Efectos de la gravedad sobre el Aparato Respiratorio

**INTRODUCCIÓN**

**Las leyes que gobiernan el flujo de aire en este aparato, son las de la dinámica de fluidos a través de un sistema de conductos elásticos**, por tanto su tratamiento es similar al utilizado en el sistema vascular. El flujo de aire dependerá del gradiente de presión que se establezca entre presión atmosférica y los alvéolos pulmonares, y las resistencias que se oponen a dicho flujo. Una de las resistencias que se oponen al flujo pulmonar es la fuerza de la gravedad que supone una resistencia estática.

**Factores que afectan:**

* **Gravedad y postura**

La postura influye de manera determinante en la respiración, pues según la posición en que nos encontremos, la fuerza de la gravedad tendrá un mayor o menor efecto sobre ésta.

* **Gravedad cero**

Una persona que esté orbitando o en una nave espacial no propulsada experimenta ingravidez, o un estado de fuerza G casi igual a cero, que a veces se denomina microgravedad. Es decir, la persona no es arrastrada hacia ningún lado, simplemente flota en el interior de sus cámaras.

* **Aceleración**

Los miembros de tripulaciones aéreas deben conocer las fuerzas gravitacionales y las respuestas fisiológicas del cuerpo ante éstas en el ambiente de la aviación.

**EFECTOS DE LA GRAVEDAD Y POSTURAEN EL APARATO RESPIRATORIO**

La postura influye de manera determinante en la respiración, pues según la posición en que nos encontremos, la fuerza de la gravedad tendrá un mayor o menor efecto sobre ésta.

En el pulmón humano encontramos un vértice (extremo superior) y una región basal (extremo inferior) en los cuales la respiración será diferente como veremos a continuación.

**Ventilación alveolar**

**ERECTA**🡪En un pulmón de un sujeto en posición erecta o sentado, la fuerza de gravedad ejerce su efecto sobre el peso pulmonar, de forma que los alvéolos de la región basal pulmonar soportarán mayor peso que los del vértice. La presión pleural (presión del espacio entre pulmones y caja torácica) en los vértices será más negativa que en las bases y por tanto, la presión transmural (diferencia entre presión intrapulmonar, y pleural) será mayor en los vértices, estando sus alvéolos más expandidos que los de las bases (al ser la presión pleural más negativa en los vértices se mantiene más expandido el pulmón ahí por lo que los alvéolos están más expandidos). Consecuentemente, la distensibilidad de los alvéolos de la base será mayor que la de los vértices (están menos extendidos por lo que pueden crecer más, los que están más extendidos apenas pueden crecer por la rigidez pulmonar) y por tanto, habrá mayor ventilación en las bases. Estando en posición ortostática o sentado la ventilación alveolar se dirige inicialmente hacia las bases pulmonares, por ser éstas las que tienen mayor capacidad distensible.

**SUPINA🡪** La ventilación alveolar es uniforme en todo el pulmón pues la gravedad tiene el mismo efecto sobre toda la superficie pulmonar. **La capacidad residual funcional (CRF),** es el volumen de aire que queda en el sistema respiratorio tras una espiración normal. Cambia si variamos de postura, así al adoptar la posición supina, la CRF decrece como consecuencia de que disminuye el efecto de la gravedad y se incrementa el efecto de la presión generada por el contenido visceral. La gravedad hace que el pulmón esté más expandido pues tira de éste hacia abajo, si disminuye la gravedad el pulmón estará menos expandido y por tanto, la CRF será menor al ser menor el volumen pulmonar; además, la concentración de O2 aumentará en la inspiración (mismo volumen en menos espacio). La presión ejercida por las vísceras impide que el pulmón se expanda hacia abajo, provocando al igual que la gravedad, una disminución del volumen pulmonar.

**Flujo sanguíneo**

**ERECTA**🡪en la perfusión pulmonar el efecto de la gravedad supone un incremento de la presión hidrostática desde el corazón hacia las bases y su disminución hacia los vértices. La fuerza de la gravedad modifica la resistencia vascular pulmonar por lo que también se modifica la distribución del flujo sanguíneo pulmonar. Al descender por el eje longitudinal del pulmón la presión hidrostática aumenta, por lo que la presión intravascular también, ya que la presión intravascular es igual a la presión de perfusión más la presión hidrostática (la presiónde perfusión es la misma en todo el pulmón porque la marca la bomba cardíaca), ante este aumento de presión intravascular el vaso aumenta su diámetro y consecuentemente disminuye la resistencia y aumentará el flujo. Al ascender por el eje longitudinal del pulmón ocurre lo contrario. Por lo tanto la perfusión en las bases será mayor que en los vértices para un sujeto en posición vertical.

A nivel alveolar, los capilares están comprimidos por la presión alveolar de su exterior, si ésta se vuelve mayor que la presión sanguínea capilar, los capilares se cierran y no existe flujo sanguíneo. De acuerdo con las variaciones en la presión arterial, venosa y alveolar determinadas por el efecto de la gravedad, se pueden establecer 3 zonas pulmonares o **zonas de West**:

* Zona 1 (ausencia de flujo) 🡪 PA>Pa>Pv.
* Zona 2 (flujo disminuido) 🡪 Pa>PA>Pv.
* Zona 3 (flujo continuo) 🡪 Pa>Pv>PA.

Normalmente, los pulmones sólo tienen zonas 2 (apical) y 3 (todas las zonas inferiores) de flujo porque la presión arterial suele ser superior a la presión alveolar (incluso en los vértices, teniéndole que restar la presión hidrostática, en condiciones de normalidad, la presión arterial es superior a la alveolar). La presión venosa, por su pequeño valor (entre 5 y 10 mmHg) a nivel de los vértices será menor a la alveolar (al restarle la hidrostática se vuelve inferior a la alveolar). Por tanto, en la región apical se produce una constricción de las vénulas pulmonares (PA>Pv) que disminuye mucho el flujo en éstas, lo cual favorece la arterialización de la sangre, pues el poco volumen que la constricción permite pasar se oxigena completamente.
La zona 3 permite el flujo continuo ya que la presión alveolar no constriñe ni arteria ni vena.

**SUPINA**🡪En posición supina, la presión alveolar es uniforme en todo el pulmón (mismo valor de presión alveolar en vértice y base, no valor constante durante la respiración) de modo que el flujo sanguíneo dependerá únicamente del gradiente arterio-venoso. Todo el pulmón será una zona intermedia entre 2 y 3 (recordemos que la presión arterial será superior a la alveolar). Será zona 2 cuando hagamos una inspiración profunda y la presión alveolar aumente de manera que sea superior a la presión venosa, en este caso la sangre saldrá totalmente arterializada. Por otra parte, será zona 3 en inspiración normal porque tanto la presión arterial como la venosa serán superiores a la presión alveolar.

**EFECTOS DE LA GRAVEDAD CERO EN EL APARATO RESPIRATORIO**

* **INGRAVIDEZ EN EL ESPACIO**

Una persona que esté orbitando o en una nave espacial no propulsada experimenta ingravidez, o un estado de fuerza G casi igual a cero, que a veces se denomina microgravedad. Es decir, la persona no es arrastrada hacia ningún lado, simplemente flota en el interior de sus cámaras. La gravedad actúa al mismo tiempo tanto sobre la nave espacial como sobre la persona, por lo que ambas son arrastradas con exactamente las mismas fuerzas de aceleración y en la misma dirección.

* **PROBLEMAS FISIOLÓGICOS DE LA INGRAVIDEZ ( MICROGRAVEDAD)**

La mayor parte de los problemas que ocurren se relaciona con tres efectos de la ingravidez:

* **Cinetosis** durante los primeros días de viaje 🡪 [**síndrome de adaptación espacial**](http://es.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADndrome_de_adaptaci%C3%B3n_espacial).
* **Desplazamiento de líquidos**. El aparato respiratorio se ve afectado por la nueva distribución de líquidos corporales; pulmones y tórax se inundan de líquido.
* **Disminución de la actividad física** porque no es necesaria ninguna fuerza de contracción muscular para oponerse a la fuerza de la gravedad.
* Efectos graduales de **desacondicionamiento en el aparato cardiovascular, músculo esquelético y en el hueso** a pesar de un ejercicio riguroso durante el vuelo.

Uno de los efectos más notables en el aparato respiratorio es la **interacción entre PPL (presión pleural) y presión pulmonar intersticial.** Some speculation is due concerning pulmonary interstitial fluid dynamics in microgravity.Al final de la espiración, la presión hidráulica en el intersticio pulmonar es inferior a la atmosférica **(-10 cm H 2 O**), lo que refleja una compleja interacción entre intercambios de líquido intersticial y las fuerzas del parénquima. Pulmonary interstitial pressure was found to become more subatmospheric with decreasing (more negative) Ppl ( [28](http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=es&langpair=en%7Ces&rurl=translate.google.es&u=http://jap.physiology.org/content/93/6/2044.full&usg=ALkJrhhP2FcRQ7E-eI0_FaSJXZYHe-I4gw#ref-28) ); for this reason, increasing lung volume should lead to an increase in microvascular filtration. La presión intersticial pulmonar se encontró cada vez más inferior a la atmosférica con una disminución (más negativo) PPL , por esta razón, el aumento de volumen pulmonar debería conducir a un aumento en la filtración microvascular. Microgravity is a potential cause of interstitial edema in the lung because of capillary recruitment that, in turn, increases microvascular filtration.

**La microgravedad es una causa del edema intersticial en el pulmón debido a la contracción capilar que aumenta la filtración microvascular**. Because in microgravity Ppl values are less negative during the respiratory activity (end-expiratory volume decreases by ∼600 ml), this should be considered a protective factor counteracting the potential edematous condition due to increased capillary perfusion. Debido a que en condiciones de microgravedad valores PPL son menos negativos en la actividad respiratoria (final de la espiración el volumen se reduce en unos 600 ml), esto debe ser considerado un factor de protección para contrarrestar la condición edematosa potencial debido a un aumento de la perfusión capilar. In summary, microgravity causes a decrease in lung recoil pressure because it removes most of the distortion of lung parenchyma induced by changing gravity field and/or posture. En resumen, la microgravedad produce una disminución en la presión pulmonar de retroceso, ya que elimina la mayor parte de la distorsión del parénquima pulmonar inducida por el campo gravitatorio

Como no hay atmósfera en el espacio exterior, la concentración de oxígeno debe permanecer lo suficientemente elevada y la concentración de dióxido de carbono lo suficientemente baja para impedir la asfixia.

**TÉCNICAS PARA OBTENER OXÍGENO**

Para los viajes espaciales que duran más de varios meses no es práctico transportar un suministro adecuado de oxígeno. Por este motivo se han propuesto técnicas de reciclado para la utilización del mismo oxígeno una y otra vez:

* Algunos procesos de reciclado dependen sólo de procedimientos físicos, como la **electrolisis del agua para liberar oxígeno**.
* Otros dependen de **métodos biológicos**, como la utilización de algas **con su gran almacén de clorofila para liberar oxígeno** a partir del dióxido de carbono mediante el proceso de la fotosíntesis.

Aun se debe conseguir un sistema completamente satisfactorio de reciclado.

**EFECTOS DE LA GRAVEDAD Y ACELERACIÓN EN EL SISTEMA RESPIRATORIO**

**Introducción**
Los miembros de tripulaciones aéreas deben conocer las fuerzas gravitacionales y las respuestas fisiológicas del cuerpo ante éstas en el ambiente de la aviación. Esto es especialmente importante ante el advenimiento de los nuevos helicópteros de alto rendimiento

**Tipos de aceleración**

El vuelo impone sus efectos más importantes ante el cuerpo a través de las fuerzas de aceleración aplicadas durante el maniobrar aéreo. En un vuelo recto y nivelado a velocidad constante los miembros de la tripulación no encuentran ninguna limitación humana. Con los cambios de velocidad, sin embargo, pueden experimentar efectos fisiológicos severos.

**Factores que influyen en los efectos de las aceleraciones**

Para determinar los efectos de las fuerzas de aceleración en el cuerpo humano debemos considerar también varios factores. Estos incluyen la intensidad, duración, índice de inicio, área y sitio del cuerpo y dirección del impacto.

**Intensidad**
En general, cuanto mayor es la intensidad, más severos son los efectos de la fuerza de aceleración.

**Duración**
Cuanto más largo o extenso es el tiempo de exposición a una determinada aceleración, más severos serán los efectos. Los tripulantes pueden tolerar altas fuerzas G por periodos extremadamente cortos y fuerzas G bajas por períodos más largos. En general, cuanto más largo es el tiempo de aplicación de la aceleración, más severos serán los efectos.

 **Área y sitio del cuerpo**

El tamaño del área del cuerpo cuando una fuerza es aplicada es muy importante. Cuando mayor es esta, menos dañoso será el efecto. El sitio del cuerpo al cual se aplica la fuerza también es importante. El efecto de la aceleración por ejemplo: en la cabeza, es mucho mayor que la misma aceleración aplicada en otra parte del cuerpo tal como en una pierna.

**Dirección del impacto**La dirección en la cual una aceleración prolongada actúa sobre el cuerpo determina los efectos fisiológicos que ocurren. El cuerpo no tolera una fuerza aplicada a lo largo del cuerpo (Gz) tan bien como lo hace con una fuerza aplicada en el eje Gx.

 **Efectos fisiológicos de la aceleración de baja magnitud**

Los efectos fisiológicos de las aceleraciones de baja magnitud son el resultado de la fuerza centrífuga de inercia y del peso creciente del cuerpo y sus componentes. Durante maniobras del avión, la parte principal del cuerpo afectado por las aceleraciones es el sistema cardiovascular. El sistema circulatorio, sin embargo, consiste en vasos sanguíneos elásticos, para funcionar correctamente, el sistema necesita una presión arterial y un volumen de sangre bien definido.

 **Efectos fisiológicos de la aceleración GZ +**

La Gz + es la aceleración en la dirección cabeza-pies. Este tipo de aceleración es experimentada durante la recuperación de una picada o en un giro de mucha inclinación.
En un piloto sentado la aceleración aumenta progresivamente y al producirse el aumento de la fuerza gravitatoria se aprecian los siguientes síntomas:

* **Se estiran los tejidos faciales, ocasionalmente caída de los párpados o blefaroptosis. En la mayoría de los pilotos es imposible ya el movimiento del cuerpo y la respiración se dificulta porque los músculos intercostales y el diafragma no pueden vencer la fuerte tensión originada hacia abajo por la gran aceleración obtenida.**
* Piernas se congestionan de tal forma que se produce edema: los cuadriceps, gemelos y demás músculos de las extremidades inferiores experimentan contracciones tónicas gravitacionales que llegan a tetanizarse dando sensación de calambres.
* Congestión de las piernas y sensación de pesadez en los miembros.
* El piloto no puede ponerse de pié y está prácticamente incrustado en el asiento.
* Llega un momento en el que se produce la denominada "visión tubular" ó "visión de túnel".
* Los líquidos del cuerpo actúa para desplazarlos a las partes dependientes del mismo.
* Los vasos sanguíneos pueden ser demasiado distendidos y romperse mientras se alteran las relaciones del flujo sanguíneo. Esto causa la hipoxia por "estancamiento" local de sangre.
* La hipoxia hipóxica también puede ocurrir debido a la falta de oxigenación de la sangre producida por la mala o insuficiente respiración**. La oxigenación normal de la sangre, puede bajar del 98 al 85 por ciento.**

**Efectos fisiológicos de la aceleración GZ –**

Cuando la aceleración actúa en el cuerpo en la dirección pies-cabeza, como ocurre al bajar rápido una pendiente.

* Congestión de la cara, sensación de lanzamiento fuera del asiento, impresión de estar colgado cabeza abajo y comprimido contra los cinturones de la espalda, bradicardia, **dificultad respiratoria por la desviación de las vísceras hacia arriba, ascenso del diafragma, etc.** El sujeto se defiende contra esto mediante la inmovilización del diafragma en posición media y cierre de la glotis.

**Efecto fisiológicos de las aceleraciones Gx +/-**

La aceleración transversal ocurre cuando la fuerza Gs actúa a través del cuerpo perpendicularmente al pecho. La fuerza centrífuga también cruzará el cuerpo en la dirección opuesta, es decir de la espalda al pecho. Los tripulantes de aeronaves experimentan estas aceleraciones levemente durante los despegues y aterrizajes. Los efectos de estas aceleraciones son importantes en las misiones espaciales durante los despegues y los procedimientos de reingreso a la atmósfera.

**El individuo es más tolerante a la fuerzas recibidas en el eje Gx que a las recibidas en los otros ejes, ya que los Gs transversales infieren muy poco en los valores del flujo sanguíneo.**

**PREGUNTAS:**

* **Cociente ventilación/perfusión en ingravidez**

Los resultados de todas las variables cardiovasculares y respiratorias en estado de ingravidez son muy interesantes, de manera que la distribución del flujo sanguíneo y la ventilación a través del pulmón es más uniforme en el espacio, pero algún grado de desigualdad persiste. Así se logra demostrar que en un ambiente real de ingravidez existe un porcentaje de la relación Ventilación.-Perfusión que depende de una falta de homogeneidad intrínseca de la relación dentro del pulmón y no solo de la gravedad. Se ponen en marcha los mecanismos tales como la diferencia en la conductancia regional, el gradiente centro-periferia en el flujo.

* ¿**Qué le pasan a las partículas de aire en ingravidez y qué efectos tiene sobre el sistema respiratorio?**

Las partículas en un estado de gravedad normal se acumulan en el suelo, de manera que el impacto de dichas partículas en el aparato respiratorio es moderado. Sin embargo, en estado de ingravidez esto no ocurre, y al no ser atraídas por dicha gravedad las partículas flotan de manera que la respiración es más profunda, siendo el impacto mayor en los pulmones y más perjudicial.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. **Berne y Levy. Fisiología. 6º Edición**
2. **Manual moderno**
3. **Pocock**
4. **Ganong. Fisiología Médica. 23º Edición**
5. **Guyton y Hall. Tratado de Fisiología Médica. 12º Edición**
6. **J.A.F. Tresguerres. Fisiología Humana. 3º Edición**
7. <http://escuela.med.puc.cl/publ/AparatoRespiratorio/04Circulacion.html>
8. <http://astroseti.org/articulo/267/medicina-espacial>
9. [www.concursoespacial.com/uploads/B19A.doc](http://www.concursoespacial.com/uploads/B19A.doc)
10. [www.sre.urv.es/sre/web/modules/exemples/.../M4Contingut2.pdf](http://www.sre.urv.es/sre/web/modules/exemples/.../M4Contingut2.pdf)
11. <http://quamtum.blogspot.com/2010/02/la-gravedad-y-sus-efectos-en-los.html>
12. [www.portalplanetasedna.com.ar/humanos\_espacio.htm](http://www.portalplanetasedna.com.ar/humanos_espacio.htm)
13. [www.encolombia.com/reuma722000-evaluacion2.htm](http://www.encolombia.com/reuma722000-evaluacion2.htm)
14. [www.enfermeriarespira.es/about/efectos-fisiologicos-de-la-vm](http://www.enfermeriarespira.es/about/efectos-fisiologicos-de-la-vm)
15. escuela.med.puc.cl/publ/AparatoRespiratorio/02**Mecanica**.html
16. [www.scribd.com/doc/.../ventilacion-**mecanica**-principios-basicos](http://www.scribd.com/doc/.../ventilacion-mecanica-principios-basicos)
17. [www.comoves.unam.mx/articulos/medicinaespacial.html](http://www.comoves.unam.mx/articulos/medicinaespacial.html)
18. [www.fecyt.es/especiales/misiones\_espaciales/11.htm](http://www.fecyt.es/especiales/misiones_espaciales/11.htm)
19. [www.rtve.es/television/20090710/consecuencias.../284447.shtml](http://www.rtve.es/television/20090710/consecuencias.../284447.shtml)
20. [www.portalplanetasedna.com.ar/humanos\_espacio.htm](http://www.portalplanetasedna.com.ar/humanos_espacio.htm)