

# Alteraciones fisiológicas durante el transporte aéreo de pacientes

*Andrés Hernán Torres\**  
*Eduardo Contreras Z.\*\**

## RESUMEN

Desde que la humanidad domina los cielos se ha vuelto cada vez más importante entender los efectos de la altitud, la disminución en la presión de los gases y las fuerzas de aceleración en el cuerpo humano. Volar produce una demanda de adaptación fisiológica que para personas en buenas condiciones de salud y bajo situaciones operacionales normales no presentan problemas tales como la hipoxia, el barotraumatismo, la descompresión y la hipotermia.

El objetivo de esta revisión es describir los diferentes alteraciones y cambios fisiológicos que suceden durante el transporte aéreo de pacientes al igual que su relación con la atmósfera y las leyes físicas que la rigen.

Palabras clave: Presión atmosférica. Barotrauma. Enfermedad de descompresión. Transporte pacientes.

## INTRODUCCIÓN

Todo paciente que se traslada está sometido a una serie de situaciones causadas por la fuerza de la gravedad, cambios en la temperatura, cambios en la altitud, ruidos y vibraciones, que inevitablemente afectan tanto al paciente como al equipo responsable de su traslado; todas esas circunstancias influyen sobre la fisiología normal, lo que en el individuo sano no trae mayores repercusiones pero en pacientes graves afecta las respuestas orgánicas, la monitorización y la infusión de medicamentos<sup>1,2</sup>.

El transporte médico aéreo constituye un complemento importante del transporte terrestre, conformando ambos uno de los eslabones fundamentales en la actuación

médica prehospitalaria, enmarcada dentro de los Sistemas Integrales de Emergencias. Los medios aéreos, por tanto no reemplazan en modo alguno a las unidades móviles terrestres, sino que está indicado su uso en situaciones concretas. Factores como la distancia, accesibilidad y gravedad, determinan la idoneidad del transporte aéreo. Problemas como los costos económicos y las condiciones meteorológicas adversas limitan su utilización<sup>1,3</sup>.

Los medios aéreos cada día son más valorados en el transporte primario (prehospitalario propiamente dicho) y secundario. El impacto que han producido en uno y otro tipo de transporte se ha mostrado altamente positivo<sup>1,2</sup>.

El empleo del medio aéreo es prácticamente imprescindible en muchas situaciones de catástrofe, tanto para la localización, rescate y evacuación de pacientes como para la aproximación de material y equipos a la zona afectada. Su utilización en la asistencia médica cotidiana no es tan versátil, debiéndose destinar al transporte de determinados pacientes críticos y, por ello, el transporte aéreo sanitario siempre debe ser asistido o medicalizado<sup>2,3</sup>.

---

\*MD y cirujano. Servicio de Urgencias Country Club Bogotá. Bogotá. Colombia.

\*\*MD Internista. Fellow Cardiología. Unidad Cuidados Intensivos Fundación Valle del Lili. Cali. Colombia.

Correspondencia: Dr. Contreras. Cl. 4 No. 65 - 14. Cali. Colombia. e-mail: edo11@hotmail.com

Artículo recibido el 25 de octubre de 2007 y aceptado para publicación el 7 de mayo de 2008.

## ANTECEDENTES HISTORICOS

El rápido incremento en el uso de helicópteros para el transporte de pacientes desde el inicio de los ochenta es la culminación de las innovaciones ocurridas durante décadas en la medicina militar.

El transporte aéreo médico comenzó en 1870, cuando se utilizaron globos para evacuar soldados heridos en el sitio de París, durante la guerra franco-prusiana.

El uso de helicópteros para traslados de lesionados tiene como antecedente más remoto la Segunda Guerra Mundial. En la guerra de Corea fué donde se inició su utilización, propiciado por las dificultades orográficas. *El Third Air Rescue Squadron* fue requerido para evacuar soldados heridos de localizaciones inaccesibles para ambulancias terrestres. Este uso se fue incrementando progresivamente desde los primeros años de guerra. En 1950, el ejército norteamericano organizó un destacamento de helicópteros destinado exclusivamente para transporte de heridos. Las experiencias de Estados Unidos en Corea, de Gran Bretaña en Malasia, y de Francia en Indochina, muestran la inestimable reducción de la tasa de muerte en el campo de batalla por el empleo del transporte aéreo. El escepticismo acerca de la eficacia de la utilización del helicóptero en tareas médicas desapareció durante el conflicto de Vietnam; las experiencias observadas en esta contienda bélica fundamentaron la aceptación del helicóptero como elemento necesario en los modernos Sistemas de Emergencias<sup>2,4</sup>.

## ATMÓSFERA

La atmósfera es una capa gaseosa con una composición uniforme hasta una altura de 70 000 pies ( $\pm$  21 000 m); el nitrógeno con un 78,08% es su mayor componente, seguido del oxígeno con un 20,95% y otros gases en muy pequeño porcentaje como el argón, dióxido de carbono, hidrógeno, neón y helio.

La atmósfera se divide desde el punto de vista físico en cinco capas: tropósfera, estratósfera, mesósfera, ionósfera y exósfera (Tabla 1) y desde el punto de vista fisiológico en tres zonas: fisiológica, deficiente fisiológica, y equivalente espacial<sup>1,2</sup> (Tabla 2).

Tabla 1. División física de la atmósfera<sup>1,2</sup>.

Altura	Capa	Temperatura	Características
500 km-espacio	Exósfera		Espacio propiamente dicho
80-500 Km	Ionósfera	1000 °C	Ondas radiales
50-80Km	Mesósfera	-95 °C	
12-50 Km	Estratósfera	-5 °C	
Nivel del mar-12 Km	Tropósfera	20 a -60 °C	Se realizan los vuelos comerciales, el gradiente de temperatura es de -2°C por cada 1000 pies de altitud

Tomado de Fromm R, Duvall J. Medical aspects of flight for civilian aeromedical transport. *Probl Crit Care*. 1999;4:495-507.

## LEYES DE LOS GASES

Cualquier consideración de la atmósfera en términos de sus propiedades físicas, composición química y comportamiento fisiológico requiere la comprensión de las leyes básicas de los gases<sup>3,4</sup>.

### LEY DE BOYLE

La ley de Boyle afirma que cuando la temperatura permanece constante, el volumen de una masa de gas dado varía inversamente a su presión (Figura 1)<sup>2-4</sup>.

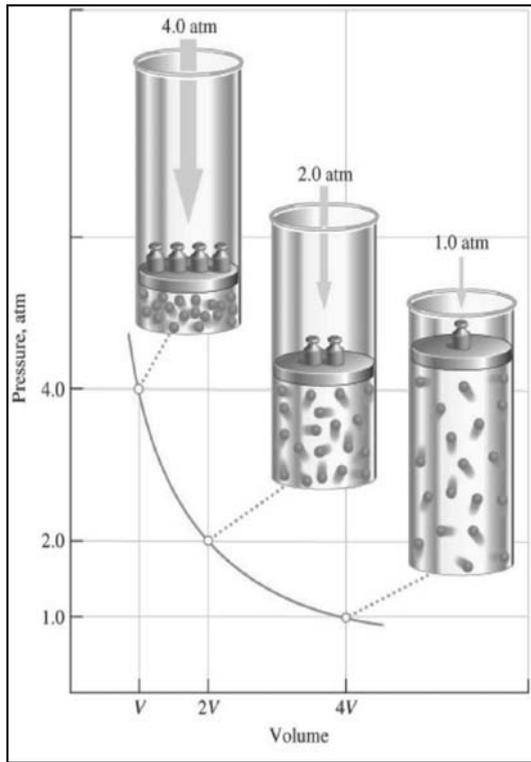


Figura 1. Ley de Boyle – Mariotte. Tomado de PICKARD, jeb, *The Atmosphere and Respiration*, De hart Roy, *Aerospace Medicine*, lippincott, third Ed. 2002. p. 19-28.

**LEY DE CHARLES**

La ley de Charles afirma que cuando la presión es constante, el volumen de un gas es

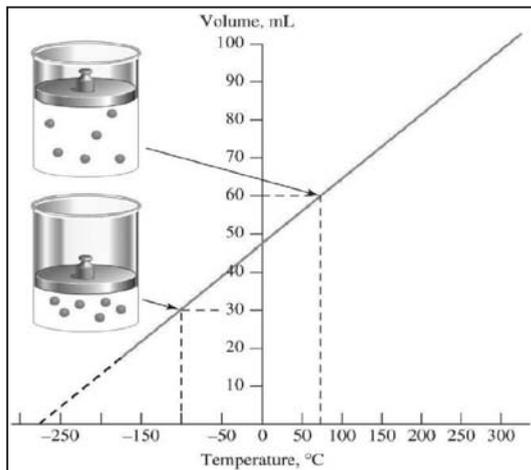


Figura 2. Ley de Charles. Tomado de Pickard J. De Hart Roy *aerospace medicine. The atmosphere and respiration*. Lippincott. 2002. 3<sup>rd</sup> ed. 19-28.

proporcionalmente muy cercano a su temperatura absoluta (Figura 2)<sup>3,4</sup>.

**LEY DE DALTON**

La ley de Dalton afirma que la presión total de una mezcla de gases es la suma de las presiones individuales o parciales de todos los gases en la mezcla<sup>3,4</sup>.

**LEY DE HENRY**

La ley de Henry afirma que la cantidad de un gas disuelto en 1 cm<sup>3</sup> de un líquido es proporcional a la presión parcial de un gas en contacto con el líquido<sup>3,4</sup>.

**TRADUCCIÓN FISIOLÓGICA DE ESTAS LEYES**

Cuando una aeronave asciende y la altitud se incrementa, la presión barométrica decrece y el volumen de los gases atrapados en el cuerpo se expanden, lo contrario sucederá al descender (tabla 3). Esto explica los cuadros de barotrauma durante el vuelo como aerotitis, aerosinusitis, aerodontalgia, baropatía abdominal y expansión de neumotórax y los efectos sobre equipos y materiales médicos como férulas inflables, balones de tubos endotraqueales y sondas urinarias. También explican la formación de burbujas de nitrógeno en el organismo conocida como enfermedad por descompresión<sup>4-6</sup>.

Esta disminución en la presión barométrica es la responsable de la hipoxia que se presenta a grandes altitudes, porque a medida que ésta cae la presión parcial de oxígeno disminuye proporcionalmente manteniendo la proporción de 21% del total de la presión barométrica, siendo a nivel del mar de 159 mmHg. Pero a 50 000 pies de sólo 18 mmHg. Por otro lado aún a grandes alturas el dióxido de carbono es excretado al alvéolo y el vapor de agua del aire inspirado en el alvéolo se mantiene en 47 mmHg si la temperatura del cuerpo es normal sin importar la altura; estos dos factores diluyen el oxígeno en el alvéolo afectando su concentración. En el caso del dióxido de carbono, a grandes altitudes la pCO<sub>2</sub> cae de un valor a nivel del mar de 40 mmHg a menores valores; en la persona aclimatada quien

**Tabla 2. División fisiológica de la atmósfera<sup>1,2</sup>.**

Zonas	Altitud en pies	Presión atmosférica mmHg	Tipo de cabina	Características
Fisiológica	Nivel del mar-12 000	760-483	No presurizada (Let410,Casa 212, Twin Otter, Cessna 206.203, Piper Seneca y Navajo)	El cuerpo se adapta para volar en esta zona, se presentan problemas por expansión y atrapamiento de gases, sequedad de mucosas. Fatiga y cefalea son comunes cuando se vuela por periodos largos en el límite superior de esta capa
Deficiente fisiológica	12 000-50 000	483-87	Presurizada (MD83, A320,EMB145,DO28,FO KKER50,KING200,CITATION, LEARJET)	Gran caída de la presión atmosférica y la temperatura, afectando funciones fisiológicas manifestándose en hipoxia y descompresión
Equivalente espacial	50 000 pies-1000 millas	87-0	Sellada (transbordador espacial, cápsulas espaciales, trajes sellados)	Ambiente hostil para el ser humano, línea de armstrong: 63 000 pies, fenómeno de ebullición, línea de Von Karman

incrementa sus ventilaciones cinco veces la  $p\text{CO}_2$  cae 7 mmHg por el incremento de las ventilaciones. Las presiones de estos dos gases afectan la concentración de oxígeno alveolar. Si se asume que la presión barométrica cae del valor a nivel del mar de 760 mmHg a 253 mmHg, lo cual es el valor correspondiente a 29 028 pies correspondientes a la altura del monte Everest, 47 mmHg corresponden al vapor de agua, dejando solamente 206 mmHg para todos los otros gases. En la persona aclimatada, 7 mmHg de los 206 mmHg deben corresponder a dióxido de carbono, dejando solamente 199 mmHg, de éstos la quinta parte corresponde al oxígeno, es decir, aproximadamente 40 mmHg, el resto corresponde al nitrógeno. Dentro del alvéolo, es absorbido una parte del oxígeno dejando una cantidad reducida en éste, que correspondería a la presión intraalveolar de oxígeno; así solamente una persona aclimatada podría sobrevivir a esta altura respirando aire ambiente, pero este efecto es muy diferente cuando respiramos oxígeno puro<sup>2,6-10</sup>.

La quinta columna de la tabla 4 muestra las  $p\text{O}_2$  aproximadas en el alvéolo de diferentes altitudes

**Tabla 3. Expansión de los gases según la altitud<sup>4,5</sup>.**

Altitud (pies)	Presión (mmhg)	Volumen Aproximado
35 000	155	4,0
18 000	379	2,0
10 000	526	1,5
8000	560	1,3
Nivel del Mar (NM)	760	1,0

cuando se respira aire ambiente en personas aclimatadas y no aclimatadas. A nivel del mar, el  $p\text{O}_2$  alveolar es 104 mmHg; a los 20 000 pies de altitud, ésta cae a 40 mmHg en una persona no aclimatada pero solamente a 53 mmHg en un aclimatado. También se observa la diferencia de las saturaciones de oxígeno dependiendo si se está respirando aire ambiente u oxígeno puro; a una altitud de 10 000 pies aún respirando aire ambiente, la saturación permanece en 90%, pero por arriba

de 10 000 pies cae rápidamente. Cuando una persona respira oxígeno puro en vez de aire ambiente, la mayoría del espacio alveolar previamente ocupado por nitrógeno es ocupado por oxígeno. A los 30 000 pies se tiene una  $pO_2$  alveolar tan alta como 139 mmHg en vez de 18 mmHg respirando aire ambiente. En cuanto a la saturación, ésta permanece arriba de 90% hasta una altitud de 39 000 pies donde cae rápidamente hasta cerca del 50% a los 47 000 pies<sup>10-2</sup>.

**OXIGENACIÓN ANORMAL**

Con la complejidad en los sistemas de captación y transporte de oxígeno, la hipoxia o la deficiencia de oxígeno a nivel tisular, puede ser causada en la captación, transporte o utilización de éste. La hiperoxia es una condición artificialmente inducida con los efectos fisiológicos dominados por la toxicidad de oxígeno. El respirar altas concentraciones de oxígeno a presiones mayores a los 760 mmHg produce efectos tóxicos caracterizado por hiperemia generalizada, alteracione del sensorio, visión borrosa y nause. Es importante suministrar oxígeno suplementario minimo necesario para garantizar una  $SaO_2 > 90\%$ <sup>8,13</sup>.

**HIPOXIA**

Con excepción de los eritrocitos maduros, todos los tejidos requieren un aporte fijo de oxígeno, con el Sistema Nervioso Central (SNC) siendo particularmente susceptible a la hipoxia, ésta causa síntomas insidiosos a nivel sistémico

siendo las manifestaciones visuales, cognitivas y de alteración de conciencia, las más importantes en el campo aeroespacial. En este campo se la ha dividido en cuatro tipos:

**HIPOXIA HISTOTÓXICA**

La hipoxia histotóxica está caracterizada por la inhabilidad de la célula de usar el oxígeno, usualmente debida a la inhabilitación del sistema citocromo-oxidasa, ejemplos de ésta son las intoxicaciones por monóxido de carbono y cianuro; la tensión arterial de oxígeno es normal, con cianosis ausente. El monóxido de carbono actua primariamente a través de esta clase de hipoxia porque compite exitosamente con el oxígeno por el citocromo C oxidasa cuando la tensión de oxígeno es baja<sup>5,9,14</sup>.

**HIPOXIA HIPÉMICA**

Esta hipoxia es resultante de la reducción de la capacidad de transporte del oxígeno por la sangre, también se ve en intoxicaciones por monóxido de carbono; como el oxígeno, el monóxido de carbono liga reversiblemente la hemoglobina, pero con una afinidad 200 veces mayor que éste, dejando las moléculas de hemoglobina temporalmente inútiles. Además a través de la naturaleza tetrámera de la hemoglobina, la afinidad del oxígeno por la restante hemoglobina no ligada es alterada, el resultado es que su curva de disociación es desplazada a la izquierda y la liberación periférica de oxígeno es

**Tabla 4. Efectos de la exposición aguda a bajas presiones atmosféricas en las concentraciones de gases alveolares y en la saturación arterial de oxígeno<sup>6,7</sup>. (Números entre paréntesis son valores aclimatados).**

Altitud (pies)	Presión Barométrica (mmHg)	$pO_2$ en aire (mmHg)	Oxígeno puro			Aire		
			$pCO_2$ en alvéolo	$pO_2$ alvéolo	$SaO_2$	$pCO_2$ alvéolo	$Po_2$ alvéolo	$SaO_2$
0	760	159	40(40)	104(104)	97(97)	40	673	100
10 000	523	110	36(23)	67(77)	90(92)	40	436	100
20 000	349	73	24(10)	40(53)	73(85)	40	262	100
30 000	226	47	24(7)	18(30)	24(38)	40	139	99
40 000	141	29				36	58	84
50 000	87	18				24	16	15

disminuida. Por ser el monóxido de carbono reversiblemente ligado a la hemoglobina, el tratamiento de su intoxicación consiste en oxígeno terapia. Oxígeno al 100% reduce la vida media de eliminación del monóxido de carbono de cuatro a una hora, y con oxígeno hiperbárico en 2,5 atm se reduce a 30 minutos. En esta clase de hipoxia la  $pO_2$  es normal, aunque su contenido está reducido excepto en los raros casos de metahemoglobinemia, la cianosis es inusual<sup>9,10,14</sup>.

#### HIPOXIA POR INADECUADO FLUJO SANGUÍNEO

Sea regional o sistémica, la tensión arterial de oxígeno y cianosis variables. Las causas comunes son el shock o la enfermedad vascular periférica, la enfermedad por descompresión y la aceleración, la cual induciendo depósito de sangre en determinadas áreas dejando un déficit sanguíneo en las opuestas; las fuerzas G positivas son las más comúnmente encontradas siendo el cerebro el órgano con menos tolerancia a la hipoxia y el más afectado por éstas<sup>9,10,14</sup>.

#### HIPOXIA HIPÓXICA

La hipoxia hipóxica es la deficiencia en la oxigenación alveolar, siendo la más comúnmente encontrada en aviación, y en este contexto la causa más probable es la reducción de la presión parcial de oxígeno en el aire inspirado. Tiene un subtipo que es la hipoxia por altitud, que es de importancia fisiológica cuando en cualquier momento un humano excede los 3048 m (10 000 pies), dependiendo de su aclimatación<sup>9,10,14</sup>.

#### EFFECTOS DE LA HIPOXIA

La respuesta del sistema respiratorio se realiza a través de los quimiorreceptores en la carótida y aorta; estando no solamente limitada al aumento en el esfuerzo se presenta vasoconstricción pulmonar, aumentado la carga del corazón derecho; la respuesta cardiovascular es el aumento del gasto cardiaco, aumento de la extracción tisular del oxígeno, aumenta la irritabilidad eléctrica del músculo cardíaco. El SNC es desproporcionadamente

afectado, es el primer tejido afectado por la hipoxia y el primero que sucumbe a la anoxia. El consumo de oxígeno por el cerebro es caracterizado por su relativa inconsistencia; es alto a un nivel de reposo y no cambia con estados de ejercicio<sup>11,15,16</sup>.

#### SIGNOS Y SÍNTOMAS DE LA HIPOXIA

Los síntomas de alarma de la hipoxia son vagos y de presentación insidiosa. El autoreconocimiento del deterioro se ve afectado por la disminución de la capacidad intelectual. Los signos y síntomas asociados a la hipoxia son debidos a la hipoxia misma, a la hipocapnia o ambas. Los signos objetivos incluyen taquipnea, hiperpnea, alteraciones en el comportamiento como excitación y beligerancia, falta de coordinación y eventualmente inconciencia. Los síntomas incluyen disnea, cefalea, mareo, euforia, visión borrosa y los síntomas de la hipocapnia incluyen parestesias (Tabla 5)<sup>11,12,17</sup>.

#### TRATAMIENTO DE LA HIPOXIA

La hipoxia se previene, no se trata. Éste es el principio fundamental en el transporte de pacientes y en el manejo de emergencias

Tabla 5. Fases de la hipoxia<sup>11,12</sup>.

Fase	Altitud en pies	SAO2	Efectos Inconciencia y
Crítica	20 000-25 000	60-70%	muerte
De deterioro	15 000-20 000	70-80%	Mecanismos compensatorios agotados
Compensatoria	10 000-15 000	80-90%	Signos y síntomas de hipoxia
Indiferente	NM-10 000	90-98%	No hay síntomas en personas sanas, sólo en aquellas con mecanismos compensatorios agotados

médicas a bordo. El reconocimiento de los signos y síntomas es secundario; es fundamental contar con pulsoxímetro. El uso de oxígeno en altas concentraciones es la clave del tratamiento sin importar su causa. Los sistemas de oxígeno a bordo de aeronaves comerciales para atención de pasajeros permiten flujos de 2 a 4 L por minuto. En el transporte de pacientes se deben utilizar sistemas con flujos de oxígeno de 10 a 15 L por minuto para garantizar concentraciones del 100%. Como norma, cualquier avión presurizado, en vuelos de desplazamiento normal y habitual a altitudes superiores a 15 000 pies presentan presión de cabina semejante a la que existe y equivale a 8000 pies. Las aeronaves no presurizadas no deberán ascender a altitudes superiores a los 10 000 pies; efectuando en consecuencia sus vuelos en altitudes promedio de 8000 pies. En cabinas no presurizadas la velocidad de ascenso no debe superar los 500 pies por minuto<sup>10,13,18,19</sup>.

### **BAROTRAUMATISMOS**

Se producen por la expansión y compresión de los gases atrapados en las cavidades corporales como oído medio, senos paranasales, tracto gastrointestinal y pulmones, lo cual es ocasionado por la disminución y aumento de la presión atmosférica cuando se asciende o se desciende respectivamente. A nivel pulmonar se pueden presentar neumotórax en pacientes con bulas o neumotórax pequeños no tratados. En oído medio y senos paranasales se produce el barotrauma por la presión diferencial entre éstos y el medio ambiente, en personas con procesos infecciosos y cuadros gripales. La barodolalgia afecta dientes con caries y tratamientos de endodoncia incompletos y abscesos periapicales. La baropatía abdominal produce distensión de asas intestinales por alimentos, cirugías intestinales, obstrucciones y colostomías<sup>13,14,20</sup>.

### **ENFERMEDAD DESCOMPRESIVA**

Consiste en la formación de burbujas de nitrógeno en el organismo como consecuencia de la disminución de la presión atmosférica. Casi nunca se presenta por debajo de los 18 000 pies y sí por encima de 25 000 pies. A bajas

altitudes se presenta en personas que practican buceo antes del vuelo, por lo que un buzo debe permanecer 24 horas en tierra antes de volar. En aeronaves presurizadas comerciales la presión de cabina en un vuelo comercial es de 5500 a 8000 pies, suficiente para que se presente la enfermedad descompresiva en personas con factores condicionantes. Se presenta durante o después del vuelo; se clasifica en dos tipos, la tipo I con manifestaciones articulares de dolor y cutáneas de parestesias, cambios tróficos que requieren descanso y algunos casos cámara hiperbárica. La cámara hiperbárica es un recinto hermético donde se puede aumentar la presión y administrar oxígeno puro. Es un procedimiento terapéutico que fue empleado inicialmente para el tratamiento de los accidentes de buceo y durante bastante tiempo ésta fue su aplicación más conocida; actualmente es la herramienta más útil para la administración de oxígeno hiperbárico. En la tipo II, se presentan manifestaciones pulmonares de disnea, dolor torácico y tos seca; neurológicas como cefalea, vértigo y alteraciones visuales; colapso cardiovascular y en forma tardía necrosis aséptica del hueso. Estas manifestaciones siempre requieren cámara hiperbárica<sup>10,21</sup>.

### **HUMEDAD**

Con la altura, la temperatura y el vapor de agua disminuyen. Aunque las cabinas presurizadas generan un espacio confortable y seguro tienen un nivel muy bajo de humedad, lo cual produce deshidratación en vuelos muy largos. Se presenta sequedad de mucosas, sensación de sed, las secreciones del aparato respiratorio se tornan más secas dificultando su remoción, obstruyendo la vía aérea y ocasionando una pérdida en la eficiencia del intercambio gaseoso, lo que contribuye a la hipoxia. Existen factores que exacerban la deshidratación durante el vuelo como el café y el alcohol<sup>12,15,22</sup>.

### **RUIDO**

Es un factor muy estresante en el medio aéreo. El ruido afecta el desempeño de tripulantes, produce cefalea, fatiga, sordera a

largo plazo sin protección, disminución en la capacidad de concentración y deterioro en la capacidad de trabajo. En el transporte aeromédico es importante por su interferencia en el cuidado del paciente, pues dificulta la auscultación, enmascara el ruido de las alarmas de los equipos médicos y dificulta la comunicación. Tanto los tripulantes como los pasajeros deben utilizar protectores auditivos, lo cual es más importante en aviones no presurizados<sup>15,23,24</sup>.

### VIBRACIÓN

Las fuentes más comunes de vibración en una aeronave son los motores y la turbulencia. La exposición a una vibración moderada ocasiona un incremento de la tasa metabólica (aumento de la frecuencia cardíaca, respiratoria y tensión arterial); las vibraciones de baja frecuencia pueden ocasionar fatiga, dolor torácico y abdominal, visión borrosa y vértigo. De igual manera, afectan el funcionamiento de los equipos médicos, especialmente los de monitoreo<sup>15,25</sup>.

### ACELERACIÓN

Cuando un piloto o pasajero está simplemente sentado en su silla, la fuerza con la cual él está siendo presionado contra el asiento resulta de la fuerza de gravedad y es igual a su peso. La intensidad de esta fuerza es igual a 1 G positiva por que es igual a la fuerza de gravedad; pero si esta fuerza durante una aceleración es cinco veces su peso es igual a 5 G positivas. Por otro lado la aeronave se dirige en un viraje externo y la persona es mantenida en su silla por su cinturón, una fuerza G negativa es aplicada al cuerpo si esta es igual al peso del cuerpo es una fuerza 1 G negativa. El más importante efecto de estas fuerzas está en el sistema circulatorio, porque la sangre móvil puede ser desplazada por estas fuerzas. Cuando un tripulante es sometido a G positivas, la sangre va hacia las partes más bajas del cuerpo. Así, si la fuerza es de 5 G positivas y la persona está inmovilizada en una posición de pie, la presión en las venas de los miembros inferiores se incrementa (cerca de 450 mmHg); en posición sedente es cerca de 300 mmHg. Debido a que la presión en los

vasos de la parte inferior del cuerpo se incrementa, estos vasos pasivamente se dilatan, así una porción grande del volumen sanguíneo de la parte superior del cuerpo es llevada los vasos sanguíneos de los miembros inferiores. El corazón disminuye su gasto cardíaco, manifestándose inmediatamente por disminución de la presión arterial; si una persona es sometida a una fuerza G positiva de 4 ó 6 la visión sufre un fenómeno *blackout* (perdida subita del conocimiento) y si continúa la aceleración puede fallecer. Una fuerza de aceleración puede inclusive fracturar las vértebras, siendo el umbral 20 G positivas. Los efectos de la fuerza G negativa en el cuerpo son menos dramáticos agudamente pero más deletéreos a largo plazo que las positivas. Una fuerza súbita de 4 ó 5 G negativas puede ser soportada por un tripulante sin sufrir permanente daño pero sí, una momentánea hiperemia cefálica, llevando a un desorden psicótico de 15 ó 20 minutos como resultado de una edema cerebral. Ocasionalmente estas fuerzas pueden alcanzar las 20 G negativas alcanzando una presión arterial cerebral de 300-400 mmHg, ocasionando la ruptura de algunos vasos sanguíneos de la superficie craneana; sin embargo, y a pesar de estas altas presiones los vasos intracerebrales tienen menos tendencia a la ruptura debido a que el líquido cefalorraquídeo es centrifugado hacia la cabeza al mismo tiempo que la sangre es llevada hacia los vasos craneales y el gran incremento en la presión de líquido cefalorraquídeo actúa como un cojín en la periferia del cerebro evitando la ruptura de los vasos intracraneales. Los ojos no están dentro de este plan protector, se desarrolla intensa hiperemia durante estas fuerzas y desarrollan temporalmente el fenómeno de redout. Los pilotos de aviones a reacción tratan de contrarrestar estas fuerzas de aceleración usando trajes antiG, soportando fuerzas hasta de 10 G. Las fuerzas de aceleración y desaceleración normalmente encontradas en la aviación comercial no son significativas para la salud de las personas que se encuentran sentadas ya que éstas son bien toleradas. Por el contrario, en pacientes en posición horizontal las fuerzas son paralelas al eje axial del cuerpo y pueden ser muy significativas. En un

despegue con la cabeza del paciente hacia la nariz del avión, éste percibirá una fuerza de aceleración G positiva (cabeza-pies) la cual ocasiona que la sangre se dirija hacia los pies, disminuyendo el riego sanguíneo al cerebro y el retorno de la sangre al corazón. Las aceleraciones son más importantes durante el despegue y no tiene tanta importancia durante el aterrizaje. Los pacientes siempre deben ubicarse paralelos al eje longitudinal del avión, lo cual expone el eje del paciente G positivas cabeza pies y G negativas pies cabeza. La posición de la cabeza del paciente en relación con la nariz y la cola de la aeronave debe estar de acuerdo con la enfermedad de éste. Por ejemplo cabeza en dirección a la cola, pacientes en shock; cabeza en dirección a la nariz: pacientes con lesiones cerebrales traumáticas o sangrados intracerebrales<sup>3,24,26</sup>.

### CONCLUSIONES

Movilizar a un paciente ya sea en medio terrestre o aéreo, conlleva unos cambios fisiológicos que el equipo de transporte debe conocer y tener en cuenta, durante el mismo y a la hora de decidir si traslada o no a un paciente en estado crítico.

Cualquiera que sea el medio utilizado, es importante conocer que estos cambios fisiológicos tienen relación con el medio ambiente del transporte y las características físicas que influyen en los pacientes trasladados. Estos factores físicos que pueden tener repercusión clínica sobre los pacientes, están relacionados con efectos gravitacionales, vibraciones, ruidos, temperatura, humedad y cinetosis.

### SUMMARY

#### Flying physiology

Ever since the humanity dominates skies, it has become more and more important, to understand the effects of the altitude, the diminution in the pressure of gases, the acceleration forces in the human body. To fly produces a demand of physiological adaptation, that stops people in good conditions of health and under normal operational situations they do not present/display problems such as the hypoxia, the barotraumatismo, the decompression and hypothermia.

The aim of this review is to describe the various disturbances and physiological changes that occur during air transport of patients as well as its relationship with the atmosphere and the physical laws that govern it.

KEY WORDS: Atmospheric pressure. Barotrauma. Decompression Disease. Patient's transport.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berry M. Civil Aviation Medicine. Aerospace Medicine De hart Roy. Lippincott. third Edition 2002;538-60.
- Brinkley J. Transient. Acceleration De hart Roy. Aerospace Medicine. Lipincott. Third Ed. p. 99-119.
- Collett H. The conference cometh. Hosp Aviation. 1999;9:5.
- Cottrell JJ, Garrard G. Emergency transport by aeromedical blimp. BMJ. 1999; 298:869-70. National transportation safety board emergency medical service helicopter operations. Washington, DC: National Transportation Safety Board. 2005. publication No. Collett H. 1989 Accident review. J Air Med Transport. 1999;9:12.
- Cottrell JJ, Garrard G. Emergency transport by aeromedical blimp. BMJ 1989; 298: 869-70.
- Dunn JD. Legal aspects of transportation. Probl Crit Care. 1999;4:447-8.
- Edge WE, Kanter RK, Walsh RF. Reduction of morbidity in interhospital transport by specialized pediatric staff. Critical Care Medicine. 1994;22:1186-91.
- Fromm R, Cronin L. Issues in critical care transport. Probl Crit Care. 1989;3:439-46.
- Fromm R, Duvall J. Medical aspects of flight for civilian aeromedical transport. Probl Crit Care. 1999;4:495-507.
- Galipault JB. Angels of mercy must not fall. The Aviat Safety Monitor. J Air Med Transport. 1992;Jul:31.
- Gray G. Respiratory Diseases. Aerospace Medicine. De hart Roy Lippincott. Third Ed. 2002. p. 323-9.
- Guidelines Committee of the American College of Critical Care Medicine. Society of Critical Care Medicine and American Association of Critical-Care Nurses Transfer Guidelines Task Force. Guidelines for the transfer of critically ill patients. Cricial Care Medicine. 2003;21(6):931-7.
- Guyton and Hall. Aviation, High Altitude and Space Physiology. Medical Physiology Eleventh Ed. 2006. p. 537-44.
- Holt R. Otolaryngology in Aerospace Medicine. De Hart Roy. Lippincott. Third Ed. 2002. p. 420-5.
- Kaplan L, Walsh D, Burney R. Emergency aeromedical transport of patients with acute myocardial infarction. Ann Emerg Med. 1987;16:55-7.
- Kruyer W. Clinical Aerospace. Cardiovascular Medicine. De hart Roy. Lippincott. Third ed. 2002. p. 333-5.

17. Lam D. Wings of life and hope: a history of aeromedical evacuation. *Probl Crit Care*. 2000;4:477-94.
18. Low RB, Dunne MJ, Blumen IJ, Tagney G. Factors associated with the safety of EMS helicopters. *Am J Emerg Med*. 1991;9:103-6.
19. Peckler S, Rodgers R. Air versus ground transport for the trauma scene: optimal distance for helicopter utilization. *J Air Med Transport*. 1998;8:44.
20. Pickard J. The Atmosphere and Respiration. De hart Roy. Lippincott. Aerospace Medicine. Third Ed. 2002. p. 19-28.
21. Snow N, Hull G, Severns J. Physician presence on helicopter emergency service: necessary or desirable? *Aviat Space Environ Med*. 1986;57:1176-8.
22. Sookram S, Barker S, Kelly KD, Patton W, Neilson K, Rowe BH. Is body temperature maintained effectively during aeromedical transport? An interim analysis [abstract]. *Canadian Journal of Emergency Medicine*. 1999;1:A66.
23. Takahashi G. International Aviation. *Medicine Aerospace Medicine*. De hart Roy. Lippincott. Third Ed. 2002. p. 585-90.
24. Thomas F, Wisham J, Clemmer TP, et al. Outcome, transport times, and costs of patients evacuated by helicopter versus fixed-wing aircraft. *West J Med*. 1990; 153:40-3.
25. Varon J, Wenker OC, Fromm RE Jr. Aeromedical transport: facts and fiction. *Internet Journal of Emergency and Intensive Care Medicine*. 2007.
26. Wishaw KJ, Munford BJ, Roby HP. The CareFlight Stretcher Bridge: a compact mobile intensive care unit. *Anaesth Intensive Care*. 1990;18:234-8.