

Dr. Luis Amézcua González

3.- EFECTOS FISIOLÓGICOS DEL VUELO

INTRODUCCION

Los riesgos médicos potenciales derivados de la exposición a la altitud durante el vuelo, y el desplazamiento a grandes velocidades a bordo de una aeronave constituyen el contenido de este capítulo, en el cual se describen las características de tales riesgos, su incidencia y sus medidas de prevención, así como los sistemas de apoyo existentes a bordo para evitar los efectos de tales riesgos.

1. HIPOXIA E HIPERVENTILACION

Se define como hipoxia, la reducción ó la baja en la concentración de oxígeno en los tejidos del cuerpo. Para describirla se han utilizado erróneamente algunos términos como “anoxia” que etimológicamente significa carencia absoluta de oxígeno, lo cual es incompatible en un organismo vivo, e “hipoxemia” que se refiere a una reducción de oxígeno en la sangre circulante lo cual consiguientemente conduce a una hipoxia como queda definida.

El conocimiento de la hipoxia es de vital importancia para el personal de vuelo, dado que por el carácter insidioso y “traicionero” de sus síntomas, como veremos más adelante, se le considera como la emergencia médica más grave durante un vuelo.

1.1. TIPOS DE HIPOXIA

Dependiendo de los mecanismos causales, existen los siguientes tipos de hipoxia:

HIPOXIA HIPOXICA: Es la reducción de oxígeno en los tejidos del cuerpo resultante de respirar un aire con una presión parcial de oxígeno reducida, como sucede con la exposición a la altitud. Cualquier otro mecanismo que provoque una reducción de la presión alveolar de oxígeno, (neumonía, bronquitis severa, etc.) dará lugar a una hipoxia de éste tipo.

HIPOXIA ANEMICA: La reducción en la cantidad de glóbulos rojos ó de hemoglobina en la sangre se define como anemia. En esta condición patológica la sangre tiene reducida su capacidad para transportar el oxígeno a los tejidos del cuerpo, dando lugar a una hipoxia de este tipo cuya intensidad será proporcional a la gravedad de la anemia.

HIPOXIA POR ANEMIA FISIOLÓGICA: La hemoglobina de los glóbulos rojos de la sangre puede reducir su capacidad para transportar el oxígeno a los tejidos del cuerpo, cuando se combina con otros gases por los cuales presente una mayor afinidad, como sucede con el monóxido de carbono (CO), que es un producto de la combustión incompleta de la materia orgánica, como el tabaco, en los fumadores y los combustibles (gasolinas) de los automotores. En éstas condiciones las moléculas de la Hb combinadas con el CO, forman un compuesto químico, la carboxihemoglobina (HbCO), que “ocupa” a dichas moléculas, las cuales, por esa razón, no pueden transportar el oxígeno, provocando el déficit consiguiente de éste gas en los tejidos del cuerpo. Existen otras sustancias, como ciertos medicamentos (sulfadrogas, salicilatos, etc.) que en algunos individuos sensibles a éstos medicamentos, provocan alteraciones en la estructura química de la Hb, reduciendo la capacidad de éste pigmento para combinarse y transportar el oxígeno a los tejidos.

En algunos países, a estos dos últimos tipos de hipoxia se les clasifica en un solo tipo, denominado hipoxia hipémica.

HIPOXIA ESTÁTICA: Las fuerzas de la aceleración durante un vuelo provocan, entre otros efectos, el desplazamiento de la sangre circulante hacia diversos segmentos del cuerpo, provocando que otros reciban poca o ninguna irrigación sanguínea, lo cual se conoce como isquemia; esto reduce consiguientemente el aporte de oxígeno a estas áreas del cuerpo, originando éste tipo de hipoxia. Lo mismo sucede cuando se aplica una ligadura o un torniquete alrededor de una parte del cuerpo, impidiendo ó reduciendo el paso de la sangre hacia otra parte, dando lugar a la deficiencia del aporte de oxígeno.

HIPOXIA HISTOTÓXICA: El envenenamiento del sistema citocromo respiratorio por sustancias químicas como el cianuro, el plomo y otros metales pesados, y por el alcohol etílico, principal ingrediente de toda bebida alcohólica, provoca la incapacidad de las células intoxicadas para aprovechar el oxígeno circulante en la sangre, dando lugar a éste tipo de hipoxia. La “cruda” resultante de la ingestión de alcohol el día anterior, afecta el aprovechamiento del oxígeno, provocando hipoxia de éste tipo.

El conocimiento, por parte del personal de vuelo, de la hipoxia y sus diversos tipos, radica en el hecho de que en un mismo individuo pueden presentarse simultáneamente uno ó más tipos de ésta grave emergencia, agravando sus síntomas, y provocando que éstos se presenten a una menor altitud durante un vuelo.

1.2. ETAPAS SINTOMÁTICAS

Los síntomas de la hipoxia varían de un individuo a otro, y en una misma persona bajo diferentes condiciones; existen diversos factores que predisponen a la hipoxia, entre las cuales se citan las siguientes: Un deterioro de la condición física, principalmente de tipo cardio-respiratoria, la fatiga física, el hábito de fumar, la ingestión de bebidas alcohólicas, la aclimatación a la altitud. Otros factores que igualmente influyen son: La altitud de vuelo y el tiempo de exposición a la altitud.

Los síntomas de la hipoxia se suelen agrupar en fases o etapas, las cuales se manifiestan, como promedio y con variaciones naturales, en las altitudes y tiempos de exposición que se mencionan:

ETAPA INDIFERENTE: Se presenta desde el nivel del mar hasta una altitud promedio de 10 M', con un tiempo de exposición de 2 horas. Se denomina así porque generalmente, en un individuo sano, no se presenta ninguna alteración ostensible de hipoxia. La única manifestación presente es una disminución del ojo para adaptarse a la oscuridad con la consiguiente reducción de la visión nocturna. Ello es debido a que la

retina es la parte del sistema nervioso más sensible a la carencia del oxígeno. Por ésta razón los pilotos, sobre todo en la aviación militar, que deben mantener su visión al exterior durante vuelos nocturnos, requieren respirar oxígeno suplementario desde el momento del despegue.

ETAPA COMPENSATORIA: Se presenta de los 12 M' a los 15 M' de altitud, con un tiempo de exposición promedio de 30 minutos: Se llama así porque a estas altitudes de vuelo, unos centros nerviosos llamados quimio-receptores localizados en el cuello en la pared de las arterias carótidas, y en el cayado de la arteria aorta, detectan la deficiencia de oxígeno ya existente en los tejidos, y envían estímulos nerviosos al corazón aumentando la frecuencia de sus (latidos / taquicardia) para aumentar el gasto cardíaco, es decir, la cantidad de sangre expulsada por el corazón por minuto, y al centro respiratorio para aumentar también la frecuencia respiratoria (hiperventilación compensatoria) para un mayor aporte de oxígeno hacia el alveolo pulmonar. Pese a éstos mecanismos compensatorios, en esta etapa ya se manifiestan algunos síntomas debidos a la deficiencia de oxígeno, como son: fatiga, dolor de cabeza, mareo, somnolencia y apatía.

ETAPA SINTOMÁTICA: Se presenta a altitudes entre los 15 M' y los 18 M', con periodos de exposición hasta de 15 minutos. En ésta etapa en donde se manifiestan todos los síntomas y signos por los que la hipoxia se considera la emergencia médica más grave en vuelo, y que son: visión borrosa por disminución de la agudeza visual, reducción del campo visual (visión de túnel) incoordinación motora progresivamente creciente, que se inicia con una torpeza o dificultad para realizar movimientos finos con las manos, seguida de temblor de las mismas que se convierte en movimientos de tipo convulsivo; hay una alteración de la memoria, del juicio y del razonamiento de lo cual la persona afectada no se percata, dado que aunque se le dicten instrucciones correctivas para remediar su carencia grave de oxígeno, es incapaz de llevarlas a cabo. Hay cambios de la conducta y de la personalidad manifestados por un estado de euforia o falso bienestar, o estados depresivos o agresividad, simulando un estado de intoxicación alcohólica. Las uñas y los labios se tornan de color violáceo (cianosis) atribuibles a la baja concentración de oxihemoglobina.

ETAPA CRÍTICA: Se presenta a altitudes por encima de los 20 M' con periodos de exposición hasta de 5 minutos. En ésta etapa se agravan los síntomas y signos de la etapa anterior, y si la deficiencia de oxígeno no se logra corregir, se presentan crisis convulsivas generalizadas y pérdida del conocimiento, pudiendo llegar hasta la muerte por paro respiratorio.

1.3. MEDIDAS PREVENTIVAS

Las medidas de prevención contra la hipoxia son:

Crear en el personal de vuelo una conciencia de que la hipoxia existe, de que no hay persona inmune a la deficiencia del oxígeno, a través de los cursos de entrenamiento fisiológico que se deben impartir a dicho personal.

Sesiones de entrenamiento fisiológico en cámara de altitud al personal de vuelo, en las que se demuestren en forma práctica, los efectos de la hipoxia por exposición a la altitud, y se les familiarice con el empleo de los sistemas de oxígeno a bordo de las aeronaves.

Insistírle al personal de vuelo que debe utilizar el oxígeno suplementario de acuerdo con lo que le señale el altímetro, por encima de los 10 M', y no cuando aparezcan los síntomas de la hipoxia, pues en esta última condición será demasiado tarde para remediarla.

1.4. TIEMPO UTIL DE CONCIENCIA (TUC)

El tiempo útil de conciencia se define como el lapso en que una persona es capaz de realizar actos perfectamente consciente y normal, a partir del momento en que le falta un aporte adecuado de oxígeno. El tiempo útil de conciencia se reduce progresivamente con la altitud, aun cuando presenta variaciones individuales y en una misma persona, igual que el mencionado con relación a la hipoxia.

Cabe hacer mención que en el caso de una descompresión de cabina durante un vuelo, el TUC se reduce a la mitad o a la tercera parte, como consecuencia de la descompresión súbita del pulmón y la remoción del volumen de reserva, la consiguiente privación absoluta del oxígeno alveolar, las alteraciones bruscas de la mecánica respiratoria y otros efectos físicos, fisiológicos y psicológicos de la propia descompresión. Es por ello importante para los pilotos, en caso de vuelos por encima de los 35 M' de altitud, el llevar sus equipos de oxígeno en posición fácilmente accesible para su uso, dado que el tiempo de que dispondrán para adaptárselo en caso de una descompresión de cabina, se reduce a pocos segundos.

1.5. HIPERVENTILACION

El miedo, la ansiedad, la tensión nerviosa, y la propia voluntad, provocan un aumento en la frecuencia respiratoria que trae consigo una exhalación exagerada de bióxido de carbono (CO₂), el cual es el estimulante químico más importante del centro respiratorio. Este desplazamiento del CO₂ da lugar a una alcalosis de la sangre, que desplaza la curva de disociación de la Hb hacia la izquierda reduciendo con ello el aprovechamiento del oxígeno. A éste fenómeno se le llama hiperventilación y sus síntomas son: sensación de hormigueo (parestias) en los dedos de manos y pies, con una contractura espástica en extensión de los mismos, temblor progresivamente creciente de las extremidades, palidez de los tegumentos y pérdida del conocimiento con movimientos, en ocasiones, de tipo convulsivo.

La ausencia de estímulo químico del centro respiratorio por la expulsión del CO₂ produce un periodo de apnea (falta de respiración) durante el cual el CO₂ se acumula nuevamente en los tejidos, y al estimular nuevamente el centro respiratorio se reanuda la respiración, y se recupera progresivamente el paciente. Aun cuando el proporcionar oxígeno suplementario ayuda algo a la recuperación del paciente hiperventilado, es mas útil y más recomendable pedirle que respire mas lentamente, que suspenda momentáneamente su respiración, ó que respire dentro de una bolsa (a bordo del avión una bolsa de mareo es excelente para éste fin), eso hará que suban los niveles del CO₂, que se estimule el centro respiratorio y cedan los síntomas.

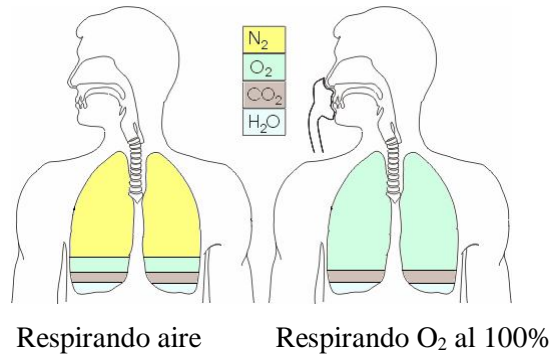
1.6. PRESION ALVEOLAR DE LOS GASES

A nivel del mar las presiones alveolares de los gases son las siguientes:

paO ₂	= 103 mmHg.
paCO ₂	= 40 mmHg.
paH ₂ O	= 47 mmHg.
paN ₂	= 570 mmHg.

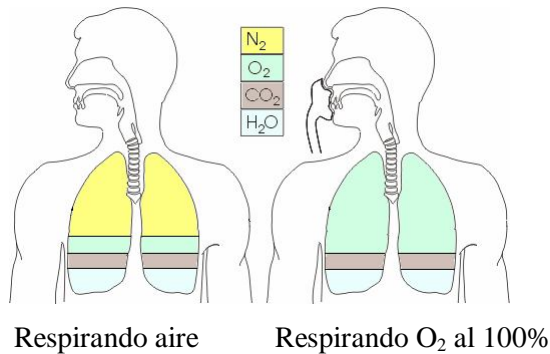
Nivel del Mar - 760 mmHg

De acuerdo con estos valores, a nivel del mar el vapor de agua (H₂O) y el CO₂ combinados ejercen una presión de 87 mmHg, y ocupan aproximadamente un 11% del volumen pulmonar ($87/760 = 11\%$); el O₂ ocupa un 14% ($103/760 = 14\%$) y el N₂ aproximadamente el 75 % restante.



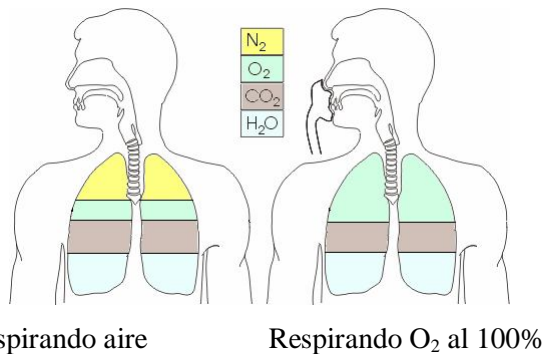
Nivel de 18,000' - 380 mmHg

Con la altitud la presión del CO₂ disminuye, pero no en la misma proporción que la del O₂, y el vapor de agua ejerce una presión constante de 47 mmHg a cualquier altitud. En ésta forma, a la altitud de 18 M', donde la presión barométrica es de 380 mmHg, la combinación del CO₂ y el H₂O ocuparán un 21 % del volumen pulmonar ($31+47 / 380 = 21\%$).



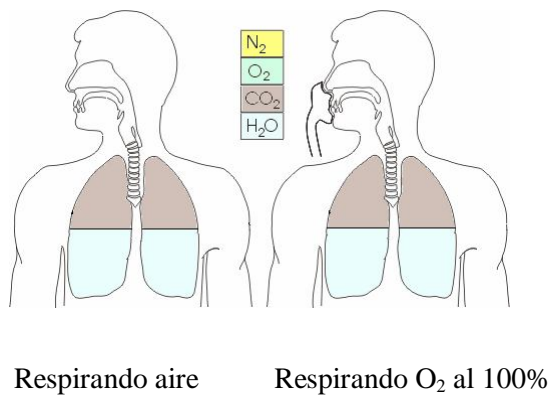
Nivel de 34,000' - 187 mmHg

A la altitud de 34 M', el CO₂ ejerce una presión de 30 mmHg y combinado con el H₂O ocuparán ya un 50% del volumen pulmonar ($30+47/155 = 50\%$).



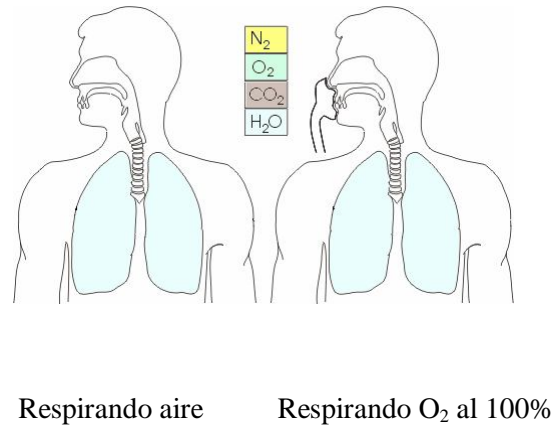
Nivel de 50,000' - 87 mmHg

A medida que se asciende, el volumen ocupado por el CO₂ y el H₂O en el pulmón aumenta, reduciendo el volumen ocupado por el oxígeno, de tal forma que a la altitud de 50 M', en donde la presión atmosférica es de 87 mmHg, se iguala con la presión combinada ejercida por éstos dos gases ($40+47/87 = 100\%$), por lo que a ésta altitud no se puede obtener una presión alveolar de O₂ suficiente para vivir, aún cuando se respire un 100% de oxígeno a la presión normal.



Nivel de 63,000' - 47 mmHg

A la altitud de 63 M' en donde la presión atmosférica es de 47 mmHg, exactamente igual a la ejercida por el vapor de agua, el volumen pulmonar estará totalmente ocupado por este gas. A ésta altitud los líquidos de los tejidos de un individuo no protegido entran en ebullición (hierven) espontáneamente, no por calentamiento sino porque tales líquidos tienden a salir de su recipiente al equipararse su presión con la del exterior. A esta altitud se le llama "Línea de Armstrong" por haber sido el Dr. Harry G. Armstrong quien lo descubrió.



Ello significa que a la altitud de 40 M' respirando 100% de O₂ a la presión normal, la presión alveolar de O₂ será solo de 60 mmHg, y el porcentaje de saturación de la Hb será aproximadamente de un 90%, llegando al límite de la porción plana de la curva de saturación de la Hb, es decir, se estará en los límites superiores de la etapa indiferente de la hipoxia. Por encima de ésta altitud se habrá de recurrir a un equipo de respiración que provea el oxígeno a presión, a fin de reducir con ello el volumen ocupado por el CO₂ y el vapor de H₂O y poder recibir algo de oxígeno. Sin embargo como se verá más adelante el uso de éste tipo de equipos tiene sus limitaciones y solo protegerá al usuario hasta una altitud máxima de 43 M' o 43.5 M' por un tiempo limitado. Por lo que a éstas altitudes y por encima habrá de recurrirse a algún sistema que reduzca la expansión de aquellos dos gases, y permita la llegada del O₂ al alveolo. Este sistema es la recompresión, proporcionada en la aviación civil, por una cabina a presión, y en la aviación militar por éste mismo sistema y/o un traje a presión.

De todo lo anterior se concluye, que para prevenir los efectos de la hipoxia durante un vuelo, se deberán cumplir las siguientes normas:

- Uso del oxígeno suplementario por encima de los 10 M'.
- Respirar oxígeno al 100 % a la altitud de 40 M'.
- Respirar oxígeno a presión hasta una altitud máxima de 43.5 M', por un tiempo limitado.
- Por encima de ésta última altitud se requiere recompresión provista por una cabina presurizada ó un traje a presión.

1.7. SISTEMAS DE OXIGENO PARA RESPIRAR EN LA AVIACION

El oxígeno utilizado para respirar en la aviación, se emplea actualmente en diversas formas o presentaciones:

OXIGENO GASEOSO: Es el más ampliamente utilizado y conocido. Tiene como características que lo distinguen del oxígeno industrial o medicinal, su pureza casi absoluta de 99.8% y su carencia casi total de humedad. Se presenta en cilindros de baja presión, codificados con el color amarillo, y con una presión máxima de 500 lb/plg² (425 - 450 lb/plg² cuando están llenos), y de alta presión codificados con color verde y con una capacidad máxima de 2,000 lb/plg² (1,800 - 1,850 lb/plg² cuando están llenos).

OXIGENO LIQUIDO: Se almacena en recipientes metálicos de doble fondo llamados convertidores en donde se envasan y se mantiene en estado líquido mediante una gran presión y una muy baja temperatura. Tiene en su interior una especie de serpentín a través del cual, mediante calentamiento, fluye el oxígeno convertido en gas. Tiene la

ventaja de su poco peso y de ocupar poco espacio y proveer una reserva de oxígeno considerable. Dada su alta peligrosidad explosiva y requerir un equipo y personal altamente sofisticado y especializado para su manejo, no se emplea en la aviación comercial sino solo en cierto tipo de aviones militares y en los vuelos espaciales.

OXIGENO SOLIDO: La generación química de oxígeno ofrece algunas ventajas sobre los sistemas de oxígeno gaseoso; el estar auto contenidos, su fácil almacenamiento, su regulación de flujo sencilla y una vida hasta de 20 años son algunas de tales ventajas. Una vez activado sin embargo, el generador continua produciendo oxígeno hasta que el generados químico se agota.

Actualmente las combinaciones químicas o los sistemas de oxígeno sólido están limitados para uso de emergencia para pasajeros tanto en aviones civiles como militares. El sistema consiste de una máscara de flujo continuo con ganchos conectados a unos pernos activadores de una bujía de clorato de sodio o algún dispositivo similar productor de oxígeno. Al remover la mascarilla e iniciar la activación de los pernos, se inicia una reacción química. Una de tales bujías utiliza la siguiente reacción: $\text{NaClO}_3 + \text{Fe} = \text{FeO} + \text{NaCl} + \text{O}_2$.

Para iniciar el proceso químico se provee calor hacia un área enriquecida con hierro por el tapón percusor o encendedor de fricción. Cuando la temperatura de la reacción llega por encima de los 250 °C el proceso es auto sostenible y la reacción procede a todo lo largo de la bujía. La cantidad de oxígeno producido depende del tamaño y el grado de encendido de la bujía.

SISTEMAS GENERADORES DE OXIGENO A BORDO (OBOGS): Son equipos que utilizando el aire a presión provisto por las turbinas del avión generan oxígeno para las tripulaciones en forma permanente mientras se encuentren en uso. Este proceso se lleva a cabo mediante la utilización de un tamiz molecular; cada tamiz molecular contiene compuestos de aluminio silicatos cristalinos llamados zeolitas, a medida que el aire presurizado pasa a través de la cama del tamiz la mezcla de aire es separado en sus diversos componentes. La porción enriquecida de oxígeno se separa y es temporalmente almacenada en un recipiente del cual fluye hacia el regulador de respiración y de ahí a la mascarilla.

Una de las mayores desventajas de este sistema es la presencia de impurezas ya que las unidades operacionales pueden solo proveer hasta un 95% de oxígeno con presencia de un 5% de argón; sin embargo, recientes desarrollos de laboratorio usando tamices de carbón molecular fueron capaces de producir oxígeno con una pureza de hasta 99%.

COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE OXIGENO

Todos los sistemas de oxígeno para respirar en la aviación, con diferentes variedades y tipos están compuestos por 5 elementos constantes:

RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO: Cilindros de oxígeno gaseoso, convertidores de oxígeno líquido, bujías de oxígeno sólido y generadores de oxígeno.

SISTEMAS DE CONDUCCION: Son los conductos o tuberías por las cuales circula el oxígeno del recipiente de almacenamiento hacia los reguladores, o de estos hacia las mascarillas de respiración; pueden ser de acero inoxidable, tuberías de cobre o de otro tipo de metales, de materiales plásticos o de polietileno como sucede en las aeronaves pequeñas.

REGULADORES DE OXIGENO: Son los dispositivos mediante los cuales, como su nombre lo indica, regulan el flujo y la presión de oxígeno.

Se conocen 3 tipos:

DE FLUJO CONTINUO: Aquellos que proveen oxígeno tanto durante la fase inspiratoria como expiratoria de la respiración.

DE DILUCION - DEMANDA: Diluyen el oxígeno con aire ambiental hasta una determinada altitud; están provistos de una doble entrada, una de oxígeno y otra de aire regulada por un sistema de aneroides; están dotados de una válvula automezcladora con dos posiciones: normal y 100%.

Cuando la válvula se coloca en posición normal, y la aeronave se encuentra a nivel del suelo, la entrada de oxígeno esta totalmente cerrada y la válvula de aire totalmente abierta, es decir, el usuario respira aire atmosférico; a medida que la aeronave se eleva, los aneroides se van expandiendo bloqueando progresivamente la entrada de aire y abriendo en la misma forma la entrada de oxígeno hasta alcanzados los 39 M' en donde automáticamente se cierra la entrada de aire y se abre totalmente la de oxígeno para respirar este gas al 100%. Cuando la válvula auto mezcladora se coloca en la posición de 100%, se bloquea la entrada de aire y por consiguiente se respirará oxígeno al 100% en cualquier altitud.

DE PRESION - DEMANDA: Funcionan de igual manera que los reguladores de dilución - demanda anteriormente mencionados hasta la altitud de 40 M' y por encima de esa altitud mediante un mecanismo que forza la mayor apertura de la válvula de oxígeno empiezan a proveer este gas a presión hasta un máximo de 30 mmHg o 12 pulgadas de agua [plgH₂O]. El uso del sistema de respiración a presión tiene sus limitaciones debido a que: su uso es altamente fatigante dado que invierte el ciclo respiratorio haciendo que la inhalación se vuelva pasiva y por el contrario la exhalación se vuelva activa.

Otra desventaja es que aumenta la presión intra pulmonar por la sobre distensión forzada del parénquima del pulmón provocando que la circulación de retorno se dificulte y se produzca un estancamiento de la sangre venosa en las porciones inferiores del cuerpo. Otra tercera desventaja lo constituye la posibilidad de provocar hiperventilación en los individuos no familiarizados con el uso de los sistemas de respiración a presión.

INDICADORES: Estos son los dispositivos utilizados en los sistemas de oxígeno para indicar el contenido o la reserva de oxígeno en el sistema (manómetros) y por otra parte los indicadores de flujo que señalan al usuario que el oxígeno esta fluyendo del regulador hacia la mascarilla.

MASCARILLAS: Son los dispositivos generalmente de tipo oronasal que adaptados a la cara del usuario sirven para que este reciba el flujo de oxígeno. Su forma, tamaño, características, materiales son sumamente variadas dependiendo del tipo de regulador con las cuales se este utilizando esta mascarilla. Mencionando únicamente que las de flujo continuo se identifican fácilmente por tener adaptada lo que se llama una bolsa de respiración que sirve para almacenar el oxígeno que fluye hacia la mascarilla durante la fase espiratoria del ciclo respiratorio.

Cada tipo de mascarilla tiene un limite de altitud para su uso con toda seguridad: las de flujo continuo se recomiendan hasta una altitud máxima de 25 M' y las de dilución -

demanda hasta una altitud máxima de 35 M'; las de presión - demanda se usan para altitudes por encima de estas con toda eficiencia, sobre todo en la aviación militar, ya que este tipo de aviones y sus tripulantes están provistos con otros sistemas de apoyo como son la cabina presurizada y el traje a presión.

El conocimiento de los diversos sistemas de oxígeno y su manejo y operación son de primordial importancia para la seguridad de los tripulantes y sus pasajeros durante un vuelo, por lo que la revisión prevuelo de éstos equipos debiera ser obligatoria.

Para facilitar a los tripulantes el llevar a cabo éste revisión prevuelo, y mantener en mente cada uno de sus pasos o etapas, se sugiere utilizar la siguiente nemotecnia: CRISTO, en donde:

C = Conexiones: Verificar que las conexiones de todo el sistema, tanto de los recipientes de almacenamiento a los reguladores, como de éstos a las mascarillas, se encuentren perfectamente aseguradas y que no haya posibilidad de fugas o roturas.

R = Reguladores: Revisar su integridad, su funcionamiento, activar la válvula de "test" y la de "emergencia" para verificar su funcionamiento correcto, así como la válvula auto mezcladora.

I = Indicadores: Verificar los indicadores de presión (manómetros) y los indicadores de flujo (blinkers) para que sus indicaciones y funcionamiento sea el correcto.

S = Sistemas de sujeción: Asegurarse de que los recipientes de almacenamiento del oxígeno y sus demás componentes, estén perfectamente sujetos a la estructura del avión, y de que no exista el riesgo de su caída, o desplazamiento anormal durante el vuelo.

T = Tuberías ó sistemas de conducción: Asegurarse de que las tuberías de conducción del sistema de oxígeno de la aeronave se encuentren en buen estado de conservación, que no se encuentren "picadas" o con torceduras o cortadas, que permitan fugas u obstrucciones del gas.

O = Oxígeno de reserva: Percatarse perfectamente de las reservas de oxígeno en el sistema y en los equipos portátiles a bordo, para asegurar que no falte este gas en caso necesario durante un vuelo, tanto para uso suplementario en caso de una descompresión de cabina, como para uso terapéutico a bordo.

2 DISBARISMO

Es el término que genéricamente se emplea para definir las alteraciones de los gases en el organismo, como consecuencia de la exposición a los cambios de la presión atmosférica. Su estudio abarca dos fases o capítulos: los efectos sobre los gases encerrados en cavidades orgánicas, y los efectos sobre los gases disueltos en los tejidos y líquidos orgánicos.

2.1. EFECTOS SOBRE LOS GASES ENCERRADOS EN CAVIDADES ORGANICAS

La Ley de Boyle - Mariotte establece que: a temperatura constante el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión que se ejerce sobre dicho gas, o sea que con el ascenso a la altitud, al reducirse la presión atmosférica, el aire se expande para ocupar un mayor volumen. Esta expansión del aire seco de la atmósfera puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$V_2 = \left(\frac{Pa_1}{Pa_2} \right) V_1$$

En donde:

Pa_1 - Presión atmosférica a nivel del mar.

Pa_2 - Presión atmosférica a una altitud determinada.

V_1 - Volumen inicial del gas.

V_2 - Volumen final alcanzado por el gas en la altitud.

Como ya se mencionó, el aire al entrar al cuerpo humano se satura con vapor de agua, y este se comporta como otro gas ejerciendo una presión constante de 47 mmHg a la temperatura corporal de 37 °C, en cualquier altitud, por lo que para calcular la expansión de un gas dentro de nuestro cuerpo con la exposición a la altitud, la ecuación deberá modificarse de la siguiente manera:

$$V_2 = \left(\frac{Pa_1 - 47}{Pa_2 - 47} \right) V_1$$

Deberá sustraerse a las presiones atmosféricas la cifra de 47 mmHg, que representa la presión ejercida por el vapor de agua que satura el gas dentro de nuestro cuerpo. Como puede verse en el siguiente ejemplo a la altitud de 10 M' señala una diferencia entre el aire seco y el aire húmedo con una expansión mayor de este último:

Ejemplo: Para calcular expansión de 1.0 litro de gas a la altitud de 34 M', se utiliza la siguiente ecuación:

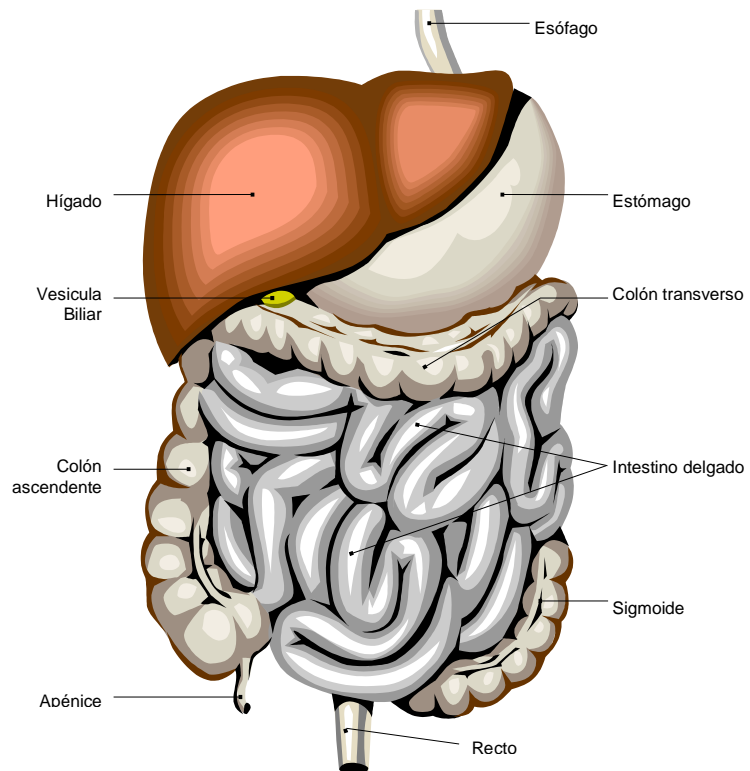
$$\text{En el aire seco } V_2 = \left(\frac{760}{187} \right) (1) = 4.06$$

$$\text{En el aire húmedo } V_2 = \left(\frac{760 - 47}{187 - 47} \right) (1) = 5.09$$

El gas encerrado en cavidades orgánicas se localiza en: el aparato digestivo, en el oído medio, en los senos paranasales y en algunas cavidades dentarias.

DISBARISMO EN EL APARATO DIGESTIVO

En todo el trayecto del aparato digestivo se localiza gas en cantidad variable desde 500 cc hasta ocasionalmente 1500 cc; el origen de este gas es en su mayor proporción, aire deglutido, y el resto es producido por los procesos digestivos y la fermentación bacteriana de los alimentos. En condiciones normales este gas tiende a mantenerse en equilibrio con el aire exterior mediante su expulsión por la boca o por el recto.



Existen ocasionalmente condiciones anormales que pueden dar lugar a una mayor formación de gas en el tracto gastrointestinal (trastornos inflamatorios de las vías digestivas, alteraciones de los procesos digestivos, ingestión exagerada de cierto tipo de alimentos altamente formadores de gas o deglución excesiva de aire), o a una limitación o imposibilidad para la expulsión de gas hacia el exterior (procesos oclusivos del tracto gastrointestinal de cualquier origen) que con la exposición a la altitud provoquen distensión exagerada de las vísceras gastrointestinales provocando dolor que puede ser suficientemente intenso para ocasionar un cuadro severo de sobre distensión abdominal acompañado de trastornos neurovegetativos dando lugar a palidez, sudoración, hipotensión arterial y colapso.

PREVENCION EN EL APARATO DIGESTIVO

Evitar el hábito de masticar chicle para reducir la deglución excesiva de aire.

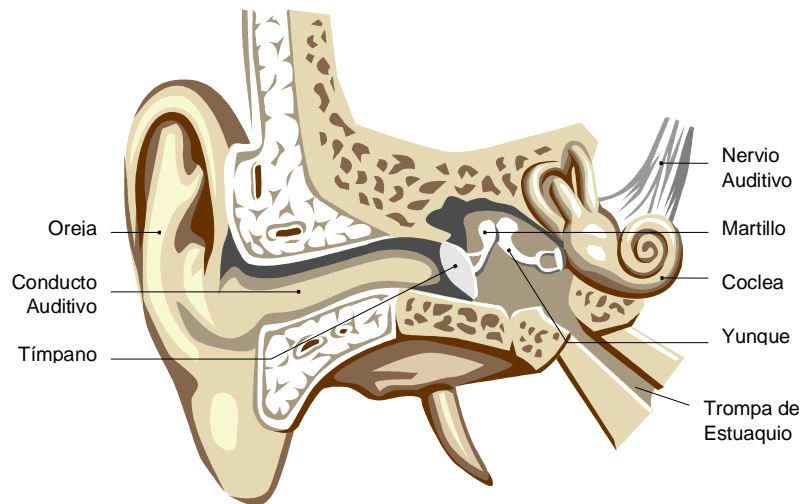
Mantener buenos hábitos de alimentación.

Evitar la ingestión de alimentos altamente formadores de gas (col, manzanas crudas, apio, embutidos, alimentos ricos en grasas, bebidas gaseosas, etc.) antes de un vuelo.

Evitar el vuelo con trastornos digestivos agudos y crónicos susceptibles de agravarse en vuelo.

DISBARISMO EN EL OIDO MEDIO

El oído humano consta de 3 partes o sectores:



OIDO EXTERNO: Constituido por el pabellón de la oreja y el conducto auditivo externo.

OIDO MEDIO O CAJA DEL TIMPANO: Cavidad enclavada en el espesor del hueso temporal, separada del oído externo por la membrana del tímpano, que es una membrana de aproximadamente 0.004 plg de grosor, en la cual se articula la porción vertical del martillo, que junto con el yunque y el estribo, constituyen la cadena oscicular del oído medio. Las demás paredes del oído medio están cubiertas por una capa mucosa, y esta cavidad se comunica con la rinofaringe a través de un conducto llamada trompa de Eustaquio que en su tercio o cuarta parte inicial o medial es de consistencia ósea, y el resto es muscular y membranoso por lo que su cavidad es prácticamente virtual dado que sus paredes permanecen adosadas. En la unión de la porción ósea con la porción músculo membranosa de la trompa de Eustaquio, existe un estrechamiento cuya función se describe más adelante. El orificio de salida de la trompa de Eustaquio a nivel de la rinofaringe, esta situado exactamente atrás de las coanas u orificio posterior de las fosas nasales, y tiene como característica el que su labio superior se prolapsa ligeramente manteniendo en esta forma cerrados su orificio en situación de reposo.

OIDO INTERNO: Es la parte anatómica y funcionalmente más importante del oído; esta constituida por dos sectores: uno situado en la parte anterior encargado de la audición llamada porción coclear. En la parte posterior se localiza el laberinto o sistema vestibular, encargado del equilibrio cuya importancia es vital en los procesos de desorientación espacial que se describirán en el capítulo correspondiente.

EQUILIBRIO DE PRESIONES EN EL OIDO MEDIO

A nivel del suelo el aire del oído medio se mantiene en equilibrio con el aire exterior y el tímpano se mantiene estable en su posición normal; durante el ascenso, dado que la presión atmosférica va disminuyendo progresivamente, la presión del aire dentro del oído se encuentra a una presión mayor creándose por esta razón una presión diferencial que “empuja” el tímpano hacia fuera provocando una sensación de llenura o de sordera parcial; cuando esta presión diferencial alcanza los 15 mmHg, lo que se logra con un ascenso cada 500 ó 1000 pies, se fuerza la salida de una burbuja de aire hacia el exterior a través del estrechamiento antes mencionado de la trompa de Eustaquio; esto equilibra temporalmente la presión con lo cual el tímpano regresa a su posición normal; si el ascenso continua, esta misma operación se va repitiendo cada 500 ó 1000 pies, es decir, durante el ascenso el equilibrio de presiones entre el aire del oído medio y el aire atmosférico se realiza automáticamente.

Durante del descenso, sucede exactamente lo contrario, es decir, debido a que la presión atmosférica va aumentando progresivamente el tímpano se retrae hacia adentro por la presión diferencial creada a su través, esta vez por mayor presión del aire atmosférico; para lograr el equilibrio de presiones en el oído, el aire tiene que entrar de la rinofaringe hacia el oído medio a través de la trompa de Eustaquio, lo cual no puede llevarse a cabo a menos que se abra el orificio de desembocadura de este conducto, el cual como ya se mencionó dada su conformación anatómica permanece cerrado; para lograr la apertura y permitir el paso del aire a su través se requiere de movimientos de masticación, deglución o bostezo mediante los cuales los músculos faríngeos abran este orificio para permitir el paso del aire; en consecuencia, el equilibrio de presiones en el oído medio durante el descenso no es automático sino que requiere la realización de este tipo de movimientos para permitir el paso del aire hacia el oído medio.

Ocasionalmente esto no es suficiente, entonces se requiere crear una presión positiva de aire en la rinofaringe para forzar la apertura del orificio de la trompa de Eustaquio y permitir el paso del aire hacia el oído; esto se logra mediante diversas maniobras como son:

MANIOBRA DE VALSALVA: Consiste en realizar una espiración forzada con la oclusión de ambas fosas nasales mediante los dedos pulgar e índice y los labios cerrados.

MANIOBRA DE FRENZEL: Se realiza mediante el cierre de la glotis y los labios mientras se ocluyen ambas fosas nasales y simultáneamente se contraen los músculos del techo de la boca y la faringe.

MANIOBRA DE TOYNBEE: Consiste en realizar movimientos de deglución con ambas fosas nasales ocluidas; es más útil para “chechar” la permeabilidad de la trompa, pero no es muy recomendable realizarla durante el descenso.

BAROTITIS O AEROTITIS

Los procesos inflamatorios de las vías aéreas superiores de cualquier causa, bacterianos, virales, alérgicos, traumáticos, etc., que den lugar a una oclusión parcial o total de la trompa de Eustaquio, dificultan o impiden el paso del aire a través de este conducto y consecuentemente el equilibrio de presiones en el oído medio no puede realizarse dando lugar a una presión diferencial exagerada, entre el aire del oído medio y el aire atmosférico. Esta presión diferencial entre el aire de esta cavidad y el aire atmosférico, ocasionan la inflamación de la mucosa del oído medio y de la membrana timpánica dando lugar a un padecimiento denominado barotitis o aerotitis, el cual se puede definir en la siguiente forma: padecimiento agudo, traumático, del oído medio provocado como consecuencia de una presión diferencial entre el aire de esta cavidad y el aire atmosférico.

La barotitis o aerotitis constituye una de las patologías más frecuentes del personal de vuelo, causado por los procesos inflamatorios de las vías aéreas superiores (faringitis, amigdalitis, rinofaringitis, catarro común, etc.), los cuales al ocasionar un edema o inflamación de estas estructuras anatómicas del aparato respiratorio alto, bloquean el paso del aire a través de la trompa de Eustaquio y consecuentemente evitan el equilibrio de presiones.

Este padecimiento se presenta principalmente, pero no exclusivamente, durante el descenso de un vuelo, y su intensidad o sintomatología dependerá de la velocidad de descenso, de la altitud de la cual se desciende y del grado de obstrucción de la trompa de Eustaquio. A mayor velocidad de descenso, más severos serán los síntomas; cuando se desciende, por ejemplo, de los 10 M' a nivel del mar, los síntomas serán más severos que cuando se desciende de los 20 M' a los 10 M' dado que en la primera altitud el cambio de presión es mayor.

SINTOMAS: Se inicia con una sensación de llenura o sordera de uno o ambos oídos seguido de dolor progresivamente creciente a medida que el descenso continúa y la presión diferencial aumenta, llegando a ser excesivamente intenso acompañándose de zumbido de oído (acufeno), mareo, sensación de vértigo y ocasionando, cuando la intensidad es muy alta, palidez, sudoración, náusea y vómito y hasta colapso de la persona afectada. Cuando la presión diferencial entre el aire del oído medio y el aire atmosférico sobrepasa los 100 mmHg, puede provocarse la ruptura del tímpano con lo cual se reduce de inmediato la intensidad del dolor, persistiendo una sensación de dolorimiento en el oído afectado y la presencia de sangre (otorragia) en el conducto auditivo, como consecuencia de la ruptura de los vasos de la membrana timpánica afectada.

A la exploración clínica de estos casos con el otoscopio, se observa desde la retracción de la membrana timpánica hasta la completa alteración de dicha membrana la cual en lugar de su característica coloración blanco nacarada, se transforma en un color rojo con presencia ocasional de sangrado (hemotímpano) y líquido (trasudado) con burbujas a través de la membrana provocadas por la inflamación excesiva de la membrana mucosa del oído medio.

MEDIDAS PREVENTIVAS

La medida preventiva esencial consiste en evitar realizar actividades de vuelo cuando existan síntomas de catarro común o de cualquier proceso inflamatorio de las vías respiratorias superiores de los antes mencionados. Debe consultarse al médico especialista en Medicina de Aviación para que por medio de una evaluación clínica que incluye preferentemente la práctica de una impedanciometría, se determinen las condiciones de permeabilidad de la trompa de Eustaquio, la existencia de estados inflamatorios del oído medio y se pueda dictaminar mediante estas pruebas objetivas, la aptitud de la persona afectada para realizar o no las actividades de vuelo.

En caso de presentarse un estado gripal o un proceso inflamatorio de las vías respiratorias altas fuera de su base, y se tenga que realizar obligatoriamente un vuelo, se recomienda lo siguiente para prevenir un proceso de barotitis o aerotitis:

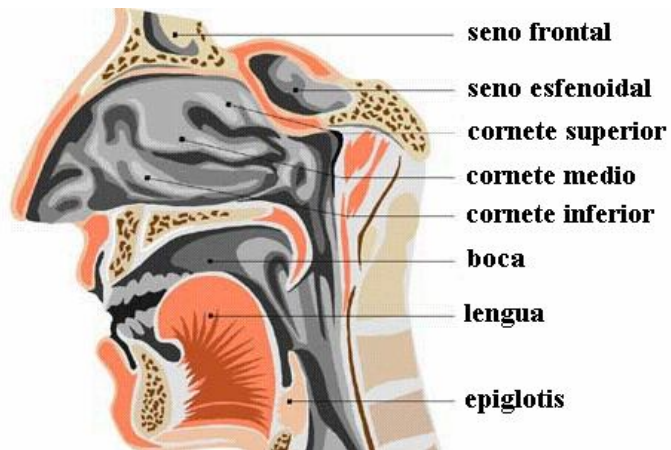
Procure utilizar un atomizador nasal previo a su vuelo para ventilar sus fosas nasales. Actualmente existen este tipo de atomizadores cuya fórmula incluye vaso constrictores nasales, antihistamínicos tópicos y pequeñas dosis de corticosteroides altamente eficientes y con nulos efectos secundarios para producir una adecuada ventilación nasal y de la trompa de Eustaquio.

Realice su descenso lentamente y en el caso de contar con cabina a presión reduzca el régimen de despresurización, puede utilizar un vaso constrictor sistémico (ejemplo Sudafed tabletas), a base de pseudo efedrina, ya sea solo o combinado con un analgésico y un antihistamínico de nueva generación que no produzcan efectos colaterales que comprometan o afecten su eficiencia o su seguridad durante el vuelo.

Finalmente recuerde que el realizar maniobra de Valsalva durante el descenso le ayudará igualmente a ventilar su oído medio y evitar un baro trauma.

EN LOS SENOS PARANASALES

Los senos paranasales son cavidades huecas enclavadas en el espesor de los huesos de la cara y el cráneo; todos se comunican a través de pequeños conductos denominados “ostium” con las fosas nasales, desembocando en los meatos nasales localizados en las paredes laterales de la nariz, entre los cornetes superior, medio e inferior. Sus paredes en su totalidad óseas, están cubiertas de una superficie mucosa.



Los senos paranasales son los senos o antros maxilares localizados en el espesor del hueso maxilar superior y comunicados con el meato medio; los senos frontales localizados en el hueso frontal a uno y otro lado de la unión fronto - nasal, su ostium comunica con el meato superior; el seno esfenoidal, localizado en la base del cráneo en el hueso esfenoides, y comunicado con la fosa nasal a nivel del meato superior y las celdillas o senos etmoidales que a manera de un panal de abeja se localizan en la parte posterior y lateral de las fosas nasales, en el espesor del hueso etmoides.

EQUILIBRIO DE PRESIONES EN LOS SENOS PARANASALES

Como cavidades huecas con paredes en su totalidad óseas, el aire en su interior tiende a mantenerse en equilibrio con el aire atmosférico a través de su comunicación con las fosas nasales, es decir, con el ascenso durante un vuelo el aire de su interior sale hacia la nariz para mantener su equilibrio y durante el descenso el aire circula a través de los ostium en sentido contrario, es decir, del exterior hacia la cavidad del seno.

BAROSINUSITIS O AEROSINUSITIS

El catarro común, la rinitis de cualquier causa, virales, bacterianas, alérgicas, traumáticas, etc., las desviaciones del tabique nasal de tipo obstructivo, las hipertrofias o deformaciones de los cornetes nasales o la poliposis nasal, provocan entre otros síntomas y signos, edema, congestión, escurrimiento o constipación nasal, reducción o bloqueo de la ventilación nasal y consecuentemente ocluyen parcial o totalmente los conductos u ostium de los senos paranasales ocasionando con ello la dificultad o imposibilidad de la circulación del aire en uno y otro sentido creando con los cambios de altitud, una presión diferencial entre el aire atmosférico y el contenido en la cavidad del seno; esta presión diferencial, dependiendo de la intensidad de la misma produce la inflamación de la mucosa del seno desencadenando los síntomas de la barosinusitis o aerosinusitis.

La barosinusitis se define como un proceso agudo, traumático, de uno o varios de los senos paranasales provocados por una presión diferencial entre el aire atmosférico y el contenido en la cavidad del seno.

Los senos más frecuentemente afectados son: los senos frontales en primer lugar y los senos maxilares en segundo. Los síntomas más frecuentes aparecen durante el descenso de un vuelo, aunque no es raro presentar también la barosinusitis durante el ascenso.

SINTOMAS: Inicialmente son la sensación de plenitud o presión en el área afectada seguida de dolor progresivamente creciente a medida que la presión diferencial aumenta, el cual ha de manifestarse en la región fronto - nasal, en uno o ambos pómulos y en las sienas o regiones temporales, llegando a ser sumamente intenso dando lugar a síntomas neurovegetativos como

son palidez, sudoración, mareo, hipotensión arterial y hasta colapso. Se acompañan en ocasiones de dolor en las piezas dentarias superiores por la contigüidad de estas piezas con el piso del seno maxilar así como dolor y congestión ocular por la contigüidad del globo del ojo con el techo del seno maxilar o piso de la cavidad orbitaria.

MEDIDAS PREVENTIVAS

Al igual que lo mencionado en la barotitis, debe de evitarse la actividad de vuelo cuando se padece un resfriado común o un proceso inflamatorio de las vías respiratorias altas de cualquier causa, que afecten la permeabilidad de los conductos de los senos paranasales.

Deberá tratarse médica o quirúrgicamente, la presencia de pólipos nasales y deberán corregirse mediante procedimientos quirúrgicos las desviaciones o deformaciones del tabique nasal y otras estructuras de la nariz que pudiesen reducir la ventilación nasal.

En el caso de presentarse un cuadro de barosinusitis fuera de base o durante algún vuelo, deberá realizarse lo siguiente: atomizaciones a la nariz con un spray que contenga vaso constrictores, antihistamínicos tópicos y antiinflamatorios, los cuales se utilizarán con cautela y sin abusar de su empleo; Deberán tomarse analgésicos preferentemente del tipo de la aspirina o paracetamol preferentemente combinado con algún antiinflamatorio no esteroide. Los cambios de altitud deberán realizarse lentamente y en aeronaves presurizadas deberá ajustarse el régimen de despresurización a lo más bajo permisible. Consultar al especialista en medicina de aviación a la mayor brevedad para que determine lo conducente.

EN CAVIDADES DENTARIAS

El personal de vuelo afectado con caries dentales o con oclusiones dentarias deficientemente realizadas, puede acumular aire en dichas caries o en los espacios existentes entre una obturación dental y la propia pieza dentaria; este aire acumulado de conformidad con la ley de Boyle antes citada, se expande en la altitud provocando con ello la irritación de la raíz nerviosa de la pieza o piezas dentarias afectadas, ocasionando dolor en ocasiones sumamente intenso e incapacitante que puede afectar o comprometer la seguridad de un vuelo.

A este padecimiento se le conoce como barodontalgia o aerodontalgia; se presenta única y exclusivamente durante el ascenso, desaparece mediante el descenso y se previene a través del cuidado minucioso y la atención correcta y especializada de los padecimientos dentales. Un absceso dentario dado que produce una acumulación de gas, puede ocasionar igualmente esta sintomatología durante la exposición a la altitud en un vuelo.

2.2. ENFERMEDAD DESCOMPRESIVA - EFECTOS SOBRE LOS GASES DISUELTOS

La ley de Henry de los gases establece que: la cantidad de un gas en solución es directamente proporcional a la presión que dicho gas ejerce sobre el solvente.

El cuerpo humano mantiene disuelto en sus tejidos y líquidos una mezcla de gases de los cuales el más importante es el nitrógeno (N₂). Este gas tiende a mantener su equilibrio con la presión parcial del nitrógeno del aire atmosférico en tal forma que cuando se realiza un ascenso en forma lenta y progresiva, el nitrógeno abandona su estado de solución, pasa al torrente sanguíneo, llega al pulmón, y es expulsado al exterior durante la fase espiratoria de la respiración para mantener su equilibrio de presiones con el nitrógeno atmosférico.

Para explicar más claramente, se puede comparar el cuerpo humano con una bebida gaseosa contenida en un recipiente cerrado; dicha bebida contiene gas carbónico disuelto el cual se mantiene estable mientras el recipiente de la bebida permanezca herméticamente cerrado;

cuando dicho recipiente se destapa el gas en su interior tiene a equilibrar su presión con el aire atmosférico liberándose bruscamente en forma de burbujas las cuales continuarán formándose hasta que se establezca el equilibrio de presiones.

Cuando un miembro de tripulación de vuelo asciende bruscamente por arriba de los 25 M' o 30 M' o volando en un equipo presurizado se expone a una descompresión súbita de la cabina, el nitrógeno de su cuerpo tiene a equilibrarse en su presión con el nitrógeno atmosférico liberándose igualmente en forma de burbujas las cuales seguirán produciéndose hasta que dicho equilibrio se haya alcanzado. A este fenómeno en medicina de aviación se le llama aeroembolismo y en medicina submarina se le denomina enfermedad por descompresión.

El aeroembolismo en personal de vuelo se suele presentar principalmente con exposiciones a altitudes por encima de los 25 M' ó 30 M' y rara vez por debajo de dichas altitudes, existiendo diversos factores predisponentes a este fenómeno como son:

LA ACTIVIDAD FISICA: A mayor actividad física durante un vuelo existe mayor predisposición para la presentación de síntomas de aeroembolismo.

BAJAS TEMPERATURAS: El frío en la altitud incrementa la posibilidad de aeroembolismo.

Altitud de vuelo; a mayor altitud mayor predisposición al aeroembolismo.

TIEMPO DE EXPOSICION A LA ALTITUD: A mayor tiempo de exposición corresponde igualmente una mayor predisposición al aeroembolismo.

EDAD: Se ha observado que el personal de vuelo de mayor edad está mayormente expuesto al aeroembolismo que el personal joven.

SOBREPESO: El tejido adiposo retiene 9 veces más nitrógeno en solución que el tejido muscular, por lo que la obesidad es otro factor predisponente al aeroembolismo.

LA CANTIDAD DE NITROGENO EN SOLUCION: Cuando un tripulante de vuelo o un pasajero ha estado buceando en aguas profundas usando aqualong para respirar, mantiene una cantidad excesiva de nitrógeno en solución proporcional a la profundidad a la cual haya estado buceando. Esta circunstancia aumentará consecuentemente su predisposición al aeroembolismo a una menor altitud de vuelo y con síntomas más graves.

SINTOMAS: Los síntomas de aeroembolismo se manifiestan en diversos aparatos y sistemas del organismo:

EN EL SISTEMA MUSCULO - ESQUELETICO: La liberación del nitrógeno en la superficie de las grandes articulaciones (rodilla, hombros y codos), provoca irritabilidad de las membranas sinoviales de dichas articulaciones ocasionando dolor intenso de las superficies articulares (los llamados bends) que llegan a producir impotencia funcional parcial o total de la articulación afectada por dolor, el cual se exacerba al frotar dicha articulación, debido a que con ello se produce la fragmentación de las burbujas de nitrógeno en otras de tamaño menor que afectan una mayor superficie sinovial; así mismo, los movimientos de la articulación afectada incrementan también el dolor articular.

EN EL APARATO RESPIRATORIO: La liberación de burbujas de nitrógeno a nivel de las superficies del mediastino, produce embolias gaseosas comprobadas radiológicamente en dicha región, lo cual ocasiona los síntomas siguientes (conocidas también como "chokes"): Dolor y ardor retroesternal, sequedad intensa de las vías

respiratorias desde la nariz hasta la tráquea (como si estuviera respirando aire seco en el desierto), tos seca no productiva (tos de perro) que no alivia los síntomas sino por el contrario incrementa el dolor.

A NIVEL DE LA PIEL: La liberación del nitrógeno en el tejido celular subcutáneo provoca la irritación de las terminaciones nerviosas periféricas en ese lugar, dando lugar a una serie de sensaciones llamadas genéricamente parestesias: picaduras, pinchazos, quemaduras, hormigueos, congeladuras, etc., dependiendo del área afectada.

EN SISTEMA NERVIOSO CENTRAL: La liberación del nitrógeno en el líquido cefalorraquídeo afortunadamente es la más rara aunque provoca los síntomas más graves y más duraderos como son: parestesias, parálisis de determinados sectores, trastornos motores de tipo convulsivo de determinadas áreas, trastornos neurológicos y psiquiátricos, pudiendo llegar a provocar la muerte por shock neurogénico.

MEDIDAS PREVENTIVAS

Entre las medidas preventivas recomendadas deben mencionarse las siguientes:

- Evitar o reducir la actividad física excesiva durante el vuelo.
- Usar ropa y equipo adecuado para protegerse del frío de la altitud.
- Si se va a volar a gran altitud y por tiempo prolongado, es recomendable practicar la desnitrógenización; esta se logra respirando 100% de oxígeno por lo menos 30 minutos antes del vuelo y continuar inhalándola durante todo el vuelo; ello provoca la expulsión del nitrógeno y protege contra esta eventualidad.
- Evitar la acumulación de tejido adiposo mediante el cuidado de su peso.
- Evitar realizar actividad de buceo en aguas profundas si se va a realizar un vuelo, y no realizar esta actividad hasta por lo menos 12 horas después de haber buceado.

3. ACELERACIONES

El desplazamiento de un avión en vuelo da lugar a cambios en la velocidad, en la dirección o en ambos simultáneamente; dichos cambios afectan la fuerza de la gravedad (g) a la cual, el ser humano está adaptado, aumentándola, reduciéndola, invirtiéndola o neutralizándola, ocasionando con ello alteraciones orgánicas a las personas a bordo que afectan su salud y su seguridad durante el vuelo. Estos cambios se definen como aceleraciones (G) y su estudio constituye un capítulo importante de la biodinámica en la Medicina de Aviación.

DEFINICIONES

VELOCIDAD: Se define como la distancia recorrida en la unidad de tiempo: metros x segundo, kilómetros x hora.

ACELERACION GRAVITACIONAL: Es la fuerza con la cual los cuerpos son atraídos a la superficie terrestre en su caída libre; fue estudiada y descubierta por el sabio inglés Isaac Newton quien determinó que su valor equivale a 9.81m/s^2 o 32.2pies/s^2 . Se representa con la letra g .

ACELERACION: Es el cambio en velocidad de un cuerpo en movimiento; esta puede ser positiva cuando el cambio es en aumento y negativa cuando la velocidad se reduce; en este último caso se habla también de desaceleración. Se representa con la letra G .

MASA: Es la cantidad de materia contenida en un cuerpo.

PESO: Es la fuerza ejercida por la masa de un cuerpo acelerado; cuando dicha aceleración representa la gravitacional terrestre, es cuando masa = peso.

NEWTON: Es la fuerza ejercida por un kilogramo bajo condiciones estándar de gravedad (una aceleración de 9.8 m/s^2), es decir, un newton de fuerza es un kg/s^2 .

LEYES DE NEWTON: La interrelación de fuerza y movimiento se estudian y se comprenden mejor mediante el conocimiento de las leyes de Newton:

PRIMERA LEY DE NEWTON: Al menos que sea modificada por una fuerza, un cuerpo en reposo permanecerá en reposo, y un cuerpo en movimiento se moverá a velocidad constante y en línea recta.

SEGUNDA LEY DE NEWTON: La fuerza aplicada a un cuerpo producirá una aceleración, cuya magnitud es proporcional a la intensidad de la fuerza aplicada, e inversamente proporcional a la masa del cuerpo al que se aplica

$$a = \frac{F}{m} \quad \text{o} \quad \text{En donde:}$$

F - Fuerza
 m - Masa
 a - Aceleración

$$F = ma$$

TERCERA LEY DE NEWTON: A toda acción corresponde una reacción igual, pero en sentido inverso. (ley de la inercia).

3.1. CLASIFICACION DE LAS ACELERACIONES

Las aceleraciones se clasifican, según el factor que modifican en:

ACELERACION LINEAL: Es aquella en la que se produce un cambio en la velocidad de un cuerpo en movimiento, pudiendo ser este positivo o negativo, si el cambio se refiere respectivamente a un aumento o a una disminución de la velocidad.

ACELERACION RADIAL: Es aquella en la que se produce un cambio en la dirección de un cuerpo en movimiento.

ACELERACION ANGULAR: Es aquella en la que se produce simultáneamente un cambio en la velocidad y en la dirección de un cuerpo en movimiento.

En razón a su duración, las aceleraciones se clasifican en:

INSTANTANEAS: Son aquellas cuya duración es de un segundo o menos. Se presenta primordialmente como consecuencia de los impactos de una aeronave en tierra.

INTERMEDIAS: son aquellas en las que la aceleración se produce entre uno y 2.5 segundos. Este tipo de aceleraciones se observan en la aviación militar durante el despegue de una aeronave impulsada por catapulta a bordo de un portaaviones, o durante el aterrizaje de este tipo de aeronaves detenidas con un gancho. Se observa igualmente durante el lanzamiento de un asiento de eyección.

PROLONGADAS: Son aquellas cuya duración es mayor a 2.5 segundos. Estas son las más comunmente observadas, sobre todo en la aviación militar y en vuelos acrobáticos, y son este tipo de aceleraciones a las cuales nos referiremos primordialmente en este capítulo.

3.2. NOMENCLATURA DE LAS ACELERACIONES

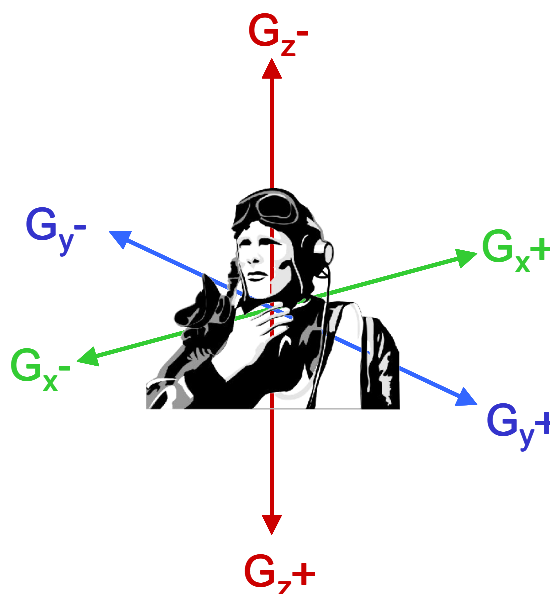
De conformidad con la tercera ley de Newton, a una acción corresponde una reacción igual en el sentido opuesto. Con base en ello cuando una aeronave en vuelo aumenta su velocidad se debe a la generación de una fuerza considerada como centrípeta, por cuyo efecto el avión se desplaza hacia delante, originando con ello una fuerza centrífuga en sentido opuesto que empuja al piloto contra su asiento. Es esta fuerza centrífuga la que representa la aceleración. De la misma manera cuando un avión en vuelo cambia de dirección, por ejemplo para ascender al salir de una picada, la fuerza centrípeta es la que provoca el ascenso del avión y la aceleración resultante es la fuerza centrífuga que presiona al cuerpo del piloto contra el asiento, la cual es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad y a la masa del aeronave, e inversamente proporcional al radio de la curvatura en la cual se produce el cambio en dirección.

Con base en ello existe una codificación universal para designar las aceleraciones, según el eje del cuerpo sobre el cual actúan, y en la dirección en la que la fuerza centrífuga (aceleración) se genera.

Cuando la aceleración actúa paralelamente al eje vertical del cuerpo, se denomina fuerza G_z siendo positiva cuando la aceleración actúa de la cabeza a los pies (G_{z+}) y negativa cuando dicha aceleración actúa de los pies hacia la cabeza (G_{z-}).

Cuando las fuerzas actúan en el eje anteroposterior del cuerpo, se denominan aceleraciones G_x , siendo positivas cuando la aceleración o fuerza centrífuga se dirige de adelante hacia atrás (G_{x+}), y por el contrario cuando dicha aceleración actúa de atrás hacia delante se denomina aceleración (G_{x-}).

Cuando la fuerza actúa sobre el eje lateral del cuerpo y la fuerza centrífuga o aceleración se genera de derecha a izquierda, se denomina G_{y+} , y cuando la fuerza se genera en sentido contrario, es decir, de izquierda hacia derecha se denomina G_{y-} .



BIBLIOGRAFIA :

4.-Ernsting,J.,Nicholson,A.M.,Rainford,D.J., Aviation Medicine , Third Edition,pp. 125 – 157 ; pp.284 – 292 ; pp.319 –337. Butterwort – Heinemann , 1999. (Para Capítulo No.4.-)

5.- Amezcua G.,Luis A. Dr.-Manual de Medicina Aeronáutica para Tripulaciones de vuelo.- 1ª. Edición ,pp. 2 – 39 .C.I.A.A.C. ,1961.-(Para Capítulo No.4)

6.-Amezcua G.,Luis A.,Dr.-Manual de Medicina Aeronáutica para Tripulaciones de vuelo.-1ª.Edición. pp.40 – 66.,C.I.A.A.C.,1961. (Para Capítulo No. 4)