CAPÍTULO 39

Principios físicos del intercambio gaseoso; difusión de O2 y CO2 a través de la membrana respiratoria

Después de la ventilación la difusión de gases se da de la siguiente forma:

O2🡪 DESDE ALVEOLOS HACIA LA SANGRE

CO2🡪DESDE LA SANGRE HACIA LOS ALVEOLOS

Para que la difusión se produzca se necesita una fuente de energía, la cual procede del movimiento cinético de la propias partículas.

La DIFUSIÓN DE UN GAS se lleva a cabo desde una zona de CONCENTRACIÓN ELEVADA hacia una zona de CONCENTRACIÓN BAJA.

Presiones gaseosas en una mezcla de gases: presiones parciales de gases individuales

Presión🡪producida por múltiples impactos de partículas en movimiento contra una superficie. Ésta es directamente proporcional a la concentración de las moléculas del gas.

Presión parcial🡪es la presión que genera un gas en determinada mezcla. Cada gas contribuye a la presión total en proporción directa a su concentración.

Presión parcial de O2🡪160 mmHg, corresponde al 21% de concentración del aire.

Presión parcial de N2🡪600 mmHg, corresponde al 79% de concentración del aire.

Cuando un gas está disuelto en líquido y entra en contacto con una superficie, ejerce su propia presión.

La presión parcial de un gas está determinada por COEFICIENTE DE SOLUBILIDAD Y CONCENTRACIÓN.

Si un gas tiene gran solubilidad genera menor presión parcial, sin embargo si el gas tiene poca solubilidad genera mayor presión parcial.

El CO2 es 20 veces más soluble que el O2 por ello la PCO2 es 20 veces menor que la PO2.

Difusión de gases entre fase gaseosa de los alvéolos y la fase disuelta de la sangre pulmonar

La difusión neta está determinada por la diferencia entre las dos presiones parciales.

Si la presión parcial es mayor en la fase gaseosa de los alvéolos, entonces más moléculas difundirán hacia la sangre. Esto ocurre con el O2.

Si la presión parcial es mayor en el estado disuelto de la sangre, la difusión neta se dirigirá hacia la fase gaseosa de los alvéolos. Esto ocurre con el CO2.

Presión del vapor de agua

Es la presión parcial que ejercen las moléculas para escapar a través de la superficie.

La presión de vapor de agua depende totalmente de la temperatura del agua.

A la temperatura corporal de:

* 37 ºC la presión de vapor de agua es 47 mmHg.
* 0 ºC la presión de vapor de agua es 5 mmHg
* 100 ºC la presión de vapor de agua es 760 mmHg

Difusión de gases a través de líquidos

Diferencia de presión para producir la difusión🡪 es la diferencia de presiones parciales de gas entre las 2 zonas.

CUANDO LA PRESIÓN PARCIAL DE UN GAS ES MAYOR EN UNA ZONA QUE EN OTRA ZONA, HABRÁ UNA DIFUSIÓN NETA DESDE LA ZONA DE PRESIÓN ELEVADA HACIA LA ZONA DE PRESIÓN BAJA.

La difusión neta del gas desde la zona de presión elevada hacia la zona de presión baja es igual al número de moléculas que rebotan en esta dirección anterógrada menos el número que rebota en la dirección contraria.

Los factores que afectan la velocidad de difusión del gas en un líquido son:

* Solubilidad del gas en el líquido
* Temperatura del líquido
* Área transversal del líquido
* Distancia a través de la que debe difundir el gas
* Peso molecular del gas

El coeficiente de difusión de un gas está determinado por la solubilidad y el peso molecular del gas.

LA PRINCIPAL LIMITACIÓN AL MOVIMIENTO DE LOS GASES EN LOS TEJIDOS ES LA VELOCIDAD A LA QUE LOS GASES PUEDEN DIFUNDIR A TRAVÉS DEL AGUA TISULAR.

COMPOSICIONES DEL AIRE ALVEOLAR Y AIRE ATMOSFÉRICO

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Gas | Aire Atmosférico (mmHg) | Aire Alveolar (mmHg) |
| N2 | 597 (78.62%) | 569 (74.9%) |
| O2 | 159 (20.84%) | 104 (13.6%) |
| CO2 | 0.3 (0.04%) | 40 (5.3%) |
| H2O | 3.7 (0.5%) | 47 (6.2%) |
| TOTAL | 760 | 760 |

El aire atmosférico está compuesto casi totalmente de N2 y O2. Mientras que el aire alveolar tiene mayor porcentaje de CO2 Y H2O.

Humidificación del aire en las vías respiratorias

Cuando el aire atmosférico entra en las vías respiratorias está expuesto a los líquidos que recubren las superficies respiratorias y es humidificado, incluso antes de que el aire entre en los alvéolos.

La presión de vapor de agua ayuda a diluir los gases del aire inspirado para evitar que la presión total en los alvéolos aumente por encima de la presión atmosférica.

Velocidad con que se renueva el aire alveolar por el aire atmosférico

El volumen que de aire alveolar que es sustituido por aire atmosférico nuevo en cada respiración es de sólo 1/7 del total, de modo que son necesarias múltiples inspiraciones para intercambiar la mayor parte del aire alveolar.

La sustitución lenta del aire alveolar tiene importancia porque previene cambios súbitos de las concentraciones de gases en la sangre. Previene aumentos y disminuciones excesivas de la oxigenación tisular, concentración de CO2 y pH tisular cuando se interrumpe temporalmente la respiración.

Concentración y presión parcial de O2 en los alvéolos

La concentración de O2 en los alvéolos y su presión parcial están controladas por:

* Velocidad de entrada de O2 hacia la sangre
* Velocidad de entrada de O2 nuevo a los pulmones por el proceso ventilatorio.

Cuanto más rápidamente se absorba el O2 menor será su concentración en los alvéolos, por el contrario cuanto más rápidamente se inhale nuevo oxígeno hacia los alvéolos desde la atmósfera, mayor será su concentración.

Cuando la absorción de O2 aumenta la velocidad de la ventilación alveolar debe aumentar para mantener la PO2 en el valor normal (104 mmHg).

Un aumento extremo de la ventilación alveolar nunca puede levar la PO2 por encima de 149 mmHg siempre que la persona esté respirando aire atmosférico normal a la presión del nivel del mar.

Concentración y presión parcial de CO2 en los alvéolos

La PCO2 alveolar aumenta en proporción directa a la velocidad de excreción de CO2.

La PCO2 alveolar disminuye en proporción inversa a la ventilación alveolar.

LAS CONCENTRACIONES Y LAS PRESIONES PARCIALES TANTO DEL O2 COMO DEL CO2 EN LOS ALVÉOLOS ESTÁN DETERMINADAS POR LAS VELOCIDADES DE ABSORCIÓN O EXCRECIÓN DE LOS DOS GASES Y POR LA MAGNITUD DE LA VENTILACIÓN ALVEOLAR.

AIRE ESPIRADO

La composición del aire espirado está determinada por:

Cantidad de aire espirado que es aire del espacio muerto

Cantidad que es aire alveolar

La primera porción del aire espirado es aire del espacio muerto de las vías aéreas respiratorias, éste aire es aire humidificado típico.

Después el aire alveolar se mezcla con el aire del espacio muerto hasta que al final de la espiración sólo se espira aire alveolar.

El aire espirado normal tiene concentraciones que están entre las del aire alveolar y las del aire atmosférico.

DIFUSIÓN DE GASES A TRAVÉS DE LA MEMBRANA RESPIRATORIA

La unidad respiratoria está formada por:

* Bronquíolo respiratorio
* Conductos alveolares
* Atrios
* Alvéolos

El intercambio gaseoso entre el aire alveolar y la sangre pulmonar se produce a través de las membranas de todas las porciones terminales de los pulmones, no sólo en los propios alvéolos. Todas estas membranas se conocen de manera colectiva como MEMBRANA RESPIRATORIA O MEMBRANA PULMONAR.

Membrana respiratoria

Tiene las siguientes capas:

1. Capa de líquido🡪que tapiza el alvéolo y contiene surfactante, que reduce la tensión superficial del líquido alveolar.
2. Epitelio alveolar🡪formado por células epiteliales delgadas.
3. Membrana basal epitelial
4. Espacio intersticial delgado entre el epitelio alveolar y la membrana capilar.
5. Membrana basal capilar
6. Membrana del endotelio capilar

El grosor de la membrana respiratoria en promedio es de aprox. 6 µm.

El área superficial de la membrana respiratoria es de aprox. 70 m2

La cantidad total de sangre en los capilares de los pulmones en cualquier instante dado es de 60 a 140 ml.

FACTORES QUE DETERMINAN LA RAPIDEZ CON LA QUE UN GAS ATRAVIESA LA MEMBRANA SON:

* GROSOR DE LA MEMBRANA
* ÁREA SUPERFICIAL DE LA MEMBRANA
* COEFICIENTE DE DIFUSIÓN DEL GAS
* DIFERENCIA DE PRESIÓN PARCIAL

Cualquier factor que aumente el grosor a más de dos o tres veces el valor normal puede interferir de manera significativa con el intercambio respiratorio normal de gases.

Cuando el área superficial total disminuye hasta aproximadamente un tercio a un cuarto de lo normal, se preoduce un deterioro significativo del intercambio gaseoso a través de la membrana, incluso en situación de reposo.

La diferencia de presión a través de la membrana respiratoria es la diferencia entre la presión parcial del gas en los alvéolos y la presión parcial del gas en la sangre capilar pulmonar.

LA PRESIÓN PARCIAL REPRESENTA UNA MEDIDA DEL NÚMERO TOTAL DE MOLÉCULAS DE UN GAS PARTICULAR QUE INCIDE EN UNA UNIDAD DE SUPERFICIE DE LA SUPERFICIE ALVEOLAR DE LA MEMBRANA POR CADA UNIDAD DE TIEMPO.

LA PRESIÓN DEL GAS EN LA SANGRE REPRESENTA EL NÚMERO DE MOLÉCULAS QUE INTENTARÁN ESCAPAR DESDE LA SANGRE EN LA DIRECCIÓN OPUESTA.

Cuando la presión parcial de un gas en los alvéolos e mayor que la presión del gas en la sangre, se produce difusión neta desde los alvéolos a la sangre.

Cuando la presión parcial de un gas en la sangre es mayor que la presión parcial en los alvéolos se produce difusión neta desde la sangre hacia los alvéolos.

Capacidad de difusión de la membrana respiratoria

Es el volumen de un gas que difunde a través de la membrana en cada minuto para un diferencia de presión parcial de 1 mmHg.

Capacidad de difusión del O2

En condiciones de reposo en un varón joven es en promedio 21 ml/min/mmHg

Se puede calcular a partir de las mediciones de PO2 alveolar, PO2 de la sangre capilar pulmonar y velocidad de captación de O2 por la sangre.

Normalmente miden la difusión del monóxido de carbono y a partir de ella calculan la difusión del O2 para evitar dificultades.

Aumento de la capacidad de difusión del O2 durante el ejercicio

Durante el ejercicio muy intenso u otras situaciones que aumentan mucho el flujo sanguíneo pulmonar y la ventilación alveolar, la capacidad de difusión del O2 aumenta en los varones jóvenes hasta un máximo de aprox 65 ml/min/mmHg.

El aumento de la capacidad de difusión del O2 se debe a la apertura de muchos capilares pulmonares previamente cerrados o a la dilatación adicional de capilares ya abiertos y por un mejor equilibrio entre la ventilación de los alvéolos y la perfusión de los capilares alveolares con sangre.

Durante el ejercicio la oxigenación de la sangre aumenta por el aumento de la ventilación alvolar y por una mayor capacidad de difusión de la membrana respiratoria para transportar el oxígeno hacia la sangre.

Capacidad de difusión del CO2

Como el coeficiente de difusión del CO2 es algo mayor de 20 veces el del O2, cabe esperar que la capacidad de difusión del CO2 en reposo sea de aproximadamente 400 a 450 ml/min/mmHg y durante el esfuerzo de aprox 1200 a 1300 ml/min/mmHg.

EFECTO DEL COCIENTE DE VENTILACIÓN-PERFUSIÓN SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE GAS ALVEOLAR

DOS FACTORES QUE DETERMINAN LA PO2 Y LA PCO2 EN LOS ALVÉOLOS SON LA VELOCIDAD DE LA VENTILACIÓN ALVEOLAR Y LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DEL O2 Y DEL CO2 A TRAVÉS DE LA MEMBRANA RESPIRATORIA.

**Cociente ventilación- perfusión🡪concepto cuantitativo para comprender el intercambio gaseoso cuando hay un desequilibrio entre la ventilación alveolar y el flujo sanguíneo alveolar.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| VA | Q | VA/Q |
| Normal | **Normal** | **Normal** |
| No hay ventilación | **Hay perfusión** | **0** |
| Hay ventilación | **No hay perfusión** | **∞ (infinito)** |

CUANDO EL COEFICIENTE DE VENTILACIÓN-PERFUSIÓN ES CERO O INFINITO NO HAY INTERCAMBIO DE GASES A TRAVÉS DE LA MEMBRANA RESPIRATORIA.

Presiones parciales alveolares de O2 y CO2 cuando VA/Q es igual a 0

PCO2🡪 45 mmHg

PO2🡪 40 mmHg

Estas presiones parciales se deben a que al no haber ventilación los gases llegan a equilibrarse, pero al recibir la perfusión, que es dada por sangre venosa, los gases se desequilibran y las presiones parciales se vuelven iguales a las de la sangre venosa.

Presiones parciales alveolares de O2 y de CO2 cuando VA/Q es igual a infinito

PCO2🡪 0 mmHg

PO2🡪 149 mmHg

Estas presiones parciales se deben a que el aire alveolar se hace igual al aire inspirado humidificado, ya que no pierde O2 ni gana CO2.

Intercambio gaseoso y presiones parciales alveolares cuando VA/Q es normal

PCO2🡪 40 mmHg

PO2🡪104 mmHg

Estas presiones parciales se mantienen porque el intercambio de O2 y CO2 a través de la membrana respiratoria es casi óptimo.

Corto circuito fisiológico (cuando VA/Q es menor de lo normal)

Siempre que el coeficiente ventilación-perfusión está por debajo de lo normal hay una ventilación inadecuada para aportar el O2 necesario para oxigenar completamente la sangre que fluye a través de los capilares alveolares. Por tanto, cierta fracción de la sangre venosa que atraviesa los capilares pulmonares no se oxigena.

Sangre derivada🡪sangre venosa que atraviesa los capilares pulmonares y no se oxigena

Corto circuito fisiológico🡪 es la magnitud cuantitativa total de sangre derivada por minuto. CUANTO MAYOR SEA EL CORTO CIRCUITO FISIOLÓGICO, MAYOR ES LA CANTIDAD DE SANGRE QUE NO SE OXIGENA CUANDO PASA POR LOS PULMONES.

ESPACIO MUERTO FISIOLÓGICO (cuando VA/Q es mayor de lo normal)

Espacio muerto fisiológico🡪es la suma de la ventilación alveolar desperdiciada y de la ventilación de las zonas de espacio muerto anatómico.

Cuando la ventilación de algunos alvéolos es grande pero el flujo sanguíneo alveolar es bajo se dispone de mucho más O2 en los alvéolos de lo que se puede extraer de los alvéolos por la sangre que fluye. Así, se dice que la ventilación de esos alvéolos está desperdiciada.

Cuando el espacio muerto fisiológico es grande, buena parte del trabajo de la ventilación es un esfuerzo desperdiciado porque elevada parte de la ventilación nunca llega a la sangre.

Anomalías del cociente de ventilación-perfusión

VA/Q anormal en la parte superior e inferior del pulmón normal

En una persona erguida el flujo sanguíneo capilar pulmonar y la ventilación alveolar son menores en la parte superior del pulmón. Sin embargo hay mayor disminución del flujo sanguíneo.

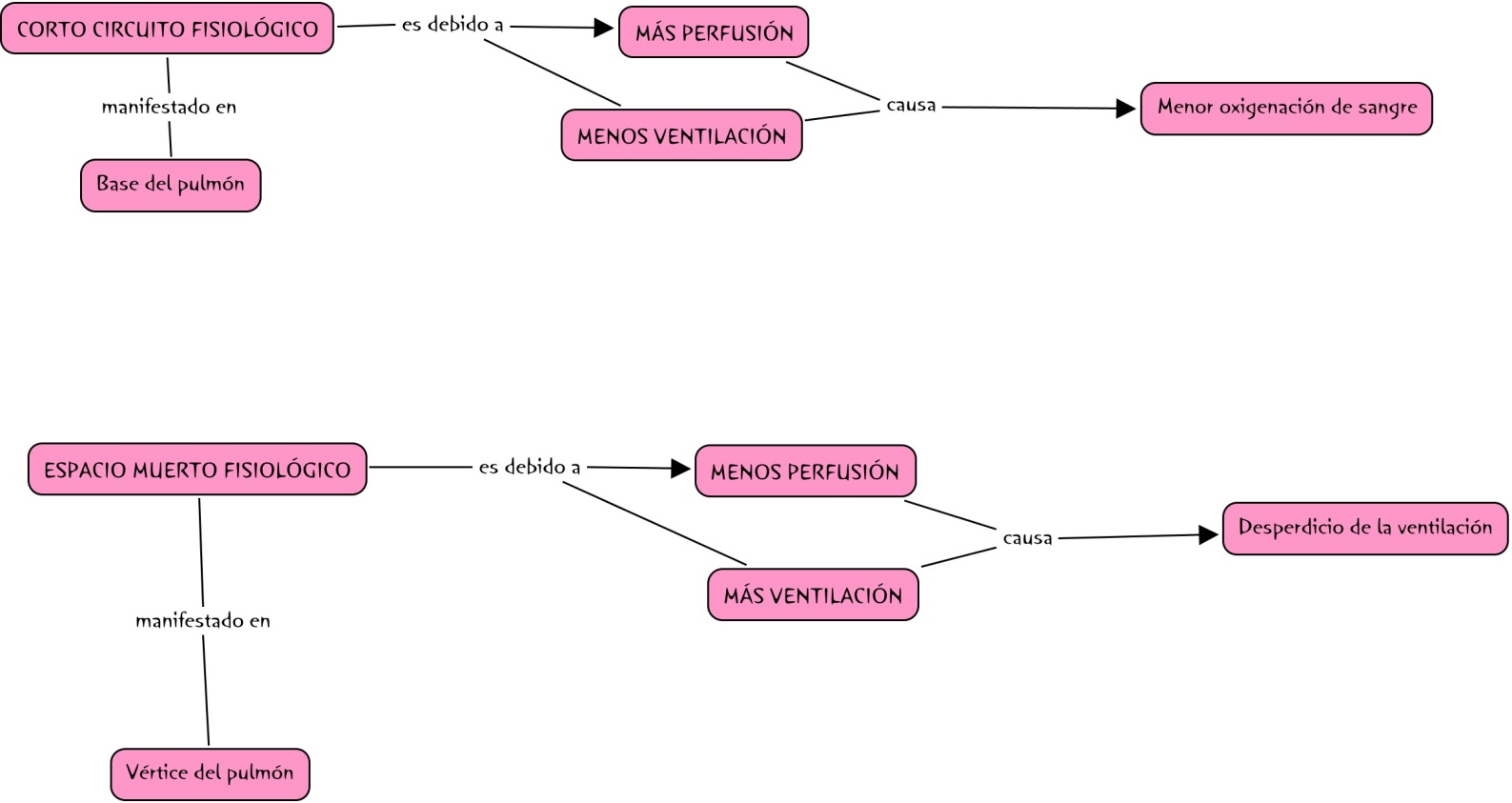
En la parte superior del pulmón el cociente VA/Q es hasta 2.5 veces mayor del valor ideal, lo que da lugar a un grado moderado de espacio muerto fisiológico.

En la parte inferior del pulmón hay una ligera disminución de la ventilación en relación con el flujo sanguíneo. El cociente VA/Q es tan bajo como 0.6 veces el valor ideal. En esta zona una pequeña fracción de la sangre no se oxigena normalmente y esto representa un cortocircuito fisiológico.

Durante el ejercicio se produce aumento del flujo sanguíneo hacia la parte superior del pulmón, de modo que se produce menos espacio muerto fisiológico y la eficacia de intercambio gaseoso se acerca al valor óptimo.

VA/Q anormal en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica

En la enfermedad pulmonar obstructiva crónica algunas zonas muestran un cortocircuito fisiológico importante y otras zonas muestran un espacio muerto fisiológico importante. Estas dos situaciones reducen mucho la eficacia de los pulmones como órganos de intercambio gaseoso, a veces reduciendo su eficacia hasta un valor tan bajo como un décimo de lo normal.



PARTE SUPERIOR DEL PULMÓM🡪MAYOR VENTILACIÓN, MENOR PERFUSIÓN.

PARTE INFERIOR DEL PULMÓN🡪MAYOR PERFUSIÓN, MENOR VENTILACIÓN.