



UNIVERSIDAD DEL SURESTE

PRESENTA:

Lucía Guadalupe Zepeda Montufar

**SEGUNDO SEMESTRE EN LA LICENCIATURA DE MEDICINA
HUMANA**

TEMA: Resumen de los capítulos 38,39 y 40

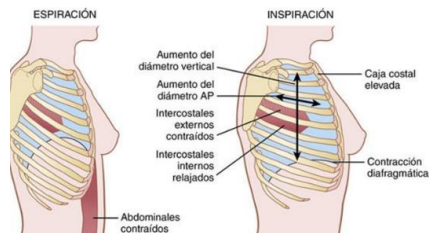
ASIGNATURA: Fisiología I

CATEDRÁTICO: Dr. Samuel Esaú Fonseca Fierro

TUXTLA GUTIÉRREZ; CHIAPAS A 06 DE JUNIO DEL 2020

CAPÍTULO 38. "MECÁNICA DE LA VENTILACIÓN PULMONAR"

Músculos que causan la expansión y contracción pulmonar: Los pulmones se pueden expandir y contraer de dos maneras: 1) mediante el movimiento hacia abajo y hacia arriba del diafragma para alargar o acortar la cavidad torácica, y 2) mediante la elevación y el descenso de las costillas para aumentar y reducir el diámetro anteroposterior de la cavidad torácica.



La respiración tranquila normal: se consigue casi totalmente por el primer mecanismo, es decir, por el movimiento del diafragma. Durante la inspiración la contracción del diafragma tira hacia abajo de las superficies inferiores de los pulmones. Después, durante la espiración el diafragma simplemente se relaja, y el retroceso elástico de los pulmones, de la pared torácica y de las estructuras abdominales comprime los pulmones y expulsa el aire.

La respiración forzada: las fuerzas elásticas no son suficientemente potentes para producir la espiración rápida necesaria, de modo que se consigue una fuerza adicional principalmente mediante la contracción de los músculos abdominales, que empujan el contenido abdominal hacia arriba contra la parte inferior del diafragma, comprimiendo de esta manera los pulmones.

Los músculos más importantes que elevan la caja torácica son los **intercostales externos**, aunque otros músculos que contribuyen son: 1) los músculos esternocleidomastoideos, que elevan el esternón; 2) los serratos anteriores, que elevan muchas de las costillas, y 3) los escalenos, que elevan las dos primeras costillas. Los músculos que tiran hacia abajo de la caja costal durante la espiración son principalmente 1) los rectos del abdomen, que tienen el potente efecto de empujar hacia abajo las costillas inferiores al mismo tiempo que ellos y otros músculos abdominales también comprimen el contenido abdominal hacia arriba contra el diafragma, y 2) los intercostales internos.

Presiones que originan el movimiento de entrada y salida de aire de los pulmones: El pulmón es una estructura elástica que se colapsa como un globo y expulsa el aire a través de la tráquea siempre que no haya ninguna fuerza que lo mantenga insuflado. El pulmón «flota» en la cavidad torácica, rodeado por una capa delgada de líquido pleural que lubrica el movimiento de los pulmones en el interior de la cavidad.

Presión pleural y sus cambios durante la respiración: La presión pleural es la presión del líquido que está en el delgado espacio que hay entre la pleura pulmonar y la pleura de la pared torácica.

Presión alveolar: presión del aire en el interior de los alvéolos pulmonares Cuando la glotis está abierta y no hay flujo de aire hacia el interior ni el exterior de los pulmones, las presiones en todas las partes del árbol respiratorio, hasta los alvéolos, son iguales a la presión atmosférica, que se considera que es la presión de referencia cero en las vías aéreas (es decir, presión de 0 cmH₂O).

Presión transpulmonar: diferencia entre las presiones alveolar y pleural: La presión transpulmonar es la diferencia entre la presión que hay en el interior de los alvéolos y la que hay en las superficies externas de los pulmones (presión pleural), y es una medida de las fuerzas elásticas de los pulmones que tienden a colapsarlos en todos los momentos de la respiración, denominadas presión de retroceso.

Distensibilidad de los pulmones: La distensibilidad pulmonar total de los dos pulmones en conjunto en el ser humano adulto normal es en promedio de aproximadamente 200 ml de aire por cada cmH₂O de presión transpulmonar. Es decir, cada vez que la presión transpulmonar aumenta 1 cmH₂O, el volumen pulmonar, después de 10 a 20 s, se expande 200 ml.

Diagrama de distensibilidad de los pulmones: Las características del diagrama de distensibilidad están determinadas por las fuerzas elásticas de los pulmones. Estas se pueden dividir en dos partes: 1) fuerzas elásticas del tejido pulmonar en sí mismo, y 2) fuerzas elásticas producidas por la tensión superficial del líquido que tapiza las paredes internas de los alvéolos y de otros espacios aéreos pulmonares. Las fuerzas elásticas del tejido pulmonar están determinadas principalmente por las fibras de elastina y colágeno que están entrelazadas entre sí en el parénquima pulmonar.

Surfactante, tensión superficial y colapso de los alvéolos

Principio de la tensión superficial: Cuando el agua forma una superficie con el aire, las moléculas de agua de la superficie del agua tienen una atracción especialmente intensa entre sí. El efecto neto es producir una fuerza contráctil elástica de todo el pulmón, que se denomina **fuerza elástica de la tensión superficial**.

El surfactante y su efecto sobre la tensión superficial: El surfactante es un agente activo de superficie en agua, lo que significa que reduce mucho la tensión superficial del agua. Es secretado por células epiteliales especiales secretoras de surfactante denominadas células epiteliales alveolares de tipo II, que constituyen aproximadamente el 10% del área superficial de los alvéolos. El surfactante es una mezcla compleja de varios fosfolípidos, proteínas e iones.

Efecto de la caja torácica sobre la expansibilidad pulmonar: La caja torácica tiene sus propias características elásticas y viscosas, similares a las de los pulmones.

Distensibilidad del tórax y de los pulmones en conjunto: La distensibilidad de todo el sistema pulmonar (los pulmones y la caja torácica en conjunto) se mide cuando se expanden los pulmones de una persona relajada o paralizada totalmente. Para medir la distensibilidad se introduce aire en los pulmones poco a poco mientras se registran las presiones y volúmenes pulmonares. Cuando se está cerca de los límites, la distensibilidad del sistema pulmón-tórax combinado puede ser menor de un quinto de la de los pulmones solos.

«Trabajo» de la respiración: En condiciones de reposo los músculos respiratorios normalmente realizan un «trabajo» para producir la inspiración, pero no para producir la espiración. El trabajo de la inspiración se puede dividir en tres partes: 1) el trabajo necesario para expandir los pulmones contra las fuerzas elásticas del pulmón y del tórax, denominado trabajo de distensibilidad o trabajo elástico; 2) el trabajo necesario para superar la viscosidad de las estructuras del pulmón y de la pared torácica, denominado trabajo de resistencia tisular, y 3) el trabajo necesario para superar la resistencia de las vías aéreas al movimiento de entrada de aire hacia los pulmones, denominado trabajo de resistencia de las vías aéreas.

Energía necesaria para la respiración: Durante la respiración tranquila normal para la ventilación pulmonar solo es necesario el 3-5% de la energía total que consume el cuerpo.

Volúmenes y capacidades pulmonares

Registro de las variaciones del volumen pulmonar: Espirometría: La ventilación pulmonar puede estudiarse registrando el movimiento del volumen del aire que entra y sale de los pulmones, un método que se denomina Espirometría.

Capacidades pulmonares: En la descripción de los acontecimientos del ciclo pulmonar a veces es deseable considerar dos o más de los volúmenes combinados. Estas combinaciones se denominan capacidades pulmonares. La capacidad pulmonar total es el volumen máximo al que se pueden expandir los pulmones con el máximo esfuerzo posible (aproximadamente 5.800 ml); es igual a la capacidad vital más el volumen residual. Todos los volúmenes y capacidades pulmonares son, en general, aproximadamente un 20-25% menores en mujeres que en hombres, y son mayores en personas de constitución grande y atléticas que en personas de constitución pequeña y asténicas.

Determinación de la capacidad residual funcional, el volumen residual y la capacidad pulmonar total: método de dilución de helio: La capacidad residual funcional (CRF), que es el volumen de aire que queda en los pulmones al final de una espiración normal, es importante en la función pulmonar.

El volumen respiratorio minuto equivale a la frecuencia respiratoria multiplicada por el volumen corriente: El volumen respiratorio minuto es la cantidad total de aire nuevo que pasa hacia las vías aéreas en cada minuto y es igual al volumen corriente multiplicado por la frecuencia respiratoria por minuto. El volumen corriente normal es de aproximadamente 500 ml y la frecuencia respiratoria normal es de aproximadamente 12 respiraciones por minuto.

Ventilación alveolar: La función de la ventilación pulmonar es renovar continuamente el aire de las zonas de intercambio gaseoso de los pulmones, en las que el aire está próximo a la sangre pulmonar. Estas zonas incluyen los alvéolos, los sacos alveolares, los conductos alveolares y los bronquiolos respiratorios. La velocidad a la que llega a estas zonas el aire nuevo se denomina ventilación alveolar.

«Espacio muerto» y su efecto sobre la ventilación alveolar: Parte del aire que respira una persona nunca llega a las zonas de intercambio gaseoso, sino que simplemente llena las vías aéreas en las que no se produce intercambio gaseoso, como la nariz, la faringe y la tráquea. Este aire se denomina aire del espacio muerto, porque no es útil para el intercambio gaseoso.

Volumen normal del espacio muerto: El aire normal del espacio muerto de un hombre adulto joven es de aproximadamente 150 ml.

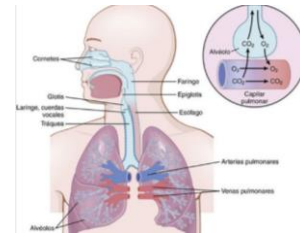
Espacio muerto anatómico frente a fisiológico: El método que se acaba de describir para medir el espacio muerto mide el volumen de todo el espacio del aparato respiratorio distinto a los alvéolos y las demás zonas de intercambio gaseoso que se relacionan con ellos; este espacio se denomina espacio muerto anatómico. En una persona normal los espacios muertos anatómico y fisiológico son casi iguales porque en el pulmón normal todos los alvéolos son funcionales, pero en una persona que tiene alvéolos funcionales parcialmente o no funcionales en algunas partes de los pulmones el espacio muerto fisiológico puede ser hasta 10 veces mayor que el volumen del espacio muerto anatómico, o 1 a 2 l.

Frecuencia de la ventilación alveolar: La ventilación alveolar por minuto es el volumen total de aire nuevo que entra en los alvéolos y zonas adyacentes de intercambio gaseoso cada minuto. La ventilación alveolar es uno de los principales factores que determinan las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en los alvéolos.

Funciones de las vías aéreas

Tráquea, bronquios y bronquiólos: El aire se distribuye a los pulmones por medio de la tráquea, los bronquios y los bronquiólos.

Para evitar que la tráquea se colapse, múltiples anillos cartilagosos se extienden aproximadamente 5/6 del contorno de la tráquea. En las paredes de los bronquios, placas curvas de cartilago menos extensas también mantienen una rigidez razonable, aunque permiten un movimiento suficiente para que los pulmones se expandan y se contraigan, cuando los alvéolos se dilatan, los bronquiólos también se dilatan, aunque no tanto.



Pared muscular de los bronquios y bronquiólos y su control: En todas las zonas de la tráquea y de los bronquios que no están ocupadas por placas cartilaginosas las paredes están formadas principalmente por músculo liso.

Resistencia al flujo aéreo en el árbol bronquial: En condiciones respiratorias normales el aire fluye a través de las vías aéreas con tanta facilidad que es suficiente un gradiente de presión menor de 1 cmH₂O desde los alvéolos a la atmósfera para generar un flujo aéreo suficiente para una respiración tranquila. La máxima resistencia al flujo aéreo no se produce en las pequeñas vías aéreas de los bronquiólos terminales, sino en algunos de los bronquiólos y bronquios de mayor tamaño cerca de la tráquea.

Control nervioso y local de la musculatura bronquiolar: dilatación «simpática» de los bronquiólos: El control directo de los bronquiólos por las fibras nerviosas simpáticas es relativamente débil porque pocas fibras de este tipo penetran hasta las porciones centrales del pulmón. Sin embargo, el árbol bronquial está muy expuesto a la noradrenalina y adrenalina que se liberan hacia la sangre por la estimulación simpática de la médula de las glándulas suprarrenales.

Constricción parasimpática de los bronquiólos: Algunas fibras nerviosas parasimpáticas procedentes de los nervios vagos penetran en el parénquima pulmonar. Estos nervios secretan acetilcolina y, cuando son activados, producen una constricción leve a moderada de los bronquiólos.

Los factores secretores locales pueden producir constricción bronquiolar: Dos de las más importantes de estas sustancias son la histamina y la sustancia de reacción lenta de la anafilaxia. Estas dos sustancias se liberan a nivel pulmonar por los mastocitos durante las reacciones alérgicas, sobre todo las provocadas por pólenes del aire.

Moco que recubre las vías aéreas y acción de los cilios en la limpieza de las vías aéreas: Todas las vías aéreas, desde la nariz a los bronquiólos terminales, están humedecidas por una capa de moco que recubre toda la superficie. El moco es secretado en parte por las células caliciformes mucosas individuales del recubrimiento epitelial de las vías aéreas y en parte por pequeñas glándulas submucosas. Después el moco y las partículas que están atrapadas en el mismo son deglutidos o se expulsan hacia el exterior con la tos.

Reflejo tusígeno: Los bronquios y la tráquea son tan sensibles a la presión ligera que cantidades muy pequeñas de sustancias extrañas u otras causas de irritación inician el reflejo tusígeno. Los impulsos nerviosos aferentes pasan desde las vías aéreas principalmente a través de los nervios vagos hacia el bulbo raquídeo del encéfalo. Ahí se activa una secuencia automática de acontecimientos por los circuitos neuronales del bulbo, produciendo el siguiente efecto. Primero se inspiran rápidamente hasta 2,5 l de aire. Segundo, se cierra la epiglotis y las cuerdas vocales se cierran firmemente para atrapar el aire que está en el interior de los pulmones. Tercero, los músculos abdominales se contraen con fuerza, comprimiendo el diafragma mientras otros músculos espiratorios, como los intercostales internos, también se contraen con fuerza. En consecuencia, la presión en los pulmones aumenta rápidamente hasta 100 mmHg o más. Cuarto, las cuerdas vocales y la epiglotis se abren totalmente de manera súbita, de modo que el aire que está sometido a esta presión elevada en los pulmones explota hacia fuera.

Reflejo del estornudo: El estímulo desencadenante del reflejo del estornudo es la irritación de las vías aéreas nasales; los impulsos eferentes pasan a través del quinto par craneal hacia el bulbo, donde se desencadena el reflejo. Se produce una serie de reacciones similar a la que ocurre en el reflejo tusígeno, pero la úvula desciende, de modo que grandes cantidades de aire pasan rápidamente a través de la nariz, contribuyendo de esta manera a limpiar las vías aéreas nasales de sustancias extrañas.

Funciones respiratorias normales de la nariz: Cuando el aire pasa a través de la nariz, las cavidades nasales realizan tres funciones respiratorias normales distintas: 1) el aire es calentado por las extensas superficies de los cornetes y del tabique, un área total de aproximadamente 160 cm², 2) el aire es humidificado casi completamente incluso antes de que haya pasado más allá de la nariz, y 3) el aire es filtrado parcialmente. Estas funciones en conjunto son denominadas la función de acondicionamiento del aire de las vías aéreas respiratorias superiores.

Función de filtro de la nariz: Los pelos de la entrada de las narinas son importantes para filtrar las partículas grandes. Sin embargo, es mucho más importante la eliminación de las partículas por precipitación turbulenta, es decir, el aire que atraviesa las vías aéreas nasales choca contra muchos obstáculos: los cornetes (también denominados turbinas porque generan una turbulencia de aire), el tabique y la pared faríngea.

Tamaño de las partículas atrapadas en las vías aéreas: El mecanismo de turbulencia nasal para eliminar las partículas del aire es tan eficaz que casi no llegan partículas mayores de 6 µm de diámetro a los pulmones a través de la nariz.

Vocalización: El habla implica a: 1) centros específicos de control nervioso del habla de la corteza cerebral, que se analizan en el capítulo 58; 2) centros de control respiratorio del encéfalo, y 3) las estructuras de articulación y resonancia de las cavidades oral y nasal. El habla está formada por dos funciones mecánicas: 1) fonación, que se realiza en la laringe, y 2) articulación, que se realiza en las estructuras de la boca.

Fonación: La laringe, está adaptada especialmente para actuar como vibrador. Los elementos vibradores son los pliegues vocales, que habitualmente se denominan cuerdas vocales. Las cuerdas vocales protruyen desde las paredes laterales de la laringe hacia el centro de la glotis; son distendidas y mantenidas en su posición por varios músculos específicos de la propia laringe. Durante la fonación en las cuerdas se juntan entre sí, de modo que el paso de aire entre ellas produce su vibración. El tono de la vibración está determinado principalmente por el grado de distensión de las cuerdas, aunque también por el grado de aproximación de las cuerdas entre sí y por la masa de sus bordes.

Articulación y resonancia: Los tres órganos principales de la articulación son los labios, la lengua y el paladar blando. Los resonadores incluyen la boca, la nariz y los senos nasales asociados, la faringe e incluso la cavidad torácica.

CAPÍTULO 39. "CIRCULACIÓN PULMONAR, EDEMA PULMONAR,

LÍQUIDO PLEURAL"

El pulmón tiene dos circulaciones: una circulación de bajo flujo y alta presión y una circulación de alto flujo y baja presión.

La circulación de bajo flujo y alta presión: Aporta la sangre arterial sistémica a la tráquea, el árbol bronquial incluyendo los bronquiolos terminales, los tejidos de sostén del pulmón y las capas exteriores (adventicias) de las arterias y venas pulmonares. Las arterias bronquiales, que son ramas de la aorta torácica, irrigan la mayoría de esta sangre arterial sistémica a una presión solo ligeramente inferior a la presión aórtica.

La circulación de alto flujo y baja presión: Suministra la sangre venosa de todas las partes del organismo a los capilares alveolares en los que se añade el oxígeno (O₂) y se extrae el dióxido de carbono (CO₂). La arteria pulmonar, que recibe sangre del ventrículo derecho, y sus ramas arteriales transportan sangre a los capilares alveolares para el intercambio gaseoso y a las venas pulmonares y después devuelven la sangre a la aurícula izquierda para su bombeo por el ventrículo izquierdo a través de la circulación sistémica.

Anatomía fisiológica del sistema circulatorio pulmonar

Vasos pulmonares: La arteria pulmonar se extiende solo 5 cm más allá de la punta del ventrículo derecho y después se divide en las ramas principales derecha e izquierda, que vascularizan los dos pulmones correspondientes. Las venas pulmonares, al igual que las arterias pulmonares, también son cortas. Drenan inmediatamente la sangre que les llega hacia la aurícula izquierda.

Vasos bronquiales: La sangre también fluye hacia los pulmones a través de arterias bronquiales pequeñas que se originan en la circulación sistémica y transportan el 1-2% del gasto cardíaco total. Esta sangre arterial bronquial es sangre oxigenada, al contrario de la sangre parcialmente desoxigenada de las arterias pulmonares.

Linfáticos: Hay vasos linfáticos en todos los tejidos de soporte del pulmón, comenzando en los espacios tisulares conjuntivos que rodean a los bronquiolos terminales, y siguiendo hacia el hilio del pulmón, y desde aquí principalmente hacia el conducto linfático torácico derecho.

Presiones en el sistema pulmonar

Presiones en la arteria pulmonar: Durante la sístole la presión en la arteria pulmonar es esencialmente igual a la presión que hay en el ventrículo derecho. Sin embargo, después del cierre de la válvula pulmonar al final de la sístole, la presión ventricular cae súbitamente, mientras que la presión arterial pulmonar disminuye más lentamente a medida que la sangre fluye a través de los capilares de los pulmones.

Presiones auricular izquierda y venosa pulmonar: La presión media en la aurícula izquierda y en las venas pulmonares principales es en promedio de aproximadamente 2 mmHg en el ser humano en decúbito, y varía desde un valor tan bajo como 1 mmHg hasta uno tan elevado como 5 mmHg.

Volumen sanguíneo de los pulmones: El volumen de la sangre de los pulmones es de aproximadamente 450 ml, aproximadamente el 9% del volumen de sangre total de todo el aparato circulatorio. Aproximadamente 70 ml de este volumen de sangre pulmonar están en los capilares pulmonares, y el resto se divide aproximadamente por igual entre las arterias y las venas pulmonares.

Los pulmones sirven como reservorio de sangre: En varias situaciones fisiológicas y patológicas la cantidad de sangre de los pulmones puede variar desde tan poco como la mitad del valor normal hasta el doble de lo normal. Por otro lado, la pérdida de sangre desde la circulación sistémica por una hemorragia puede ser compensada parcialmente por el desplazamiento automático de sangre desde los pulmones hacia los vasos sistémicos.

La patología cardíaca puede desplazar sangre desde la circulación sistémica a la circulación pulmonar: La insuficiencia del lado izquierdo del corazón o el aumento de la resistencia al flujo sanguíneo a través de la válvula mitral como consecuencia de una estenosis mitral o una insuficiencia mitral hace que la sangre quede estancada en la circulación pulmonar, aumentando a veces el volumen de sangre pulmonar hasta un 100% y produciendo grandes aumentos de las presiones vasculares pulmonares.

Flujo sanguíneo a través de los pulmones y su distribución: El flujo sanguíneo a través de los pulmones es esencialmente igual al gasto cardíaco. Por tanto, los factores que controlan el gasto cardíaco, principalmente factores periféricos. Para que se produzca una aireación adecuada de la sangre, esta debe distribuirse a los segmentos de los pulmones en los que los alvéolos estén mejor oxigenados.

La disminución del oxígeno alveolar reduce el flujo sanguíneo alveolar local y regula la distribución del flujo sanguíneo pulmonar: Cuando la concentración de O₂ en el aire de los alvéolos disminuye por debajo de lo normal especialmente cuando disminuye por debajo del 70% de lo normal los vasos sanguíneos adyacentes se constriñen, con un aumento de la resistencia vascular de más de cinco veces a concentraciones de O₂ muy bajas. El incremento de la concentración de calcio provoca, así, una constricción de las pequeñas arterias y las arteriolas. El aumento en la resistencia vascular pulmonar como consecuencia de una baja concentración de O₂ tiene una función importante de distribución del flujo sanguíneo allí donde sea más eficaz.

Efecto de los gradientes de presión hidrostática de los pulmones sobre el flujo sanguíneo pulmonar regional: Las diferencias de presión tienen efectos profundos sobre el flujo sanguíneo que atraviesa las diferentes zonas de los pulmones.

Zonas 1, 2 y 3 del flujo sanguíneo pulmonar: En diferentes situaciones normales y patológicas se puede encontrar una cualquiera de tres posibles zonas (patrones) del flujo sanguíneo pulmonar, como se señala a continuación: Zona 1: ausencia de flujo durante todas las porciones del ciclo cardíaco porque la presión capilar alveolar local en esa zona del pulmón nunca aumenta por encima de la presión del aire alveolar en ninguna fase del ciclo cardíaco. Zona 2: flujo sanguíneo intermitente, solo durante los picos de presión arterial pulmonar, porque la presión sistólica en ese momento es mayor que la presión del aire alveolar, pero la presión diastólica es menor que la presión del aire alveolar. Zona 3: flujo de sangre continuo, porque la presión capilar alveolar es mayor que la presión del aire alveolar durante todo el ciclo cardíaco. Normalmente los pulmones solo tienen flujo sanguíneo en las zonas 2 y 3, la zona 2 (flujo intermitente) en los vértices y la zona 3 (flujo continuo) en todas las zonas inferiores.

El flujo sanguíneo de zona 1 solo se produce en situaciones anormales: El flujo sanguíneo de zona 1, que indica la ausencia de flujo durante todo el ciclo cardíaco, se produce cuando la presión arterial sistólica pulmonar es demasiado baja o cuando la presión alveolar es demasiado elevada para permitir que haya flujo.

El aumento del gasto cardíaco durante el ejercicio intenso es asumido normalmente por la circulación pulmonar sin grandes aumentos en la presión arterial pulmonar: Durante el ejercicio intenso el flujo sanguíneo a través de los pulmones puede aumentar entre cuatro y siete veces. Este flujo adicional se acomoda en los pulmones de tres formas: 1) aumentando el número de capilares abiertos, a veces hasta tres veces; 2) distendiendo todos los capilares y aumentando la velocidad del flujo a través de cada capilar a más del doble, y 3) aumentando la presión arterial pulmonar.

Función de la circulación pulmonar cuando la presión auricular izquierda se eleva como consecuencia de una insuficiencia cardíaca izquierda: La presión auricular izquierda de una persona sana casi nunca se eleva por encima de +6 mmHg, incluso durante el ejercicio más intenso. Sin embargo, cuando se produce insuficiencia del lado izquierdo del corazón la sangre comienza a acumularse en la aurícula izquierda. Como consecuencia, la presión auricular izquierda puede aumentar de manera ocasional desde su valor normal de 1 a 5 mmHg hasta 40 a 50 mmHg.

Dinámica capilar pulmonar: Se dice que la sangre capilar fluye en las paredes alveolares como una «lámina de flujo», y no como capilares individuales.

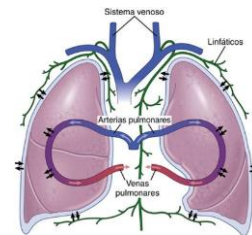
Presión capilar pulmonar: Es probable que esta medida sea casi correcta, porque la presión auricular izquierda media es de aproximadamente 2 mmHg y la presión arterial pulmonar media es de solo 15 mmHg, de modo que la presión capilar pulmonar media debe estar en algún punto entre estos dos valores.

Duración del tiempo que la sangre permanece en los capilares pulmonares: A partir del estudio histológico del área transversal total de todos los capilares pulmonares se puede calcular que cuando el gasto cardíaco es normal la sangre pasa a través de los capilares pulmonares en aproximadamente 0,8 s. Cuando aumenta el gasto cardíaco este tiempo puede acortarse hasta 0,3 s.

Intercambio capilar de líquido en los pulmones y dinámica del líquido intersticial pulmonar: La dinámica del intercambio de líquido a través de las membranas capilares pulmonares es cualitativamente la misma que en los tejidos periféricos. Sin embargo hay algunas diferencias como: 1. La presión capilar pulmonar es baja, de aproximadamente 7 mmHg, en comparación con una presión capilar funcional mucho mayor en los tejidos periféricos, de aproximadamente 17 mmHg. 2. La presión del líquido intersticial del pulmón es ligeramente más negativa que en el tejido subcutáneo periférico. 3. La presión coloidosmótica del líquido intersticial pulmonar es de aproximadamente 14 mmHg. 4. Las paredes alveolares son muy delgadas, y el epitelio alveolar que recubre las superficies alveolares es tan débil que se puede romper si la presión positiva en los espacios intersticiales es mayor que la presión del aire alveolar (>0 mmHg), lo que permite el paso de líquido desde los espacios intersticiales hacia los alvéolos.

Presión intersticial pulmonar negativa y mecanismo para mantener «secos» los alvéolos: Después este exceso de líquido es transportado por los linfáticos pulmonares. Así, en condiciones normales los alvéolos se mantienen «secos», excepto una pequeña cantidad de líquido que se filtra desde el epitelio hacia las superficies de revestimiento de los alvéolos para mantenerlos húmedos.

Líquido en la cavidad pleural: Cuando los pulmones se expanden y se contraen durante la respiración normal se deslizan en el interior de la cavidad pleural. Para facilitar este movimiento hay una delgada capa de líquido mucoide entre las pleuras parietal y visceral. Por tanto, el espacio pleural (el espacio que hay entre las pleuras parietal y visceral) se denomina espacio virtual porque normalmente es tan estrecho que no es un espacio físico evidente.



«Presión negativa» en el líquido pleural: Siempre es necesaria una fuerza negativa en el exterior de los pulmones para mantener expandidos los pulmones. Esta fuerza es proporcionada por la presión negativa del espacio pleural normal. La causa básica de esta presión negativa es el bombeo de líquidos desde el espacio pleural por los linfáticos (que también es la base de la presión negativa que se encuentra en la mayor parte de los espacios tisulares del cuerpo).

Derrame pleural: acumulación de grandes cantidades de líquido libre en el espacio pleural: Las causas del derrame son las mismas que las causas del edema en otros tejidos, entre ellas: 1) bloqueo del drenaje linfático desde la cavidad pleural; 2) insuficiencia cardíaca, que da lugar a unas presiones capilares periférica y pulmonar excesivamente altas, que dan lugar a una trasudación excesiva de líquido hacia la cavidad pleural; 3) marcada reducción de la presión osmótica coloidal del plasma, que permite una trasudación excesiva de líquidos, y 4) infección o cualquier otra causa de inflamación de las superficies de la cavidad pleural, que aumenta la permeabilidad de las membranas capilares y permite la salida rápida tanto de proteínas plasmáticas como de líquido hacia la cavidad.

CAPÍTULO 40. "PRINCIPIOS FÍSICOS DEL INTERCAMBIO GASEOSO; DIFUSIÓN DE OXÍGENO Y DIÓXIDO DE CARBONO A TRAVÉS DE LA MEMBRANA RESPIRATORIA"

Las composiciones del aire alveolar y el aire atmosférico son diferentes: Primero, el aire alveolar es sustituido solo de manera parcial por aire atmosférico en cada respiración. Segundo, el O₂ se absorbe constantemente hacia la sangre pulmonar desde el aire pulmonar. Tercero, el CO₂ está difundiendo constantemente desde la sangre pulmonar hacia los alvéolos. Y cuarto, el aire atmosférico seco que entra en las vías aéreas es humidificado incluso antes de que llegue a los alvéolos.

Humidificación del aire en las vías aéreas: El aire atmosférico está compuesto casi totalmente por nitrógeno y oxígeno; normalmente apenas contiene CO₂ y poco vapor de agua.

El aire alveolar se renueva lentamente por el aire atmosférico: Solo 350 ml de aire nuevo entran en los alvéolos en cada inspiración normal y se espira esta misma cantidad de aire alveolar. Por tanto, el volumen de aire alveolar que es sustituido por aire atmosférico nuevo en cada respiración es de solo 1/7 del total, de modo que son necesarias múltiples inspiraciones para intercambiar la mayor parte del aire alveolar.

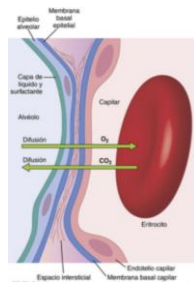
Importancia de la sustitución lenta del aire alveolar: La sustitución lenta del aire alveolar tiene una importancia particular en la prevención de cambios súbitos de las concentraciones de gases en la sangre, ya que hace que el control respiratorio sea mucho más estable, y ayuda a prevenir los aumentos y disminuciones excesivos de la oxigenación tisular, de la concentración tisular de CO₂ y del pH tisular cuando se produce una interrupción temporal de la respiración.

Concentración y presión parcial de oxígeno en los alvéolos: El oxígeno se absorbe continuamente desde los alvéolos hacia la sangre de los pulmones, y continuamente se respira O₂ nuevo hacia los alvéolos desde la atmósfera. Cuanto más rápidamente se absorba el O₂, menor será su concentración en los alvéolos. Por tanto, la concentración de O₂ en los alvéolos, y también su presión parcial, está controlada por: 1) la velocidad de absorción de O₂ hacia la sangre, y 2) la velocidad de entrada de O₂ nuevo a los pulmones por el proceso ventilatorio.

Concentración y presión parcial de CO₂ en los alvéolos: El dióxido de carbono se forma continuamente en el cuerpo y después se transporta por la sangre hacia los alvéolos; se elimina continuamente de los alvéolos por la ventilación.

El aire espirado es una combinación de aire del espacio muerto y aire alveolar: La composición global del aire espirado está determinada por: 1) la cantidad del aire espirado que es aire del espacio muerto, y 2) la cantidad que es aire alveolar. **Difusión de gases a través de la membrana respiratoria**

Unidad respiratoria: Hay aproximadamente 300 millones de alvéolos en los dos pulmones, y cada alvéolo tiene un diámetro medio de aproximadamente 0,2 mm. Las paredes alveolares son muy delgadas y entre los alvéolos hay una red casi sólida de capilares interconectados.



Membrana respiratoria: Se pueden observar las siguientes capas de la membrana respiratoria: 1. Una capa de líquido que contiene surfactante y que tapiza el alvéolo, lo que reduce la tensión superficial del líquido alveolar. 2. El epitelio alveolar, que está formado por células epiteliales delgadas. 3. Una membrana basal epitelial. 4. Un espacio intersticial delgado entre el epitelio alveolar y la membrana capilar. 5. Una membrana basal capilar que en muchos casos se fusiona con la membrana basal del epitelio alveolar. 6. La membrana del endotelio capilar.

Factores que influyen en la velocidad de difusión gaseosa a través de la membrana respiratoria: Así, los factores que determinan la rapidez con la que un gas atraviesa la membrana son: 1) el grosor de la membrana; 2) el área superficial de la membrana; 3) el coeficiente de difusión del gas en la sustancia de la membrana, y 4) la diferencia de presión parcial del gas entre los dos lados de la membrana. Además, algunas enfermedades pulmonares producen fibrosis de los pulmones, que puede aumentar el grosor de algunas partes de la membrana respiratoria.

Capacidad de difusión de la membrana respiratoria: La capacidad de la membrana respiratoria de intercambiar un gas entre los alvéolos y la sangre pulmonar se expresa en términos cuantitativos por la capacidad de difusión de la membrana respiratoria.

Aumento de la capacidad de difusión del oxígeno durante el ejercicio: Este aumento está producido por varios factores, entre los que se encuentran: 1) la apertura de muchos capilares pulmonares previamente cerrados o la dilatación adicional de capilares ya abiertos, aumentando de esta manera el área superficial de la sangre hacia la que puede difundir el O₂, y 2) un mejor equilibrio entre la ventilación de los alvéolos y la perfusión de los capilares alveolares con sangre, denominado cociente de ventilación-perfusión, que se analiza más adelante en este mismo capítulo. Por tanto, durante el ejercicio la oxigenación de la sangre aumenta no solo por el aumento de la ventilación alveolar, sino también por una mayor capacidad de difusión de la membrana respiratoria para transportar el O₂ hacia la sangre.

Capacidad de difusión del dióxido de carbono: 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 aproximadamente 1.200 a 1.300 ml/min/mmHg.