculo de autonomía = presión de manómetro (PSI) × factor de tanque

Ejemplo:

El tubo M tiene un índice o factor de tanque de 1,56 L/PSI. El manómetro marca 1.200 PSI y el paciente consume 7,5 L/min.

$$1.200 \text{ PSI} \times 1,56 / 7,5 \text{ L/min} = 249,6 \text{ min o } 4 \text{ h } 15 \text{ min}$$

Si variamos el flujo a 15 L/min:

$$1.200 \text{ PSI} \times 1,56 / 15 \text{ L/min} = 124,8 \text{ min o } 2 \text{ h}$$

Cálculos durante la ventilación mecánica:

- Litros por minuto requeridos =  $\frac{FiO_2 - 0,21}{0,79} \times \text{volumen minuto}$ .
- Duración del traslado = tiempo estimado en el aire + tiempo estimado en tierra (previo y posterior al vuelo).
- Requerimientos totales de oxígeno = duración del traslado en minutos × litros/minuto requeridos.

A este cálculo hay que agregarle posibles demoras, fugas de oxígeno o requerimientos adicionales debido a la utilización de una bolsa autoinflable. Por otro lado, es frecuente desconocer el volumen minuto hasta el momento del traslado.

Una forma fácil es considerar que los requerimientos de un adulto ventilado son alrededor de 7 litros por minuto y comenzar los cálculos tomando esa premisa.

Con la bolsa autoinflable se debe utilizar el menor flujo necesario para lograr los objetivos de saturación deseados. Siempre se debe priorizar el ahorro de oxígeno. Se debe tener en cuenta que a medida que se asciende, cuando se regula el flujo de oxígeno a través del flujímetro, el flujo real va a ser más rápido (puede ser hasta un 25% mayor a una altura real o equivalente a 2.500 m).

### Sistema eléctrico

Es necesario contar con fuentes de electricidad dentro de la aeronave durante los traslados prolongados. Las baterías del equipamiento portátil tienen una duración de pocas horas, y si las baterías no son nuevas, su duración puede estar muy acortada. El acceso a una fuente de electricidad es esencial para el soporte de los equipos eléctricos; sin embargo, para poder aprovecharlo es necesario el previo conocimiento del tipo de corriente, los requerimientos del equipo, el tipo de enchufes y su localización dentro de la aeronave. Si el vuelo es internacional, será necesario tener adaptadores de enchufes para acceder a la electricidad en el centro desde donde se deriva al paciente durante la estabilización de este.

## VENTILACIÓN MECÁNICA DURANTE EL VUELO

Los beneficios de la utilización de ventiladores portátiles sobre la utilización de bolsas de reanimación son múltiples. Con las bolsas de reanimación no se pueden asegurar los volúmenes ni las presiones administradas, con el consiguiente riesgo de lesión pulmonar; asimismo no se puede asegurar un volumen minuto constante, con el consiguiente riesgo de hiperventilación o hipoventilación, que pueden ser nocivos sobre todo en pacientes con hipertensión intracraneana.



Los parámetros de la ventilación mecánica deben establecerse en tierra. Durante los traslados secundarios, la ventilación debe haberse optimizado contando con una gasometría adecuada una vez que el paciente esté conectado al ventilador portátil antes de la salida.

Si bien es posible utilizar diferentes modos ventilatorios, incluidos AC, SIMV o presión de soporte, la ventilación controlada (por volumen o por presión) es la más empleada en paciente críticos, porque lo habitual es mantener a estos pacientes con sedación y parálisis profundas para evitar movimientos y desplazamientos de TET durante el vuelo. Los pacientes que reciben ventilación en forma crónica, bien adaptados a la AVM, requieren menos sedación y pueden trasladarse utilizando su modo habitual.

La ventilación mecánica en la altura tiene la particularidad de los cambios de volúmenes corrientes relacionados con la expansión de los gases. Si bien hay ventiladores portátiles preparados para compensar los volúmenes de acuerdo con la altura, por lo general no se contará con este beneficio. Por lo tanto, es mandatorio controlar los volúmenes corrientes y las presiones pico que recibe el paciente durante los cambios de altura o de presurización, y modificar los parámetros del ventilador para que el paciente continúe recibiendo los objetivos establecidos.

## MONITORIZACIÓN

Para asegurar un transporte exitoso, sin complicaciones, es esencial la monitorización frecuente y minuciosa durante todo el traslado. La monitorización debe comenzar por el paciente, asegurando la presencia de una vía aérea permeable, sin desplazamiento del TET, y con adecuada expansión torácica y entrada de aire simétrica. Los signos vitales y el estado hemodinámico se deben controlar por lo menos cada 15 minutos, así como la simetría pupilar. En el monitor, además de constatar el ECG, la saturometría, la temperatura y la TA, se debe controlar el estado de carga de las baterías. En el ventilador de transporte se deben controlar como mínimo los volúmenes corrientes y las presiones administradas. El manguito del TET deberá ser controlado con frecuencia debido a que, a medida que ascienda la aeronave, aumentará el volumen de aire y, por consiguiente, la presión sobre la tráquea. Si esto ocurre, se puede desinflar para mantener las mismas presiones y evitar daños de la tráquea; es útil contar con un manómetro para poder controlar la presión del manguito durante el ascenso y el descenso. Otra opción es llenar el manguito con líquido (solución salina 0,9% o agua destilada) para evitar cambios de volumen de este (lo mismo ocurre con la sonda vesical).

## PROCEDIMIENTO DEL TRASLADO



Una vez que el hospital donde se halla internado el paciente ha considerado la necesidad del traslado, debe contactarse con el centro receptor donde se debe asegurar la disponibilidad de espacio. Conocido el destino, se decidirá el mejor medio de transporte y se realizará el contacto con el equipo. Se debe realizar una descripción detallada y completa del estado del paciente y el equipo de traslado debe sugerir los cambios que considere necesarios para lograr la mejor estabilidad previa a su llegada. El éxito del traslado depende de una adecuada planificación, para lo que hay que anticipar posibles complicaciones.

A la llegada al centro receptor, se debe evaluar al paciente en forma meticulosa y se deben realizar las maniobras necesarias para optimizar la condición clínica del paciente. Se debe confirmar la posición del TET mediante una Rx de tórax, que además permitirá descartar la presencia de neumotórax o bullas pulmonares. Las pérdidas de aire deberán drenarse antes del traslado, aunque sean de poca magnitud y al drenaje se debe adosar una válvula unidireccional (válvula de Heimlich). La sonda nasogástrica debe estar permeable y abierta. Se debe drenar el aire existente en la cámara gástrica y también se debe extraer el aire de la bolsa colectora de orina o el aire presente en bolsas de colostomía.

Se deben rotular las guías intravenosas y, en lo posible, los fluidos intravenosos deben administrarse con bombas de jeringa. En caso de utilizarse infusión a través de *sachets*, es mejor que estos sean de plástico blando.

Una vez estable, el paciente se debe mover a la camilla de transporte y, preferentemente, se debe organizar todo el equipamiento sobre esta para no tener que moverlo de nuevo en la aeronave, donde el espacio físico es reducido. Antes de salir, se debe volver a fijar y aspirar el TET. Se debe obtener una muestra para gasometría una vez conectado al ventilador de transporte, además de contar con controles recientes de electrolitos, función renal y glucemia.

## NORMAS DE SEGURIDAD

Durante los traslados aéreos se deben cumplir las normas de seguridad de la aeronave. El paciente debe estar adecuadamente sujeto a la camilla, así como el personal de salud mientras permanezcan sentados en sus asientos. Ante la situación atípica de requerir desfibrilación, se debe dar aviso al piloto. Siempre se deben seguir las instrucciones dadas por el piloto, incluidos los momentos de ascenso y descenso de la aeronave.

En caso de traslado en helicópteros, una vez que la nave ha aterrizado, el personal no deberá acercarse hasta que los rotores se hayan detenido y el piloto haya dado indicaciones de hacerlo. Deben permanecer agachados, en particular en condiciones de mucho viento que puedan flexionar los rotores. No deben llevarse elementos verticales, como pies de suero, para evitar que sean golpeados por los rotores. Si hay un leve desnivel, la aproximación debe realizarse por el lado más declive. Se debe tener especial precaución con el rotor de la cola de la aeronave cuando la zona de carga sea trasera, y nunca traspasar la mitad de la cola. Los elementos livianos deben estar bien sujetos para evitar que se vuelen durante el acercamiento.

### PUNTOS CLAVE

Al solicitar un traslado aéreo es importante considerar lo siguiente:

- Lo primero y primordial es que el estado de salud del paciente lo requiera y que la evacuación aeromédica se solicite y se apruebe por un especialista que esté calificado, y no por familiares o amigos.
- El transporte aéreo es un complemento indispensable para poder trasladar a niños críticamente enfermos a centros especializados, sin importar la distancia a la que se encuentre.
- Si la distancia al destino es menor de 300 km, el traslado se realizará en helicóptero. De lo contrario, es más conveniente utilizar un avión especializado.
- Los helicópteros y aviones deben contar con todos los equipos, insumos y comodidades necesarios para evitar un deterioro en la salud del paciente durante el traslado.
- Todo equipo y aparato electrónico que se lleve en vuelo debe estar homologado y autorizado para el uso aeronáutico, para evitar anomalías en su funcionamiento o interferencias con el instrumental de la aeronave.
- Se debe tener en cuenta el peso total de equipamiento aerotransportado.
- Controlar siempre antes del vuelo la cantidad de oxígeno necesario, la carga de las baterías de los equipos y las conexiones al avión.
- La comunicación entre los profesionales actuantes (quién deriva al paciente, quién lo recibe y quién lo traslada) es de vital importancia para que el traslado sea un éxito.
- Todos los pacientes deben ser estabilizados antes de ser trasladados, ya que algunas condiciones de vuelo, como la altura, la menor presión atmosférica y la disminución de oxígeno disponible alteran las funciones normales del organismo.
- Tener presente la climatización de la aeronave debido a que se debe evitar la hipotermia. Recordar que cada 300 metros sobre el nivel del mar, la temperatura disminuye 2 °C.
- Hay que tener en cuenta que cuanto más elevada sea la altitud del vuelo, mayor va a ser la influencia de la meteorología local.

- Dada la posibilidad de turbulencias, no dejar objetos libres que se convertirían en proyectiles. Tener todo absolutamente ajustado, incluidas mangueras y tubuladuras para impedir desconexiones.
- Para la administración de líquidos intravenosos, se deberán utilizar bombas de infusión, de lo contrario se verían influenciados por el ascenso, el descenso y la aceleración.
- Los manguitos endotraqueales y de TA no invasiva deben desinflarse al ascender, ya que el gas interior se puede expandir con la altura y se corre el riesgo de isquemia y necrosis.
- El balón de las sondas vesicales debe ser llenado con agua y nunca con aire.
- Tener monitorizado al paciente debido a que con evacuaciones en aviones de hélice los niveles de ruido son muy altos (90 a 100 decibeles), lo que impide su auscultación. Se aconseja utilizar protección auditiva en estos casos.
- El nivel de perfusión tisular se debe monitorizar con el volumen minuto urinario.
- Recordar que los pacientes con neumocéfalo y neumotórax no drenado no pueden ser trasladados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beninati W, Jones KD. Mechanical ventilation during long-range air transport. *Respir Care Clin N Am.* 2002; 8(1):51-65.
- Day S, McCloskey K, Orr R, Bolte R, Notterman D, Hackel A y cols. Pediatric interhospital critical care transport: consensus of a national leadership conference. *Pediatrics* 1991; 88(4):696-704.
- Dockery WK, Futterman C, Keller SR, Sheridan MJ, Akl BF y cols. A comparison of manual and mechanical ventilation during pediatric transport. *Crit Care Med* 1999; 27(4):802-6.
- Orr RA, Felmet KA, Han Y y cols. Pediatric specialized transport teams are associated with improved outcomes. *Pediatrics* 2009; 124(1):40-8.
- Parsons CJ, Bobechko WP. Aeromedical transport: its hidden problems. *Can Med Assoc J* 1982; 126(3):237-43.
- Turner S, Ruth M, Tipping R. Critical Care Air Support Teams and deployed intensive care. *J R Army Med Corps* 2009; 155(2):171-4.
- Wallace PG, Ridley SA. ABC of intensive care. Transport of critically ill patients. *BMJ.* 1999 Aug 7;319(7206):368-371.