

FISIOLOGIA DE LA CIRCULACION Y RESPIRACION

Autor: C.D.G.(S) Luis Gustavo HEIN Molina

I. INTRODUCCION

En la medida que se comprende el funcionamiento e importancia de la circulación y respiración para la fisiología humana al nivel de la superficie terrestre, podremos correlacionar estos conceptos con los conocimientos de la atmósfera a diferentes alturas, entendiendo así las razones de las limitaciones fisiológicas que posee el organismo humano en aviación, así como los implementos que ha debido fabricar para suplir estas limitaciones, con sus posibles fallas y consecuencias.

El organismo humano está compuesto por una infinidad de unidades funcionantes denominadas "células" las cuales, para cumplir con sus funciones y mantención, requieren de un aporte en cantidad suficiente de oxígeno. Desgraciadamente, el ser humano no tiene la capacidad para fabricar oxígeno y por lo tanto, necesita obtener este gas desde la atmósfera.

Los organismos "unicelulares" (compuestos por una sola célula) viven en ambientes que poseen oxígeno y por lo tanto éste difunde directamente a través de la pared de la célula. En el caso de los organismos "multicelulares" (compuestos por muchas células) la gran mayoría de las células no se encuentran en contacto directo con ambientes ricos en oxígeno, por lo tanto, estos organismos (entre los que se cuenta el ser humano) han debido desarrollar órganos especializados en obtener el oxígeno de la atmósfera y transportarlo hasta que quede en íntimo contacto con cada una de las células que lo componen.

Para cumplir con lo señalado en el párrafo anterior, el ser humano ha desarrollado dos sistemas que trabajan en forma integrada, como lo son el sistema respiratorio y el sistema circulatorio. El primero obtiene el oxígeno en forma de gas desde la atmósfera y lo pone en íntimo contacto con el líquido (plasma) de la sangre hacia donde difunde (Ley de Difusión Gaseosa), solubilizándose (Ley de Henry) y de esta forma es transportado por el sistema circulatorio a cada una de las células del organismo.

II. SISTEMA RESPIRATORIO

A. Anatomía

En general se puede decir que el sistema respiratorio está formado por tres partes con funciones diferentes. La primera parte lo constituye la fosa nasal por donde penetra el aire. Conectados con la fosa nasal se encuentran los senos paranasales que son cavidades en los huesos de la cara. El conjunto de los senos paranasales y fosa nasal permite calentar el aire a la temperatura corporal, filtrar las partículas en suspensión y humedificar el aire inspirado.

La segunda parte del sistema respiratorio la constituye un sistema de tuberías formado por la tráquea, bronquios principales, bronquios secundarios y bronquiólos, cuya función básicamente consiste en permitir que el aire llegue hasta el alvéolo pulmonar, la unidad básica funcional del pulmón. Cabe destacar que este sistema de tuberías se va ramificando en el interior de los pulmones en forma tan importante que al final va a permitir aumentar la superficie de difusión gaseosa. Asimismo, debe destacarse que como toda tubería rígida, el flujo máximo que puede pasar a través de esta red depende del diámetro del tubo matriz constituido en este caso por la tráquea.

Finalmente, la tercera parte del sistema respiratorio está constituido por una infinidad de pequeños sacos microscópicos llamados alvéolos, los cuales están en íntimo contacto con los capilares sanguíneos constituyentes de la red de tuberías del sistema circulatorio. El aire del alvéolo se

encuentra separado de la sangre del capilar por una pared llamada "pared alvéolo-capilar", la cual microscópicamente es muy delgada y a través de la cual va a difundir (Ley de Difusión Gaseosa) el oxígeno y el nitrógeno, solubilizándose en la sangre (Ley de Henry) y de esta forma se transporta a todas las células del organismo. Asimismo, siguiendo el camino inverso, el anhídrido carbónico (CO₂), producto de desecho de las células, sale del capilar al alvéolo y de allí al ambiente.

B. Mecánica Respiratoria

El sistema respiratorio funciona como un fuelle gracias a la cavidad torácica, en cuyo interior se encuentran los pulmones.

La cavidad torácica está limitada por detrás por la columna dorsal, por delante por el esternón y por los lados por las costillas, cuya orientación es hacia adelante y hacia abajo. La parte inferior de la caja torácica se encuentra sellada por el diafragma, el cual en posición de reposo adopta la forma de una cúpula con vértice hacia la cabeza. Los músculos respiratorios al contraerse hacen que las costillas se eleven y se horizontalicen con lo cual aumenta el diámetro antero-posterior del tórax. Asimismo, al inspirar, el diafragma se tensa, con lo cual desciende la cúpula, por lo cual aumenta el diámetro vertical del tórax. Al aumentar los diámetros del tórax hace que fluya aire desde el ambiente al interior de los pulmones, al igual que un fuelle.

La espiración en el ser humano es pasiva y se logra por la relajación de los músculos inspiratorios y del diafragma, con lo cual las costillas caen nuevamente y el diafragma adopta su posición de reposo como cúpula, disminuyendo los diámetros del tórax y por lo tanto la expulsión del volumen de aire excedente.

Es importante recalcar que la inspiración es activa, ya que requiere la contracción de músculos, en cambio la espiración es pasiva, ya que solo necesita que se relajen los músculos respiratorios.

C. Relación Pulmón - Caja Torácica

En realidad el verdadero fuelle respiratorio está constituido por los pulmones, los cuales siguen los mismos movimientos que realiza la caja torácica.

Los pulmones están tapizados por una membrana llamada pleura visceral, la cual se repliega tapizando la cara interna de la caja torácica, donde pasa a denominarse pleura parietal. Entre pleura visceral y parietal queda una cavidad hermética llamada cavidad pleural. La característica más importante de esta cavidad es que se encuentra al vacío y por lo tanto la pleura visceral está adosada a la pleura parietal por vacío, lo que explica que los pulmones sigan los movimientos de la caja torácica.

D. Control del Sistema Respiratorio

Es evidente que el sistema respiratorio funciona en forma automática sin que nos demos cuenta, pero también en ciertas situaciones el control voluntario puede asumir el comando del sistema como por ejemplo cuando buceamos bajo el agua en una piscina.

El control automático de la respiración es muy complejo y en la actualidad no hay consenso unánime aún. Lo que sí se sabe es que en el Sistema Nervioso Central, específicamente en el bulbo de la médula, se encuentra el centro de mando del sistema respiratorio llamado "Centro Respiratorio". Este centro regula la frecuencia y profundidad de la respiración dando órdenes a los músculos respiratorios y diafragma. Este centro respiratorio percibe la información de los sensores

periféricos que detectan los niveles de O_2 , CO_2 y acidez (PH) sanguíneos. No obstante, independientemente de los sensores periféricos, la voluntad puede alterar el patrón de respiración. Esto último adquiere importancia en aviación dado que puede generar por ejemplo el fenómeno de la hiperventilación anormal, que puede suceder por tensión emocional o por respiración a presión positiva.

III. SISTEMA CIRCULATORIO

A. Anatomía

En general, se puede decir que el Sistema Circulatorio es un sistema hidráulico cerrado con una bomba impulsora (corazón) y una red de tuberías por la cual circula un fluido llamado sangre. Su función principal es transportar el oxígeno y nutrientes hasta cada una de las células del organismo y a su vez, conducir los productos de desecho de las células a los sitios de eliminación, constituidos por los pulmones y los riñones.

El corazón está formado por dos bombas impulsoras conectadas en serie, llamadas corazón derecho y corazón izquierdo, cada uno de los cuales está formado por dos cavidades (1 aurícula y 1 ventrículo) separados por una válvula unidireccional.

La red de distribución está formada por vasos sanguíneos de diferentes diámetros y calidades, reconociéndose por su estructura microscópica en arterias y venas, cuya diferencia radica fundamentalmente en el grosor de la capa muscular de la pared y no en el tipo de sangre que conduce.

Finalmente, el fluido que se conduce en el sistema circulatorio se llama sangre, la cual está formada por una parte líquida o plasma y una parte particulada o celular, constituida esta última por las diferentes células sanguíneas, que son los glóbulos blancos, que participan en la defensa del organismo, las plaquetas, que participan en la coagulación y los glóbulos rojos, encargados del transporte del oxígeno y anhídrido carbónico.

B. Mecánica Circulatoria

La sangre rica en oxígeno proveniente de los pulmones, llega a la aurícula izquierda a través de las venas pulmonares. De la aurícula izquierda, que actúa como reservorio, pasa al ventrículo izquierdo el cual impulsa la sangre a través de la arteria aorta, distribuyéndose por toda la red arterial sanguínea, hasta llegar a estrecho contacto con todas las células del organismo y de esta forma llevarle a las células el oxígeno y nutrientes indispensables para su funcionamiento.

Una vez que las células le han extraído el oxígeno a esta sangre, aplicándose la Ley de Difusión Gaseosa, se devuelve a través de la red venosa hasta llegar a la aurícula derecha. De la aurícula derecha pasa al ventrículo derecho el cual impulsa esta sangre, pobre en oxígeno, hacia los pulmones a través de la arteria pulmonar donde, a nivel alvéolo-capilar, se produce el intercambio gaseoso enriqueciéndose esta sangre nuevamente en oxígeno, para retornar a la aurícula izquierda por las venas pulmonares, reiniciándose el circuito.

IV. PRESION ALVEOLAR DE OXIGENO

Por todo lo anterior, es fácil comprender que el éxito en el cumplimiento del objetivo final de la respiración -circulación, radica fundamentalmente en la cantidad o presión disponible de oxígeno a nivel del alvéolo pulmonar, proveniente del aire inspirado, para ofrecerse a la circulación sanguínea.

La presión alveolar de oxígeno puede calcularse mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$PAO_2 = [(P.B. - ppH_2O) \times FiO_2] - \frac{PACO_2}{R}$$

En la cual, a nivel del mar, tenemos:

PAO₂ = Presión alveolar de O₂.

PB = Presión barométrica a nivel del mar = 760 mmHg.

pp H₂O = Presión parcial del vapor de agua que es una constante en el organismo humano = 47 mm Hg.

FiO₂ = % de la P.B. que corresponde al O₂ = 21%.

PACO₂ = Presión alveolar de anhídrido carbónico, el cual el organismo trata de mantener en forma constante en 40 mmHg. aprox., dado que el CO₂ interfiere en la regulación del pH del cuerpo.

R = Cuociente respiratorio. Valor constante en el organismo = 0.8.

Despejando la fórmula:

$$PAO_2 = [(760 - 47) \times 0,21] - \frac{40}{0,8} = 99,73 \text{ mmHg}$$

Al observar la fórmula, es evidente que en Aviación la gran variable corresponde a la Presión Barométrica y cabe señalar que, cuando hay menos de 60 mmHg. de O₂ a nivel sanguíneo en un individuo previamente sano, se dice que se encuentra en "Insuficiencia Respiratoria Aguda".

V. CASCADA DEL O₂ Y FASES DE LA RESPIRACION

Si el objetivo final de los sistemas respiratorio y circulatorio consiste en llevar el oxígeno de la atmósfera hasta la célula, para que ésta la utilice en sus procesos metabólicos, la Hipoxia (insuficiente aporte de oxígeno a nivel celular) puede producirse por una falla en cualquier etapa o fase de este ciclo y por lo tanto, es necesario conocer estas fases.

- A. La primera fase denominada "VENTILACION ALVEOLAR" contempla el aporte de oxígeno desde la atmósfera hasta el interior del alvéolo. Evidentemente depende de la cantidad de O₂ disponible en la atmósfera y la indemnidad de la vía respiratoria.
- B. La segunda fase denominada "DIFUSION ALVEOLO - CAPILAR", contempla el paso del oxígeno desde el alvéolo a la sangre del capilar aplicándose las Leyes de Difusión Gaseosa y la Ley de Henry. En un individuo con pulmón sano, difunde aproximadamente el 100% de la presión del O₂ a nivel alveolar, porcentaje que se altera en casos de daño pulmonar previo.
- C. La tercera fase denominada "TRANSPORTE", contempla el traslado de O₂ en la sangre hasta cada una de las células del organismo. Depende de la indemnidad de los glóbulos rojos, de la tubería y de la bomba del sistema circulatorio.

- D. La cuarta fase denominada "UTILIZACION", se refiere al aprovechamiento que hace la célula misma del oxígeno que le ofrece la sangre. En ciertas situaciones se verá que la célula, a pesar de que se le ofrece una adecuada cantidad de oxígeno, se encuentra imposibilitada de extraer el oxígeno de la sangre y por lo tanto cae en Hipoxia.