

Life flight, vuelo de vida. Transporte aéreo de pacientes en aeronaves presurizadas, fisiología de vuelo, fisiopatología, casuística y sugerencias

Life Flight, flight of life. Air transport of patients in Pressurized Aircraft, Flight Physiology, Pathophysiology, Casuistry and Suggestions

Rafael Arturo Cabrera Mc Gauran¹, Marco Antonio Alliegro Vásquez², Luis Alonso Sosa Sánchez³, Lincoln Porfirio Garcés Castillo⁴, Enrique Guillermo de Andres Ríos⁵

RESUMEN

El transporte aeromédico de pacientes en aviones ambulancia con cabina presurizada se ha desarrollado ampliamente en los últimos años. El avance tecnológico en la industria aeronáutica y en equipos médicos, han permitido que el transporte sea más eficiente y seguro. Se presenta nuestra experiencia, Life Flight Vuelo de Vida, durante el período 1987 – 2019, en el que se transportaron 2102 pacientes. El diagnóstico más frecuente fue politraumatizado (44,7 %), seguido por angina de pecho inestable (29,3 %). Se trasladaron intubados en ventilación mecánica 89 pacientes (4,3 %). La mortalidad fue de 0,14 %. Se exponen los criterios operacionales y se revisan las indicaciones y contraindicaciones de un transporte aeromédico. Se analizan las principales variaciones de los parámetros físicos ambientales, las alteraciones fisiopatológicas del organismo humano y la fisiología de aviación. Se hacen sugerencias para que el transporte aeromédico sea exitoso y seguro.

Palabras clave: Aeronave de ala fija, aviación, ambulancia aérea presurizada, transporte aeromédico,

transporte de pacientes críticos, recomendaciones, fisiología de aviación, fisiopatología, casuística.

SUMMARY

The aeromedical transport of civilian patients in pressurized air ambulance has been widely used in recent years. The technological advances of the aeronautic industry and medical equipment permitted that the transport can be safe and efficient. We present our experience (Life flight Vuelo de Vida) during the period 1987-2019, transporting 2102 patients. The most common diagnosis was polytraumatized (44.7 %), followed by unstable angina pectoris (29.3 %). 89 (4.3 %) patients were transported intubated in mechanical ventilation. The overall mortality was 0.14 %. We communicate our operational criteria and a review of the indications and contraindications of Aeromedical transport. An analysis is made of the main environment variables, the changes in Pathophysiology of the human body, and the physiology of aviation. We suggest recommendations for safe and efficient Aeromedical transport.

DOI: <https://doi.org/10.47307/GMC.2021.129.1.7>

¹Director Médico de Life Flight Vuelo de Vida. lifeflightvuelodevida@gmail.com Tlf. +58 414 3214947.

ORCID: 0000-0002- 2376- 122X

²Magister Scientiarum en anestesia. Jefe del Servicio de Anestesia Hospital Ricardo Baquero González. marcoalliegro@gmail.com Tlf. +58 414304 1024.

ORCID: 0000-0001- 6503- 4816

³Médico Internista Ex coordinador docente de la residencia de Medicina Interna del Hospital Dr. Ricardo Baquero por 18 años. luisosa46@gmail.com Tlf. + 56 957027347.

ORCID: 0000-0003-3243-3495

⁴Médico Anestesiólogo garcesanest@yahoo.com Hospital Domingo Luciani I.V.S.S Tlf. + 56 965119714.

ORCID: 0000- 0002- 3629- 97830000- 0002- 3629- 9783

⁵T.S.U Emergencias Pre hospitalarias Ambulancias Terrestres. enriqueandres@gmail.com Tlf + 58 412 233 9669

ORCID: 96690000-0002-2788 -5692

Recibido: 31 de octubre de 2020

Aceptado: 4 de enero 2021

Key words: *Fixed wing aircraft, aviation, pressurized, air ambulance, aeromedical transport, critical patients' transport, recommendations, aviation physiology, pathophysiology, casuistry.*

INTRODUCCIÓN

El transporte aeromédico es cada día más importante en el traslado de pacientes, sin embargo, su uso ha sido muy limitado debido a su costo. Este no sustituye al transporte médico terrestre, sino constituye un complemento de mucho valor.

El origen histórico del transporte de pacientes críticos nació por la necesidad de movilizar en forma rápida y efectiva a los heridos de guerra. La primera referencia de transporte médico aéreo se remonta a la guerra Franco Prusiana en 1870, donde la evacuación de más de 160 heridos fue realizada en globos aerostáticos (1,2). En 1915, durante la retirada de la Armada Serbia de Albania, se realizó el primer transporte aéreo en avión (3), aunque otros autores consideran y señalan que el médico francés Eugene Chassaing (1876-1968) como el padre de la aviación médica (4). En 1918 Chassaing realizó su histórico traslado médico en una aeronave, dando con ello inicio de manera más estructurada al aerotransporte.

En épocas posteriores como en la segunda guerra mundial, guerras de Corea y Vietnam, se fue tecnificando de tal manera, que la tasa de mortalidad se redujo drásticamente (8,8 % a 1,7 %), debido a la velocidad y efectividad del traslado aéreo a los centros especializados de trauma (3,4). Las guerras del golfo, sientan bases lógicas para las evacuaciones en medicina de emergencia y el transporte aéreo sanitario. La sociedad civil de países como Alemania y EE.UU fueron los primeros en adquirir, desarrollar, tecnificar e incorporar los adelantos médicos en la industria aeronáutica. Hoy día pueden ser trasladados pacientes críticos rápidamente, desde la escena del accidente o de hospitales primarios, a centros más especializados para evaluaciones diagnósticas y tratamiento.

Los transportes aeromédicos se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se realizan desde el lugar de la emergencia hacia un centro asistencial; se

utilizan principalmente aeronaves de ala rotatoria o helicópteros, asistidos o medicalizados. Los secundarios se realizan desde un centro hospitalario a otro que generalmente es de nivel superior, con especialistas de mayor experiencia y en donde pueden efectuarse diagnósticos y/o tratamientos especializados. Se utilizan aeronaves medicalizadas de ala fija presurizada o no (1).

El avión de ala fija tiene mayor autonomía, mayor estabilidad de vuelo, mayor espacio para realizar maniobras y la presurización de la cabina juega un factor muy importante. Se utiliza principalmente en pacientes que deben recorrer distancias mayores de 300-400 kilómetros, en condiciones climáticas adversas o por la necesidad de atravesar áreas geográficas de gran altitud para llegar a su destino (5-7).

El volar trae implícito una serie de cambios y adaptaciones en la fisiología del organismo humano, pues el ambiente de las cabinas se va modificando a medida que varía la altitud del vuelo. El conocimiento básico de las leyes de los gases ayuda a explicar y comprender esos cambios. También es muy importante entender las bondades, beneficios, indicaciones y contraindicaciones del transporte aeromédico, pues hacerlo de la manera adecuada, influirá en la evolución, tratamiento y pronóstico, dándole al paciente y al personal encargado, efectividad, seguridad y tranquilidad en el traslado. Es por ello, que en el presente trabajo se propone comunicar nuestra experiencia en el transporte aeromédico de pacientes; aportar información acerca de los cambios fisiológicos y fisiopatológicos que ocurren durante un vuelo en un avión presurizado; insistir en la presencia permanente del equipo médico multidisciplinario; difundir las indicaciones y contraindicaciones, así como las pautas y decisiones para un traslado seguro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trasladaron 2102 pacientes entre los años 1987 y 2019, en el territorio nacional venezolano, islas del mar Caribe, Centro América, Sur América, Estados Unidos y Europa. El transporte aeromédico se categorizó como transporte médico secundario y fue realizado por

una empresa especializada (Life Flight Vuelo de Vida®), en aviones de ala fija presurizados, dotados de equipamiento para soporte avanzado de vida y monitoreo continuo (Figura 1 y 2). Se contó con la presencia de un equipo profesional humano multidisciplinario de apoyo, tanto en aire como en tierra, cumpliendo los criterios, normas y protocolos del Departamento Médico, apegados a las leyes y normativas nacionales e internacionales (7). Siempre fue acompañado por dos médicos a bordo; un Especialista (Anestesiólogo, o Intensivista) y el Médico Especialista en aero-traslados médicos. En tierra se utilizaron ambulancias medicalizadas de soporte vital avanzado equipadas (de acuerdo con las normativas nacionales e internacionales), debidamente con el equipo transportable de monitoreo (invasivo o no) y soporte avanzado de vida (Figura 3). Se mantuvieron las mismas condiciones de monitoreo y apoyo vital que el paciente recibía antes de su traslado hasta su destino final, en particular con aquellos pacientes que ameritaban apoyo ventilatorio mecánico invasivo.

Todos los traslados contaron con: 1. Consentimiento informado aprobado por el paciente o su familiar, con las condiciones médicas del paciente, riesgos y complicaciones del traslado. 2. Informe médico de referencia. 3. Historia clínica y entrevista con el médico



Figura 1. Transporte aéreo presurizado de ala fija y turbinas (Aero ambulancia).

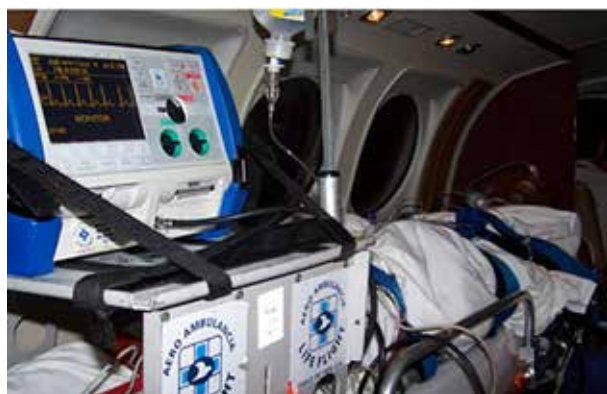


Figura 2. Transporte aéreo presurizado en avión de ala fija, dotado de equipo para soporte avanzado de vida y monitoreo continuo.



Figura 3. Transporte terrestre en ambulancia de cabina intensiva, dotada con equipo transportable de monitoreo continuo y soporte avanzado de vida.

tratante, para revisar los detalles del caso y verificar el mantenimiento o variación de la terapia de soporte. 4. Registro médico continuo de signos vitales durante el tiempo de traslado.

Se siguió estrictamente el protocolo previamente establecido de criterios operacionales, así como las indicaciones y contraindicaciones de un traslado aeromédico.

RESULTADOS

Nuestra casuística se basa en una revisión retrospectiva de los pacientes trasladados entre 1987 y 2019 dentro de Venezuela o hacia otros países como Colombia, países del Caribe, Norte América y Europa. La mayoría de los pacientes trasladados nacionales fueron hacia Caracas y Maracaibo, debido a que los centros hospitalarios especializados, con mayor variedad y capacidad resolutive, se encuentran en esas dos ciudades, además, la mayor unidad de pacientes quemados se encuentra en Maracaibo.

Se trasladaron 2 102 enfermos, de los cuales 64,2 % corresponden a varones y 35,8 % hembras. Los pacientes Politraumatizados fueron los más frecuentes transportados (941/44,7 %), dominado por el sexo masculino (60,3 %), mayormente dentro del grupo etario de 41-50 años (56 %). Le sigue en frecuencia la Angina de pecho inestable (616/29,3 %), dominado igualmente por el sexo masculino (62,7 %), mayormente dentro del mismo grupo etario de 41-50 años (62,3 %).

Otros diagnósticos por orden de frecuencia corresponden a: fractura de fémur (6,9 %), arritmia cardíaca (3,6 %), fractura de miembro superior (3,5 %), quemaduras (3,3 %), infarto al miocardio (3,2 %) y otros (5 %) (Cuadro 1).

Si agrupamos los diagnósticos relacionados con el área cardíaca, corresponden a 780 pacientes (37,1 %). En el grupo de pacientes para trasplante de órganos (18/0,9 %), predominó el trasplante cardíaco (61,1 %), exclusivo en varones y 90 % dentro del grupo etario 51-60 años, seguidos por los hepáticos y renales (16,7 % cada uno).

En el grupo de pacientes para estudios especializados (28/1,3 %), predominaron aquellos que tuvieron trauma toraco-abdominal (19/67,9 %), seguido muy de lejos por los pacientes con artritis deformante (4 / 24,3 %).

Los pacientes quemados ocupan un lugar importante de la estadística (69 / 3,3 %), predominando ampliamente el sexo masculino (97,1 %), dentro del grupo etario 41-50 años (97 %).

Cuadro 1

Diagnóstico de pacientes trasladados según sexo

	Varones		Hembras		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%
Politraumatizado	567	60,3	374	39,7	941	44,7
Angina de pecho inestable	386	62,7	230	37,3	616	29,3
Fractura de fémur	86	9,7	58	40,3	144	6,9
Arritmia cardíaca	23	30,3	53	69,7	76	3,6
Fractura miembro superior	65	87,8	9	12,2	74	3,5
Quemaduras	67	97,1	2	2,9	69	3,3
Infarto al miocardio	62	91,2	6	8,8	68	3,2
Rehabilitación	26	86,7	4	13,3	30	1,4
Estudios	23	82,1	5	17,9	28	1,3
Trasplante de órganos	16	88,9	2	11,1	18	0,9
Hematomas cerebrales	7	77,8	2	22,2	9	0,4
Insuficiencia cardíaca	5	71,4	2	28,6	7	0,3
Heridas por arma de fuego	6	100,0	-	-	6	0,3
Isquemia cerebral	2	50,0	2	50,0	4	0,2
Politrauma + Quemadura	3	75,0	1	25,0	4	0,2
Aneurismas cerebrales	3	75,0	1	25,0	4	0,2
Aneurisma aórtico	1	100,0	-	-	1	0,1
Trombosis arterial periférica	1	100,0	-	-	1	0,1
Fractura de cráneo	1	100,0	-	-	1	0,1
Total	1 350	64,2	751	35,8	2 102	100,0

Solo 89 pacientes (4,2 %) se trasladaron intubados en ventilación mecánica. Fue más frecuente en los politraumatizados (2,2 %) y en los quemados (1,7 %). Otros diagnósticos correspondieron a solo 0,4 %, en donde se encuentran hematoma intraparenquimatoso, insuficiencia cardíaca, isquemia cerebral, listesis cervical con insuficiencia respiratoria, tumor cerebral y trasplantados cardíaco, hepático y pulmonar.

De la totalidad de enfermos trasladados, fallecieron 3 pacientes (Mortalidad de 0,14 %). Dos durante el vuelo; un politraumatizado con disfunción multiorgánica de 17 años, cubriendo la ruta Puerto Ayacucho (Estado Amazonas) a Caracas; el segundo paciente de 57 años falleció en ruta Caracas a Houston EE.UU por rotura de aneurisma aórtico; el tercer deceso ocurrió en tierra, antes de ser subido al avión; un paciente intubado en ventilación mecánica para trasplante pulmonar. El resto de los pacientes no presentaron complicaciones mayores hasta ser entregados en su lugar de destino.

DISCUSIÓN

La estadística presentada no difiere mucho de la del resto de países y particularmente la de Estados Unidos (8). Hay un predominio claro por los pacientes Politraumatizados, o con traumas simples. El trauma se ha convertido en una verdadera pandemia que impacta severamente a la sociedad y a la economía de todos los países. Los países en vías de desarrollo o subdesarrollados son los más afectados, pues carecen de estrategias eficientes para controlar o evitar los problemas y no están tan organizados sanitariamente. Se calcula que 60 % de los traumatizados corresponden a eventos posteriores a un accidente de tránsito, con un impacto social que produce 3.5 millones de muertes y cerca de 50 millones de lesionados anualmente a nivel mundial, con secuelas severas y discapacidad importante (9).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de 9 millones de personas murieron en el 2016 por enfermedad isquémica del corazón (10). Es la causa de muerte número 1 en Estados Unidos. Son enfermedades importantes causadas por la alteración del endotelio vascular

del corazón, con formación de placas de ateroma (Aterosclerosis). Las enfermedades relacionadas con la esfera cardíaca, en especial la angina de pecho inestable sumada al infarto al miocardio, secundan en importancia nuestra estadística. De igual manera los afectados con problemas cardíacos predominan en el grupo de pacientes para trasplante.

El viajar en cualquier tipo de transporte aéreo siempre tiene riesgos, aunque muy pequeños. La estadística general indica que ocurren 25 muertes por millón de despegues, principalmente relacionados con la esfera cardiovascular (67 %) (11). Cualquier enfermo, crítico o no, es candidato inicial para ser trasladado por vía aérea; ello implica la evaluación de numerosos parámetros y una organización técnica especial, pues el riesgo y los problemas se multiplican en el avión.

Para ayudar a tomar la decisión de si hacer o no un traslado, es recomendable plantearse y responderse las siguientes interrogantes: 1. A dónde es el traslado? 2. Qué fin tiene? 3. Riesgo / beneficio? Decidir si será terrestre o aéreo en una aeronave presurizada o no? 4. En qué fecha? 5. Como hacerlo? Los especialistas en aerotransporte médico, junto con los médicos tratantes, tomarán la decisión de si es factible el traslado, acordarán el mejor día y recomendarán el medio de transporte más efectivo y seguro.

El transporte aéreo se inicia con la preparación previa del medio de transporte y una revisión detallada del equipo médico, los diagnósticos del paciente y las posibles complicaciones que pueden ocurrir. Se evalúan diferentes escenarios, pues una vez en el aire, el equipo responsable del paciente dependerá exclusivamente de sus conocimientos y experiencia, así como del equipo disponible a bordo.

Life Flight Vuelo de Vida tiene los siguientes criterios y lineamiento operacionales para garantizar la seguridad del traslado médico

1. Reunión informativa con todo el personal involucrado en el traslado previo al vuelo. Mantener durante el vuelo comunicación constante con la sede, así como entre la tripulación de pilotos y el personal médico a bordo. Se hará énfasis en detectar situaciones

médicas que comprometan la adecuada ventilación pulmonar, la difusión a través de la membrana alveolo capilar y el transporte del oxígeno a los tejidos.

2. Todo paciente aero trasladado en un avión con cabina presurizada, el diferencial de cabina debe ser elevado. El sistema de presurización del avión debe estar funcionando al 100 % y debe ser exacto. El suministro de oxígeno debe ser óptimo y se debe tener una precisión de las reservas.
3. El traslado será de cama a cama. De esta forma se aprovecha las capacidades del centro referente para realizar los últimos ajustes de diagnóstico o terapia. En caso de diferirse el traslado por alguna circunstancia, el paciente queda hospitalizado en su misma cama con todos los cuidados intactos.
4. La correcta instalación y fijación de los equipos de monitoreo y soporte médico. Así como una inmovilización ergonómica, de los equipos y paciente, aislándolos del fuselaje interior de la aeronave. La vía aérea debe permanecer libre en todo momento para asegurar el adecuado abordaje y aporte de oxígeno en vuelo o para colocar oxígeno suplementario a los pacientes de forma selectiva.
5. Tener dos vías venosas permeables y utilizar bombas de infusión y soluciones endovenosas en bolsas de plástico.
6. Los medicamentos de cada caso a ser trasladado serán revisados y autorizados por el médico a bordo y a cargo del traslado, al igual que se evaluarán las existencias en depósito de cualquier medicamento que pueda necesitarse.
7. Constatar que el tubo endotraqueal esté bien asegurado y debe ser verificado cada vez que se movilice al paciente. Se recomienda que todo balón de anclaje, tanto del tubo endotraqueal como sondas, sean llenadas con solución fisiológica y no con aire, asegurándose de no dejar burbujas, pues con la disminución de la presión atmosférica se expandirá el volumen de aire atrapado y puede provocar lesiones.
8. Mantener bien hidratado al paciente, con inmovilización ergonómica aislado del fuselaje interior de la nave.
9. No trasladar a un paciente posquirúrgico hasta el quinto día posterior a la cirugía, asegurándose de que las soluciones de continuidad de la piel se encuentren bien afrontadas para evitar el ingreso de aire a la cavidad. Se le solicitará radiografía de abdomen simple para certificar si persiste gas libre en cavidad.
10. Todo paciente con quemaduras, que presente sospecha o signos y síntomas de compromiso respiratorio (lesión inhalatoria), deberá ser intubado antes del traslado.
11. Monitorización electrocardiográfica y hemodinámica continua.
12. Colocar sonda nasogástrica y uretral. Vaciar los recolectores de orina, bolsas de ostomías y otros drenajes. Disponer de bolsas y equipos de ostomías de repuesto, por la posibilidad de que al incrementarse la presión intraluminal comiencen a filtrar.
13. Colocar oxígeno suplementario a los pacientes en forma selectiva. Monitoreo de saturación de oxígeno por pulso y/o gases arteriales.
14. Cubrir al paciente evitando temperaturas extremas.
15. Administración de sedación en el paciente con agitación psicomotriz.
16. Vaciar los recolectores de orina, bolsas de ostomías y otros drenajes. Disponer de bolsas de repuesto y equipos de ostomías de recambio, por la posibilidad de que al incrementarse la presión intraluminal comiencen a filtrar.
17. Dieta baja en residuos y bebidas gaseosa 24-48 horas previo al traslado.

En nuestra estadística los transportes aeromédicos se realizaron en avión de ala fija presurizados para aminorar el impacto de los cambios que ocurren en las alturas. Las principales variaciones de los parámetros físicos, alteraciones fisiopatológicas del organismo humano y la fisiología de aviación que afectan a los tripulantes, al personal y al pacientes, son debidos a los factores siguientes (12-15):

1. Ambiente (Altitud, presión atmosférica y volúmenes de gas).

La presión atmosférica o presión barométrica, puede medirse con un barómetro y varía a diferentes altitudes. La presión a nivel del mar

LIFE FLIGHT VUELO DE VIDA

es de 760 mmHg y se considera que es igual a 1 atmósfera. De allí hasta los 10 000 pies se le conoce como zona fisiológica y hasta los 50 000 pies, no es que no hay oxígeno, lo que sucede es que las moléculas se encuentran más dispersas (16).

Según la ley de Boyle-Mariotte la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, siempre y cuando su temperatura se mantenga constante (Si el volumen aumenta la presión disminuye y si el volumen disminuye la presión aumenta), por lo tanto, a medida que aumenta la altitud disminuye la presión atmosférica y viceversa (17) (Cuadro 2). La presurización del avión no se equilibra a presiones equivalentes a nivel del mar, sino que se hace a 6 000-8 000 pies de altura, lo que se conoce como altura de cabina (18), de manera que, a pesar de que se reducen de forma importante la presión atmosférica, el volumen de los gases se incrementa solo en un 25 %-30 % (12,19).

Los cambios de presión provocan alteraciones en los equipos electro médicos no certificados y cualquier cavidad u órgano que contenga gas (Intestinos, tórax, senos paranasales, balones de sondas, manguitos del equipo médico, etc.) se expandirán, falseando las lecturas

y produciendo síntomas (Disbarismos), o causando daños (Barotrauma) (2,3,7,14,20). Estas condiciones aparecen más rápido y frecuente durante las fases despegue y descenso bruscos.

Los pacientes migrañosos pueden sufrir auras visuales, sensoriales y motoras típicas después de la despresurización y descenso. No migrañosos pueden tener cefalea tardía después de haber estado a gran altura (21).

La despresurización violenta es una emergencia en vuelo de aviones presurizados (Cuadro 3). Esta puede ocurrir por mal funcionamiento del equipo de presurización o por daño estructural de la aeronave. Ocurre en el término de varios segundos, creándose un rápido movimiento de flujo de aire hacia el área afectada, acompañado de, un ruido explosivo, descenso de la temperatura y condensación del aire de la cabina. La consecuencia inmediata es exponerse a ambientes deficitarios de oxígeno con hipoxemia, hipotermia, colapso pulmonar con insuficiencia respiratoria y disbarismos, provocados por la expansión del gas atrapado en varias cavidades del cuerpo, o por la pérdida de la solubilidad de los gases, principalmente nitrógeno, con formación de burbujas en el torrente circulatorio y otros órganos (Ley de Henry) (22).

Cuadro 2

Efectos de la presión atmosférica sobre la oxigenación, PCO₂ alveolar y temp

ALTITUD (Pies)	P. ATMOSFÉRICA (mmHg)	PRESIÓN PARCIAL O ₂ % (mmHg)		SAT. O ₂	PCO ₂ ALVEOLAR	GRADOS	
		Alveolar	Arterial			C	F
Nivel del MAR	760	160	100	98	40	15,0	59,0
8 000	565	118	69	93		-0,8	30,0
10 000	523	110	60	87	35	-4,8	23,4
18 000	379	80	38	72		-20,7	-5,1
20 000	349	73	3	66	29	-24,6	-12,3
35 000	179	38	0	0		-55,0	-67,0

Tomado y modificado de (27).

Todo el personal a bordo debe actuar con rapidez, especialmente pilotos y médicos a cargo del paciente, pues el tiempo útil de conciencia es muy corto y variará de acuerdo a la altitud a la que se encuentren volando (Cuadro 3). Se deberá administrar oxígeno suplementario a todos en el avión y cerrar tubos de tórax, hasta alcanzar una altitud menor a los 10 000 pies. Otras consecuencias son la expansión de los gases gastrointestinales, dolor torácico, barotitis media, Barosinusitis, barodontalgia y sobre distensión pulmonar, dolores articulares, cambios en piel y parestesias (22).

2. Oxígeno y dióxido de carbono.

El humano tiene dos sistemas que trabajan en forma integrada (Respiratorio y circulatorio), que reciben el oxígeno en forma de gas desde la atmósfera, lo transfieren hasta el alveolo pulmonar y se difunde solubilizándose en los capilares sanguíneos, para ser luego llevado por el sistema circulatorio a todo el organismo.

La atmósfera es una mezcla de moléculas gaseosas de composición constante, 78 % de Nitrógeno, 21 % de Oxígeno y 1 % de otros gases como Argón, Neón, Bióxido de Carbono, Helio, Hidrógeno y vapor de agua. Según la ley de Dalton (23), en una mezcla gaseosa, la presión total equivale a la sumatoria de las presiones parciales de cada uno de los gases que la conforman, por lo tanto, si disminuye

la presión atmosférica, la presión de oxígeno disminuirá proporcionalmente, se reducirá la presión de oxígeno alveolar e ingresará menor cantidad de oxígeno al torrente circulatorio, reduciéndose la presión parcial de oxígeno en la sangre arterial (Hipoxemia) y por consiguiente habrá una disminución de la difusión de oxígeno en los tejidos y en la célula (Hipoxia) (Cuadro 2) (15,16,18). No es que no hay oxígeno; si lo hay, pero las partículas están más dispersas y su presión es menor.

Los factores que pueden facilitar la presentación de un estado hipóxico son: mal estado nutricional, emociones, fatiga, alcohol, tabaquismo y sobredosis de algunos medicamentos. Los efectos hipóxicos, se hacen evidentes en individuos sanos a partir de alturas de 10 000 pies en adelante.

Los síntomas más importantes son disnea, cefalea, taquicardia, disminución del nivel de conciencia, disminución de la habilidad del funcionamiento reflejo, amnesia, náuseas, vómitos, cianosis, debilidad, parestesias, movimientos involuntarios, disminución de la agudeza visual, hipoestesia, hiporreflexia, incoordinación mental o física, cambios conductuales, pérdida de la conciencia y muerte (20).

En pacientes críticos o con afectación del intercambio de oxígeno a nivel pulmonar, se aumenta el riesgo de desestabilizarse a menor altura o presentar con más frecuencia complicaciones. Como respuesta a la hipoxia ocurre hiperventilación que acarrea alcalosis respiratoria, vasoconstricción pulmonar con aumento de la presión, y aumento del gasto cardíaco.

En altitudes de cabina de 15 000 pies, predominan los efectos de la hipocarbia y como respuesta fisiológica ocurre vasoconstricción cerebral.

La cabina presurizada no elimina las variaciones de las propiedades de los gases atmosféricos, y como existe una atmósfera artificial, la presión de oxígeno no disminuirá sino levemente pues se establece a altura de cabina, por lo que se evitará la hipoxia y sus consecuencias (20).

Cuadro 3

Tiempo útil de conciencia luego de descompresión violenta según altura

ALTURA (PIES)	TIEMPO ÚTIL DE CONCIENCIA
18 000	0-30 minutos
22 000	5-10 minutos
25 000	3-5 minutos
28 000	2,5-3 minutos
30 000	1-2 minutos
35 000	30-60 segundos
40 000	15-30 segundos
45 000	9-15 segundos

Tomado y modificado de (28).

La fracción inspirada de oxígeno (FIO_2) se modifica con los cambios de presión barométrica, por lo que hay que recalcularla para mantenerla estable a la altura de cabina durante el vuelo, y volverlo a hacer dependiendo de la presión barométrica del destino (Altura de pista). Se utiliza para este fin la siguiente ecuación (20):

$$FIO_2 \text{ requerida} = \frac{FIO_2 \text{ actual y presión barométrica actual}}{FIO_2 \text{ y presión barométrica}}$$

Para todos aquellos pacientes que requieren un flujo elevado de oxígeno en forma continua (Ventilación mecánica), se utiliza una modificación de la ecuación anterior a calcularse en tierra antes de abordar el avión:

Presión Barométrica destino = (FIO_2 actual X Presión Barométrica actual) + FIO_2 final.

¿Cómo administrar el oxígeno requerido para lograr la FIO_2 calculada? Esto dependerá del equipo de oxigenoterapia utilizado. Los equipos de bajo flujo de oxígeno son el bigote nasal y las máscaras con y sin reservorio. Los de alto flujo son la máscara Venturi o ventimask y los ventiladores mecánicos o respiradores. Dependiendo del volumen de oxígeno administrado por cada equipo, se logrará la FIO_2 deseada (Cuadro 4) (20).

3. Humedad

Las cabinas de los aviones incorporan aire ambiente de la atmósfera. Durante el ascenso disminuye la humedad del aire que provoca irritación cutánea, molestias oculares, resequedad nasal, dificultad en la eliminación de las secreciones y deshidratación (6). Estos cambios afectan especialmente a pacientes quemados o aquellos con problemas respiratorios.

4. Temperatura

La temperatura atmosférica varía con la altura. Se disminuyen 2 °C (3,6 °F) por cada 1 000

pies de altitud (Cuadro 2). Este cambio gradual provoca escalofríos, temblor, vasoconstricción cutánea, taquicardia y aumento de la presión sanguínea, con la finalidad de mantener la temperatura corporal. Se disminuye 5 %-15 % el consumo de oxígeno, debido al descenso del metabolismo a bajas temperaturas o por una mayor afinidad de la hemoglobina para el oxígeno, junto con la alteración de la extracción de oxígeno de los tejidos hipotérmicos (24). Hay cambios cardíacos como arritmias y trastornos de la conducción. Otros cambios son de tipo neurológico como disartria, amnesia, ataxia y alteraciones del juicio. Este factor se logra estabilizar con el control de temperatura del sistema de climatización del avión, tomando aire que se comprime y calienta con el motor, mezclándolo con el aire frío ambiental.

5. Ruido

El ruido es otro factor a tener en cuenta. Proviene principalmente de los motores de la aeronave, fuselaje y equipos médicos. Los ruidos en aviones se encuentran entre los 60 a 85 decibeles superando nuestro rango de tolerancia. (1,4) Este puede provocar estrés, barotrauma ótico, afectar la percepción de alarmas, dificultar el examen médico (Auscultación), irritabilidad, cefalea, tensión muscular y pérdida de la audición. De ser necesario se puede utilizar auriculares o protectores auditivos. Muchos de los aviones presurizados de turbina tienen un sistema de aislamiento acústico doble entre el fuselaje del avión y la cabina, que le permite aislar mejor el sonido. Esto resulta indispensable en un avión ambulancia.

6. Vibración

Las vibraciones que se producen en el medio aéreo se originan por los motores del avión y la turbulencia. Son de alta frecuencia y por tanto sobrepasan el intervalo más nocivo de amplitud (4-12 Hz), en el que se originan fenómenos de resonancia con aumento de la vibración y fricción en órganos y tejidos. El cerebro humano es particularmente sensible a vibraciones de frecuencias del rango de 7 Hz,

pues coincide con sus ondas cerebrales alfa. Expuesto a esas circunstancias se dificulta realizar actividades intelectuales (26). Otros efectos orgánicos son mareo, estrés, dolor lumbar y cefalea.

7. Fatiga aguda y crónica

Pueden ser sufridas por el paciente, pilotos y personal médico.

Se consideran contraindicaciones absolutas del transporte aeromédico las siguientes (Por lo cual no será trasladado el paciente) (3,7,13,19,23):

1. Paro cardíaco-respiratorio de menos de 48 horas de evolución o descompensado por trastornos de ritmo cardíaco.
2. Shock descompensado hipovolémico, carcinogénico o séptico.
3. Neumotórax o hemotórax no drenado. Puede ocurrir aumento del volumen atrapado y neumotórax a tensión.
4. Pacientes neuroquirúrgicos (Craneotomías o craniectomías) con menos de 5 días de posoperatorio o en aquellos pacientes con neumoencefalo quirúrgico o por neumoencefalografía. Se provoca un aumento de la presión intracraneal por expansión de las burbujas de aire residual, que hace efecto de masa sobre el parénquima cerebral y el hueso, pudiendo desarrollarse hematoma intracraneal o desplazamiento óseo. También puede provocar otorrea de líquido cefalorraquídeo.
5. Pacientes con quemaduras que ameriten escarotomías, fasciotomías, debenderealizarse previas al vuelo para evitar el agravamiento del síndrome de compartimiento. De esta manera se evita que, debido a los cambios de presión atmosférica, ocurra compromiso vascular y edema, con aumento de la presión del miembro que acarree isquemia y necrosis.
6. Paciente con hemoglobina menor a 7,0 g/mL
7. Fracturas mandibulares complicadas en pacientes no intubados.
8. Embarazo con sufrimiento fetal agudo.
9. Paciente terminal o muerte inminente.
10. Riesgo de enfermedad por descompresión en buzos, con menos de 12 horas posteriores a una inmersión de más de 30 pies de profundidad, o menos de 24 horas después de un ascenso escalonado. Aplica en los Helicópteros (Deben ser trasladados en aeronaves presurizadas).
11. Contaminación con sustancias peligrosas (Radiación, tóxicos etc.)
12. Enfermedades activas no tratadas que pongan en riesgo la tripulación.
13. Paciente que se rehúsa al transporte.
14. Insuficiencia respiratoria aguda no tratada.
15. Insuficiencia cardíaca.
16. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica descompensada.
17. Drenaje pleural retirado recientemente (3 días). Puede ocurrir agravamiento de los enfisemas mediastínicos y expansión de los acúmulos de aire residual no reabsorbidos después de toracotomías.
18. Cirugía abdominal reciente (5 días), especialmente si implica sutura intestinal o gastroesofágica. Se pueden provocar dehiscencia de la herida de la pared abdominal, agravarse el fleo intestinal o incrementarse la presión intraluminal que facilita la dehiscencia de la anastomosis. Se le solicitará radiografía de abdomen simple para certificar si persiste gas libre en cavidad.
19. Cirugía ocular reciente (Esperar 5 días de posoperatorio). Se puede provocar aumento de la presión intraocular.
20. Fractura de miembros inmovilizados recientes. Puede provocar síndrome compartimental.
21. Gangrena gaseosa.
22. Accidente cerebro vascular hemorrágico de menos de 7 días de evolución.
23. Arritmia no controlada.

CONCLUSIONES

El transporte aeromédico dista mucho de ser simplemente el traslado expedito de un persona lesionada o enferma, pues representa la suma de

muchos esfuerzos humanos y tecnológicos para garantizar una atención continua y de calidad.

La mayoría de los pacientes trasladados nacionales fueron hacia Caracas y Maracaibo, debido a que los centros hospitalarios especializados en estas ciudades son de tercer nivel. Están equipados para el apoyo diagnóstico y terapéutico con mayor tecnología y una asistencia médico quirúrgica especializada. La mayor unidad de pacientes quemados se encuentra en Maracaibo.

Todo traslado mayor de una hora de vuelo, en condiciones adversas o que atravesase áreas geográficas de gran altitud, debe ser realizado en un avión ambulancia presurizada. Es indispensable el entendimiento de las variaciones de los parámetros físicos ambientales que ocurren a medida que cambia la altitud del vuelo, así como, conocer al detalle las alteraciones y adaptaciones fisiológicas del organismo humano.

Es muy importante en el transporte aeromédico, disponer de un equipo multidisciplinario especializado, que el médico especialista este abordo y que se cumplan los criterios y lineamientos operacionales, así como las pautas del servicio médico, pues son determinantes en la evolución sin complicaciones durante los traslados. Recordar siempre la responsabilidad de todo acto que realice, y que nunca nadie lo pueda conducir a tomar o dejar acciones que puedan poner en riesgo su vida o de los demás.

Agradecimientos

Al Dr. Rafael Manuel Belloso Clemente por su colaboración y asesoría en la realización de este trabajo.

Conflicto de interés. Dr. Rafael Arturo Cabrera McGauran es Director Médico de Life Flight Vuelo de Vida.

Financiamiento. Financiamiento propio del autor.

Fuentes de apoyo. Equipos médicos e instalaciones de Life Flight Vuelo de Vida.

REFERENCIAS

1. Marques F, García S, Chaves VJ. Transporte de pacientes en estado crítico. Principios de urgencias, emergencias y cuidados críticos. Capítulo 12.1 Uninet. edu/tratado/c1201i.html.
2. Badsey S. The Franco-Prussian War 1870-1871, Osprey Publishing, 2003, ISBN 978-1-84176-421-4.
3. Mark RN, Tracey BSN, Air transport: Preparing a patient for transfer. *Am J Nursing*. 2004;104:49-53.
4. Arrocha N. Transporte aeromédico. Aspectos básicos del transporte aeromédico. [www.airuniversity.af.edu > Journals > 07-Arrocha_s](http://www.airuniversity.af.edu/Journals/07-Arrocha_s)
5. Regulaciones Aéreas Venezolanas. Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Nro. 6.462 extraordinaria pag.111 08/04/2019.
6. Varon J, Wenker OC, Fromm RE. Aeromedical transport: Facts and fiction. *The Internet J Emerg Intensive Care Med*. 1997;1(1). <http://ispub.com/IJEICM/1/1/6337>
7. Hernández NM, Ramos CE. *Med Crítica Ter Int*. Transporte aeromédico del paciente crítico. 2007;XXI(4):200-206.
8. Vijal MJ, Ravi P, Pathania A. Critical care Air Transport Experience of a Decade. *J Med Res*. 2018;4(1):53-58.
9. Espinoza JM. Atención básica y avanzada del politraumatizado. *Acta Med Peruan*. 2011;28;2.
10. OMS. Estimaciones de salud global 2016. Ginebra.
11. International travel and health 2005, Chapter 2. Travel by air: Health considerations:12-24. <https://tw.ceair.com/newwebsite/uploadFile/World-Health-Organisation.pdf>
12. Civil Aero Space Medical Institute. Aeromedical Educational division 2916. Introduction to Aviation Physiology, FFA retrieved March 06, 2019.
13. Crissom TE. Critical Care Air Transport patient flight Physiology and Organizational Considerations. Book Aero Medical Evacuation. 111 – 135, 2003.
14. Critical considerations for fixed wing air medical transport. www.jems.com 06/03/2017
15. Ramin GA. Pathophysiology of flight. Reseachgate.net Publication. In book: In flight medical emergencies. 9-24. March 2018.
16. Hein LG. Atmósfera y leyes de los gases. Conceptos básicos de fisiología de aviación. Fuerza aérea de Chile. Centro de Medicina Aeroespacial. 2004:4-12.
17. Cabañas JR. Manejo de la vía aérea en el paciente crítico en el transporte aéreo medicalizado. *Rev Elect Anestesiari*. 2017;9(5):3.
18. García F, Bordarías L, Cassanova C, Celli BC, Escarrabill Sanglás J, González Mangado N, et al. Patología respiratoria y vuelos en avión. *Arch*

- Bronconeumol. 2007;43(2):101-125.
19. Romero AH, Contreras E. Transporte aeromédico de pacientes. *Med Uis*. 2008;21(2):94-102.
 20. Shapiro BA, Harrison RA, Walton J. Manejo clínico de los gases sanguíneos. 2ª edición. Editorial panamericana; 1981.
 21. Ogle JL. Aerospace medicine. United Hospital and Stanford University Medical Center, USA; 2005:1-21.
 22. Cunnliffe C. Disbarismos. Fuerza aérea de Chile. Conceptos básicos de fisiología de aviación. Centro de Medicina Aeroespacial. 2004:30-36.
 23. Rajdl E. Aerotransporte: Aspectos básicos y clínicos. *Rev Med Clin Condes*. 2011;22(3):389-396.
 24. Iñigo M, Subirats E. Hipotermia accidental. *Medicina Clínica*. España: Elsevier; 2011;137(4):171-177.
 25. Chang DM. Intensive care air transport: The sky is the limit; or is it? *Crit Care Med*. 2001;29:2227-2230.
 26. Certanec B, Reyes J. Exposición a ruido y vibraciones en aviación. Fuerza aérea de Chile. Conceptos básicos de fisiología de aviación. Centro de Medicina Aeroespacial. 2004:62-66.
 27. Schward Baum J, Amunddep Tagorre Arhya Pracal, et al. *J Emerg Services*. USA.
 28. Hein LG. Hipoxia. Fuerza aérea de Chile. Conceptos básicos de fisiología de aviación. Centro de Medicina Aeroespacial. 2004:13-17.