

SISTEMA RESPIRATORIO

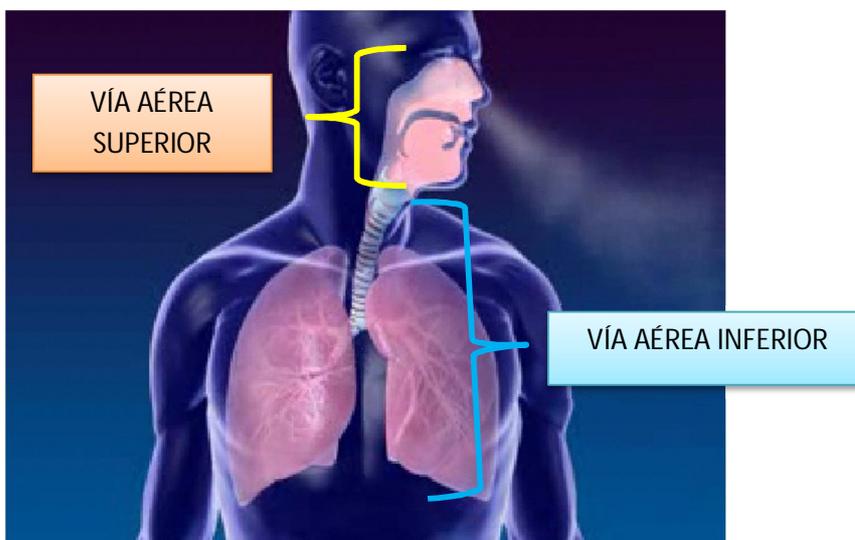
Material preliminar

Autor: Tulio Peralta

Docente de bases anatómo-fisiológicas del Guardavidas, ISEF Montevideo

La vía aérea está formada por una serie de cavidades. Comienza por las cavidades nasales y la cavidad oral y termina en unas pequeñas cavidades intratorácicas denominadas alvéolos pulmonares, encargados de participar en el intercambio gaseoso entre el aire respirado y la sangre.

LA VÍA AÉREA INFERIOR SE INICIA EN LA LARINGE, TIENE SOPORTE CARTILAGINOSO Y ESTÁ LIBRE DE MICROORGANISMOS



LA VÍA AÉREA SE DIVIDE EN SECTOR DE CONDUCCIÓN Y SECTOR DE INTERCAMBIO GASEOSO

EL SECTOR DE CONDUCCIÓN SE ENCARGA DE CONDUCIR EL AIRE HACIA Y DESDE LOS ALVÉOLOS...

¿Cuáles son los componentes del sector de conducción de la vía aérea?
Podemos resumir la respuesta diciendo que toda la vía aérea, salvo los

alvéolos, forman parte del sector de conducción:

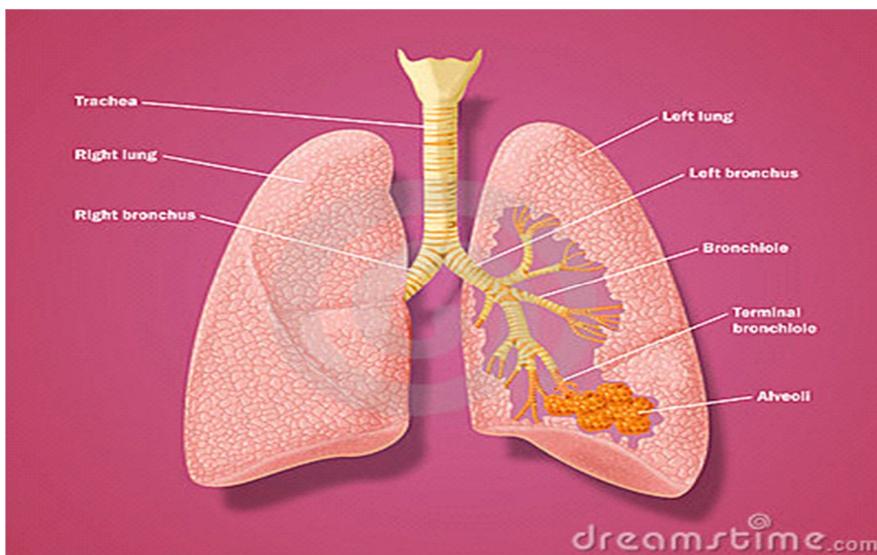
-nariz, boca, fosas (etimología: hoyo) nasales, faringe (etimología: garganta)

-laringe

-tráquea

-bronquios

-bronquiolos



¿El sector de conducción solamente conduce el aire? Lo conduce y lo acondiciona y es importante para prevenir infecciones y la obstrucción de la vía aérea, pero no permite el intercambio gaseoso entre el aire y la sangre. Además es importante en los mecanismos de defensa como la tos y el estornudo, y en la emisión de la voz.

El **sector de conducción** tiene una capacidad de unos 150 mL en adultos.

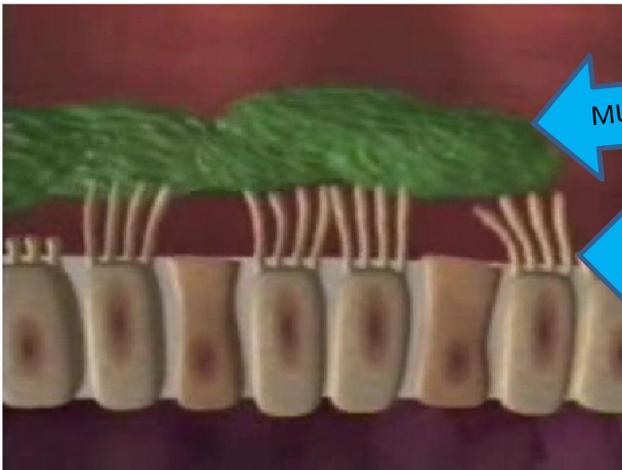
El **sector de intercambio gaseoso** tiene una capacidad mayor a 5.000 mL en adultos. Está integrado por los alvéolos.

EL BARRIDO MUCOCILIAR ES UN MECANISMO DE DEFENSA...



¿Cómo afecta el tabaquismo al barrido mucociliar?

La mucosa respiratoria (membrana que tapiza la vía aérea) está formada por un epitelio (tejido compuesto por células muy próximas entre sí), cuyas células tienen unas prolongaciones (denominadas cilias) que ejecutan un movimiento de barrido del mucus. ¿Para qué sirve? Para despejar de la vía aérea el mucus conteniendo cuerpos extraños y microorganismos; por lo tanto se trata de un mecanismo de defensa.



MUCUS SECRETADO POR LA MUCOSA

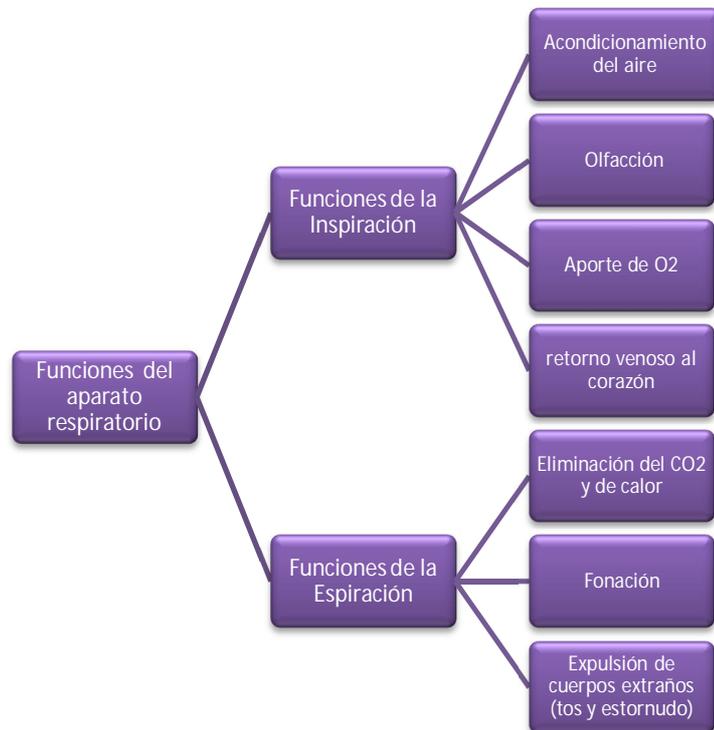
CILIAS DE LAS CÉLULAS EPITELIALES

El tabaquismo inhibe el barrido mucociliar y el riesgo de infecciones aumenta.



El barrido o depuración mucociliar pertenece a la vía aérea de conducción, el sector de intercambio carece de cilias pero posee macrófagos alveolares que son células especializadas en eliminar partículas y microorganismos.

Funciones relacionadas a las fases de la respiración



LA VÍA AÉREA SE INICIA EN LA CARA...

El inicio de la vía aérea se ubica en la cara, desde la nariz y desde la boca.

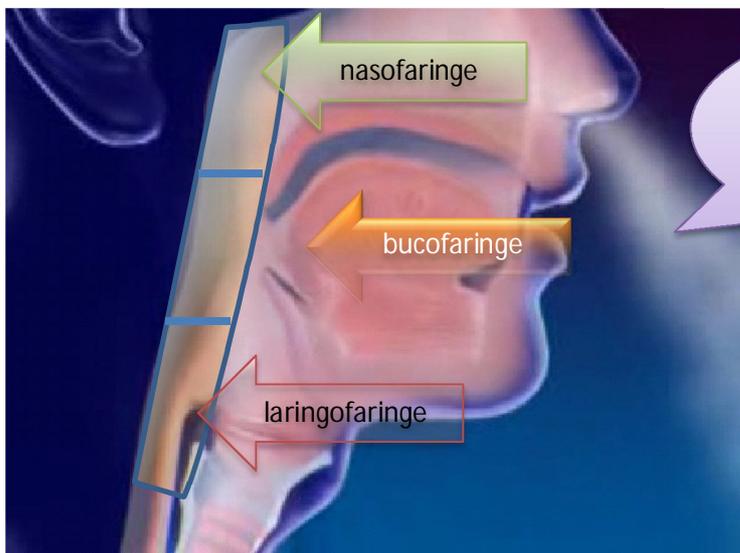
¡Un traumatismo de la cara puede obstruir la vía aérea!

EL AIRE INSPIRADO SE ACONDICIONA EN LAS FOSAS NASALES...

En su pasaje por las fosas nasales, el aire es acondicionado:

- 1) Filtración de partículas
- 2) Calentamiento por la alta densidad de capilares sanguíneos en la pared de las fosas nasales (la sangre porta calor)
- 3) Humidificación

LA FARINGE ES UN ÓRGANO RESPIRATORIO Y DIGESTIVO...



La faringe está detrás de las fosas nasales, de la cavidad bucal, y de la laringe

La faringe es órgano en forma de canal vertical, abierto hacia adelante. Tiene 3 sectores:

- **Nasofaringe**, es el sector más alto, se extiende desde la base del cráneo hasta el paladar blando y se comunica hacia adelante con las fosas nasales. Permite el pasaje del aire exclusivamente. Unos conductos, llamados trompas de Eustaquio, comunica los oídos con la nasofaringe, permitiendo graduar las presiones que actúan sobre el tímpano.
- **Bucofaringe**, es el sector intermedio, se extiende desde el paladar blando hasta el hioides y se comunica hacia adelante con la cavidad oral. Permite el pasaje del aire y de elementos deglutidos.
- **Laringofaringe**, es el sector más inferior, se extiende desde el hioides

hasta el cartílago cricoides (perteneciente a la laringe) y se comunica hacia adelante con la laringe. Permite el pasaje de los materiales deglutidos. Por debajo, la laringofaringe se continúa con el esófago (parte del tubo digestivo).

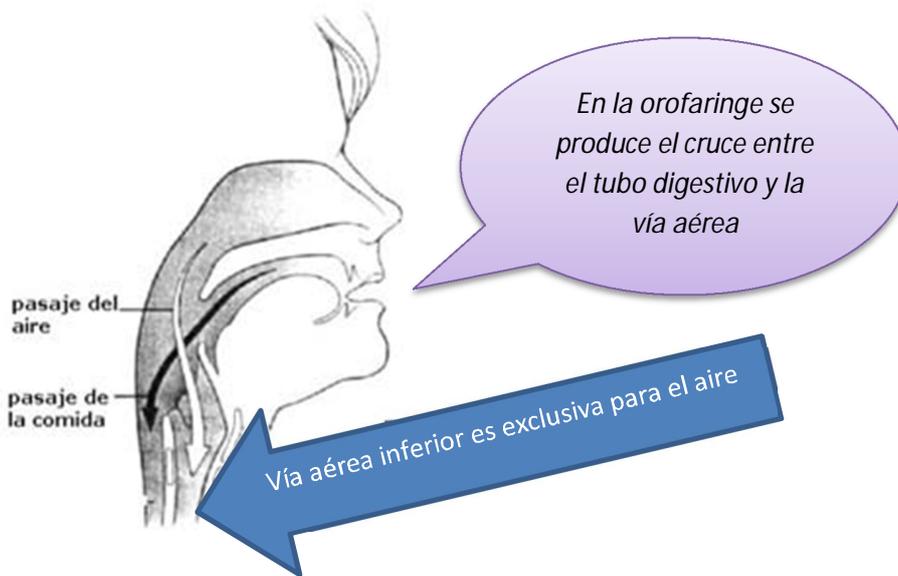
Existen dos válvulas muy importantes relacionadas a la faringe:

- **Paladar blando** (por detrás del paladar óseo, es un órgano muscular), situado entre la nasofaringe y la orofaringe. Durante la deglución, se eleva y bloquea la comunicación entre la nasofaringe y la orofaringe, evitando el pasaje del contenido digestivo hacia las fosas nasales.
- **Epiglotis** (cartílago de la laringe) entre el orificio superior de la laringe y la orofaringe. Durante la deglución, la epiglotis desciende y cierra el orificio superior de la laringe, impidiendo el ingreso del contenido digestivo en la vía aérea inferior.

LA DEGLUCIÓN ES UN PROCESO QUE SE DESARROLLA EN TRES TIEMPOS...

Cuando el bolo alimenticio ingresa en la orofaringe, actúan dos válvulas, el paladar blando y la epiglotis, para asegurar que el alimento se dirija hacia el tubo digestivo e impedir su ingreso en la vía aérea. ¿Cuáles son en la figura el paladar blando y la epiglotis? Pista: el paladar blando está por encima de la lengua y la epiglotis por debajo. ¿Otra pista? Son las estructuras que se movilizan como válvulas durante la deglución y obstruyen las comunicaciones entre distintos órganos huecos.

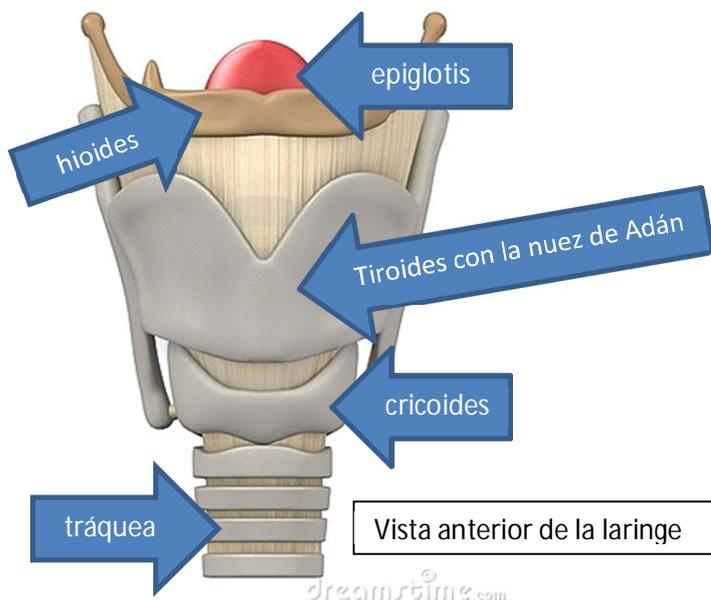
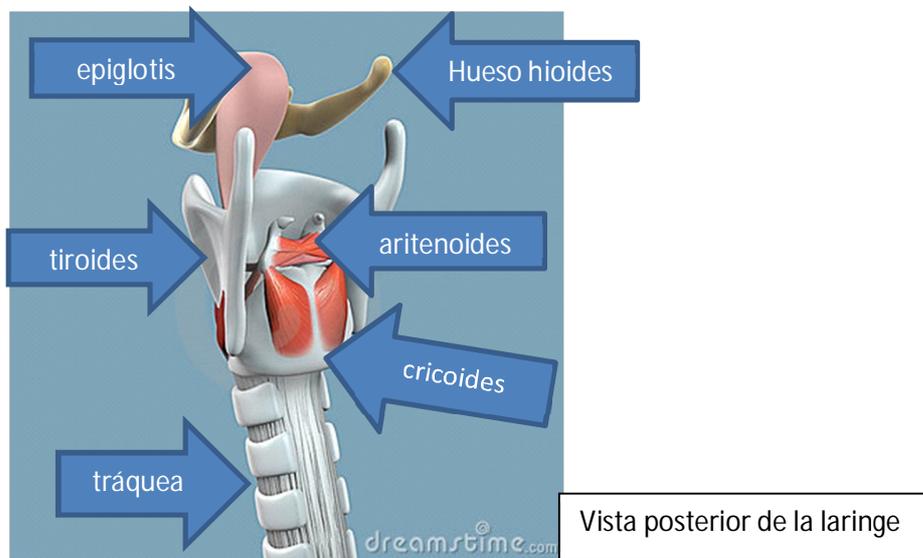




Importancia de obstruir las narinas durante la respiración boca a boca: si no lo hacemos, el aire que pasa desde la cavidad bucal a la orofaringe, asciende a la nasofaringe y sale por la nariz. ¡No llega a los pulmones!

LA LARINGE ES UN ÓRGANO CARTILAGINOSO CON DOS VÁLVULAS DE IMPORTANCIA VITAL...

La laringe se sitúa en el sector anterior del cuello, en la línea media. Se compone de varios cartílagos que en conjunto configuran un cilindro. ¿Cuáles con sus cartílagos principales? 1 Epiglotis, 1 tiroides (forma la prominencia laríngea o nuez de Adán), 1 cricoides, y 2 aritenoides. Hacia arriba se comunica con la faringe y hacia abajo con la tráquea.



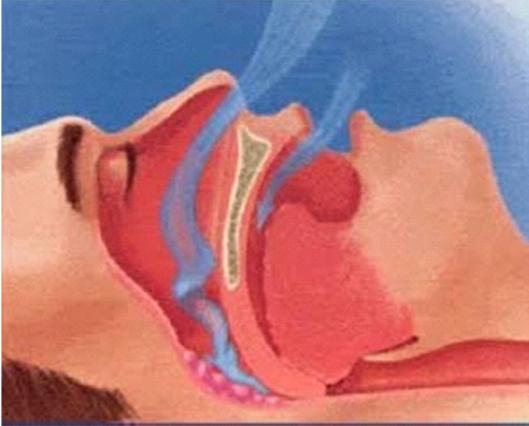
¿Qué son las cuerdas vocales? Son 2 pliegues musculares que sobresalen en el interior de la laringe, tendidos entre los aritenoides y el tiroides.

¿Cuál espacio existe entre las cuerdas vocales? La glotis. A medida que el aire espirado fluye por la glotis, las cuerdas vocales vibran y generan el sonido inicial de la voz; proceso conocido como fonación.

¿Qué sucede si algún cuerpo extraño toma contacto con la laringe (todo aquello que no sea aire)? Las cuerdas vocales se aproximan entre sí, cierran la glotis y no permiten que los cuerpos extraños desciendan en la vía aérea.

Además, se desencadena el reflejo de la tos. Cuando una víctima de ahogamiento o semiahogamiento aspira agua, ésta toma contacto con la laringe, se cierra la glotis por la contracción de las cuerdas vocales (laringoespasma) y si bien es un mecanismo de defensa para impedir la inundación de la vía aérea, no permite la ventilación pulmonar (APHA).

LA CAÍDA DE LA LENGUA PUEDE PROVOCAR LA MUERTE EN ALGUIEN INCONSCIENTE...



La lengua es un órgano muscular que se inserta en la mandíbula y en el hioides. La pérdida de conocimiento lleva a disminución del tono muscular de la lengua, y la consiguiente caída de la lengua produciendo una obstrucción de la vía aérea.

Persona inconsciente = obstrucción de la vía aérea hasta demostración de lo contrario

Si estamos atendiendo a alguien con alteraciones de consciencia, ¿cómo se contrarresta la tendencia de la lengua a caer y obstruir la vía aérea?

Dado que la lengua se inserta en la mandíbula, si desplazamos la mandíbula, lograremos movilizar junto a ella a la lengua puesto que forman como una unidad. La lengua acompaña el desplazamiento de la mandíbula.

¿Si una persona está inconsciente, y respira y tiene pulso qué es lo primero que debemos hacer (además de llamar a emergencias)? Ocuparnos en mantener la vía aérea abierta.

En traumatizados: existe riesgo de Traumatismo RaquiMedular cervical, entonces NO podemos realizar maniobras que implican la movilización del cuello, NO hiperextender el cuello y NO colocar en posición lateral de seguridad.

Realizar tracción mandibular.

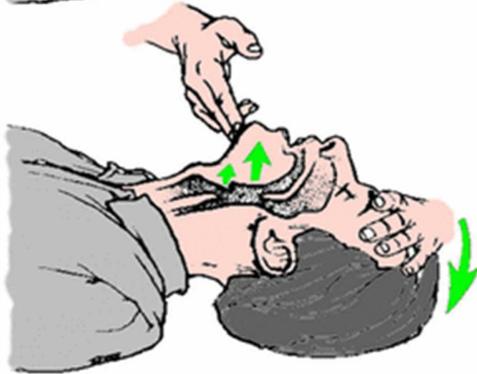


Con los pulgares se presionan los pómulos hacia abajo y con los otros dedos se tira de la mandíbula hacia arriba, SIN hiperextensión del cuello

En NO traumatizados: podemos realizar maniobras que implican movilizar el cuello (maniobra frente-mentón, o posición lateral de seguridad).



Obstrucción de la vía aérea por caída de la lengua



Maniobra frente-mentón: con una mano se levanta el mentón y con la otra se presiona la frente hacia abajo CON hiperextensión del cuello

Posición lateral de seguridad, ante riesgo de caída de la lengua



Para colocar a una persona en la posición lateral de seguridad se deben cumplir dos requisitos:

- 1) no estar en Paro Cardíaco (el Masaje Cardíaco externo se realiza con la persona en decúbito dorsal)
- 2) no tener lesiones en la cabeza ni en la columna (podemos mover a la víctima)

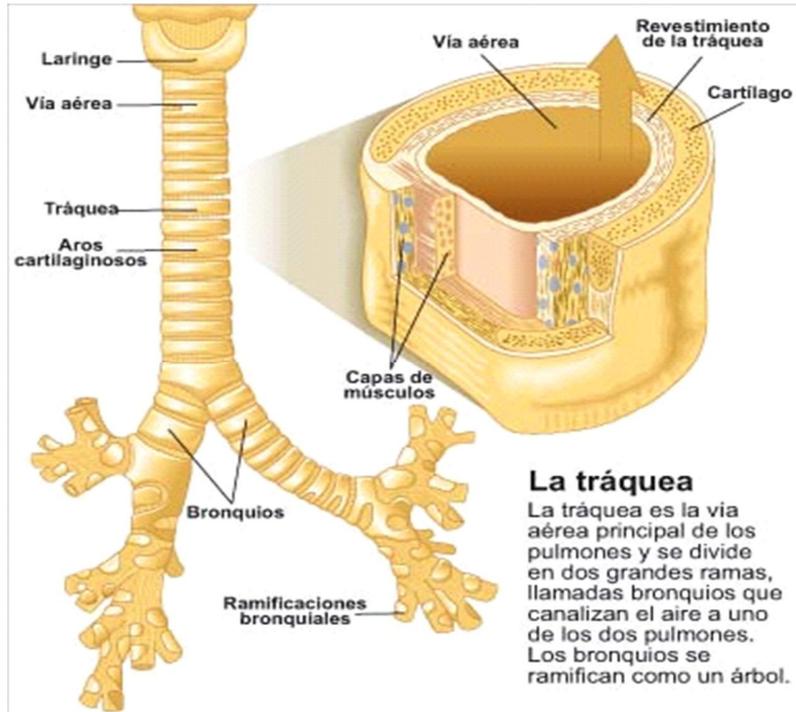
Toser y hablar son acciones que se desarrollan por el aire espirado. ¿Cómo sabemos si la obstrucción de la vía aérea por cuerpo extraño (OVACE) es total o parcial? Es total si el sujeto **NO** puede hablar ni toser. Es parcial **SI** puede hablar y toser. Si es parcial se debe pedir al individuo que tosa, pero no debemos efectuar maniobras de compresión como la maniobra de Heimlich.



Maniobra de Heimlich

Al comprimir el abdomen aumenta la presión intra-abdominal, empuja el diafragma hacia arriba y determina una espiración brusca para intentar la expulsión del cuerpo extraño

LA TRÁQUEA SE INICIA EN EL CUELLO Y TERMINA EN EL MEDIASTINO



¿Cuál órgano digestivo se halla por detrás de la tráquea?

La tráquea (etimología: áspero, por la irregularidad de la superficie correspondiente a los cartílagos), se inicia en el cuello a la altura de la sexta vértebra cervical. ¿Con cuál órgano (también cartilaginoso) se comunica hacia arriba?

Desciende verticalmente, ingresa en el mediastino y a la altura de la cuarta-quinta vértebra torácica se bifurca en dos bronquios primarios, derecho e izquierdo, cada uno destinado al pulmón respectivo.

La estructura de la pared traqueal incluye cartílagos en forma de letra C, abiertos hacia atrás, apilados entre sí.

Por detrás de la tráquea se encuentra el esófago, perteneciente al tubo digestivo; se inicia en el cuello, atraviesa el mediastino y en el abdomen se une al estómago.

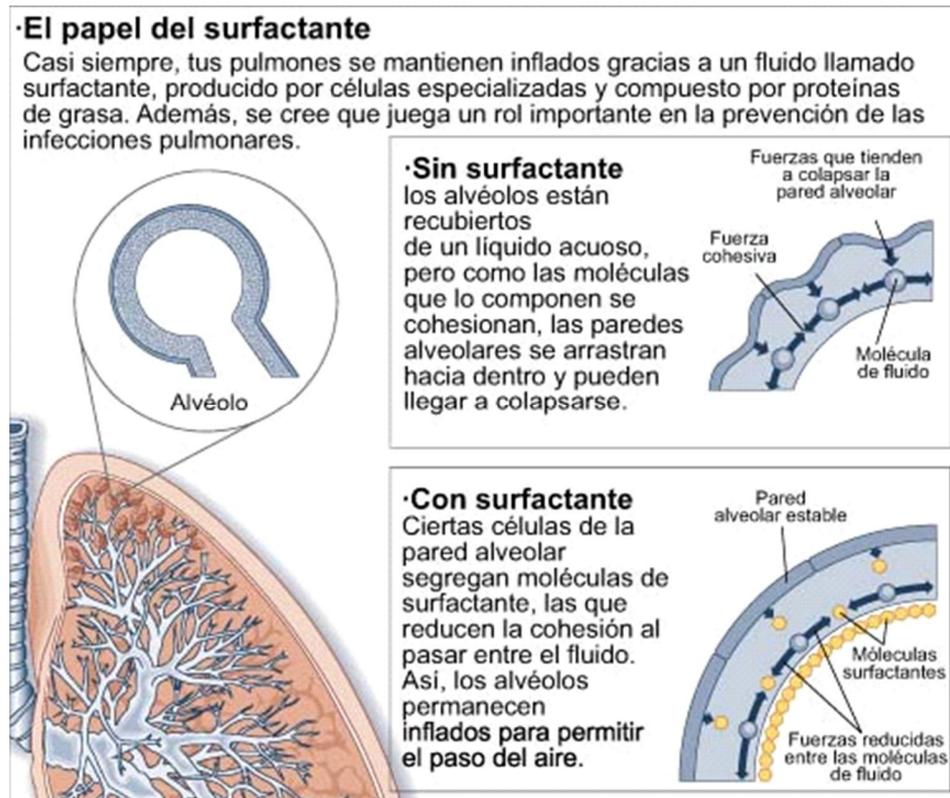
Desde la tráquea hasta los alvéolos, la vía aérea está sometida a los cambios de la presión intratorácica.

LOS ALVÉOLOS PULMONARES CONSTITUYEN EL SECTOR DE INTERCAMBIO GASEOSO DE LA VÍA AÉREA...

Los alvéolos son pequeños sacos, dentro de los pulmones, representan el final de la vía aérea y tienen una pared delgada formada por dos tipos celulares:

- 1) Los neumonocitos I son células aplanadas especializadas en el intercambio gaseoso.
- 2) Los neumonocitos tipo II son células altas especializadas en la producción de surfactante.

Además, en el espacio interior del alvéolo, se ven los macrófagos, con la función de fagocitar ("comer") microorganismos y partículas.



El surfactante es importante para evitar el colapso (cierre) de los alvéolos por la tensión superficial del líquido alveolar. Veamos un ejemplo: si colocas agua dentro de un globo de cumpleaños, las paredes del globo tenderán a adherirse entre sí por la tensión superficial del líquido. El surfactante reduce la tensión superficial y el alvéolo se mantiene desplegado.

MÁS DEL 90 % DE LOS PULMONES ES AIRE...

Los pulmones, derecho e izquierdo, se localizan dentro de la cavidad torácica, a cada lado del mediastino.

Presentan forma de cono, de base inferior y vértice superior. A grosso modo entonces: los grandes órganos intratorácicos (corazón y pulmones) tienen forma de cono.

Tienen 3 caras:

- Cara inferior (correspondiente a la base), se apoya sobre el diafragma y se llama cara diafragmática

- Cara externa, contacta con las costillas y se llama cara costal
- Cara interna, contacta con el mediastino y se llama cara mediastínica; allí se encuentra el hilio pulmonar. ¿Y qué es el hilio? Es el sitio de la superficie del pulmón por donde pasan el bronquio primario, vasos, y nervios, los cuales llegan al pulmón desde el mediastino (no es casual entonces que el hilio se halle en la cara mediastínica del pulmón).

LOS PULMONES SE DIVIDEN POR LAS CISURAS EN LÓBULOS...

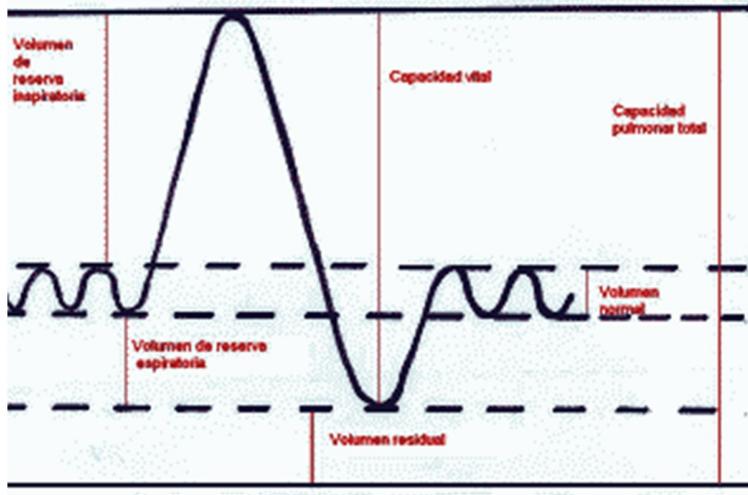
Los lóbulos son porciones del pulmón y las cisuras son las zanjas que separan a los lóbulos entre sí. Pensemos en una torta y cortémosla en porciones. Las porciones representan a los lóbulos pulmonares y los cortes entre las porciones representan a las cisuras.

El pulmón derecho posee 3 lóbulos (superior, medio, e inferior), separados por 2 cisuras (oblicua y transversal).

El pulmón izquierdo posee 2 lóbulos separados por una cisura oblicua.

Los bronquios se dividen dentro de los pulmones como las ramas de un árbol. Cuentan en su pared con cartílago y músculo liso. Finalmente, los bronquios se continúan con los bronquíolos, los cuales pierden el cartílago pero tienen músculo liso. ¿Los bronquios y bronquíolos pueden modificar su diámetro? Sí, por los cambios de presiones intratorácicas (de dilatan a menor presión y se retraen a mayor presión), y por la actividad del músculo liso de sus paredes.

LOS VOLÚMENES Y CAPACIDADES PULMONARES SE COMPRENDEN CON UN PAR DE RESORTES... (fisiología de CTO)



La pared torácica y los pulmones son estructuras elásticas y esa elasticidad explica los volúmenes y capacidades pulmonares (suma de volúmenes).

Entonces, podemos representar a la pared torácica con un resorte y a los pulmones con otro resorte.

La expansión de la pared torácica, estira los pulmones (el estiramiento de un resorte estira al otro) hasta que los pulmones no pueden estirarse más porque la fuerza de retroceso elástico supera a la fuerza de la contracción muscular. En ese momento los pulmones alcanzan el volumen máximo que pueden contener: Capacidad Pulmonar Total (CPT).

A partir de allí, la pared torácica y los pulmones se retraen en forma pasiva (ambos resortes se retraen) hasta que se iguala la tendencia de la pared torácica a reexpandirse con la tendencia de los pulmones a continuar su retracción (un resorte tiene tendencia a estirarse si se comprime y el otro resorte tiene tendencia a retraerse si aún está estirado). En ese momento se llega a la Capacidad Funcional Residual (CRF): suma del Volumen Residual (VR) con el Volumen de Reserva Espiratorio (VRE).

Para seguir la espiración se necesita comprimir más el resorte pulmonar y estirar más el resorte de la pared torácica. A medida que se comprime el resorte pulmonar, aparece mayor resistencia por la tendencia del resorte pulmonar a re-estirarse (es como comprimir un resorte y cada vez es más difícil mantenerlo comprimido) y por el estiramiento progresivo del resorte de la pared torácica. Cuando la fuerza muscular y la tensión superficial de los alvéolos no pueden vencer más esa resistencia se termina la espiración y

corresponde al VR.

El volumen que inhalamos y exhalamos en cada ventilación es el volumen corriente (VC) = 500 mL.

Cuando exhalamos el VC, nos quedamos con la CRF, si continuamos la espiración en forma forzada (con contracción muscular), expulsamos aire hasta quedarnos solamente con el VR. El aire expulsado desde la CRF hasta el VR es el Volumen de Reserva Espiratorio (VRE).

Si inhalamos el VC y desde allí comenzamos a inhalar más aire mediante una inhalación forzada (con contracción de los músculos respiratorios accesorios), llegamos a llenar nuestros pulmones hasta la CPT. Ese volumen de aire inhalado en forma forzada es el Volumen de Reserva Inspiratorio (VRI).

Si desde la CPT, exhalamos hasta que en los pulmones solamente quede el VR, hemos expulsado la denominada Capacidad Vital (CV).

$$CPT = VR + VRE + VC + VRI$$

$$VR = CPT - CV$$

$$CRF = VR + VRE$$

$$CV = VRE + VC + VRI$$

$$CV = CPT - VR$$

$$\text{Capacidad Inspiratoria (CI)} = VC + VRI$$

Existen 4 volúmenes y 4 capacidades.

Volúmenes: VR (1.200 mL), VRE (1.100 mL), VC (500 mL), VRI (3.000 mL)

Capacidades: CPT (5.800 mL), CV (4.600 mL), CRF (2.300 mL), CI (VC + VRI)

El tabaquismo lleva a la destrucción de fibras elásticas del tejido pulmonar, reduciendo la retracción elástica necesaria para la exhalación y eso tiende a retener aire en los pulmones.

LOS ESPACIOS MUERTOS CORRESPONDEN A VOLÚMENES DE AIRE QUE NO PARTICIPAN EN EL INTERCAMBIO GASEOSO...

Espacio Muerto Anatómico: es el volumen de aire contenido en el sector de conducción de la vía aérea (150 mL).

Espacio Muerto Alveolar: es el volumen de aire contenido en los alvéolos no perfundidos (sin irrigación sanguínea) y que por lo tanto no participa del intercambio gaseoso. En condiciones normales tiene un valor despreciable.

Espacio Muerto Fisiológico = Espacio Muerto Anatómico + Espacio Muerto Alveolar

LAS PLEURAS JUEGAN UN ROL CLAVE EN LA MECÁNICA VENTILATORIA MEDIANTE LOS CAMBIOS EN LA PRESIÓN INTRAPLEURAL...

¿Qué es la pleura? La pleura (etimología: costado) es una membrana que rodea casi completamente al pulmón (existe una pleura para el pulmón derecho y otra pleura para el pulmón izquierdo), ¿cuál sector del pulmón queda sin cubrir por la pleura? En la cara interna del pulmón existe un sector denominado hilio pulmonar por donde pasa el bronquio primario, los vasos y nervios del pulmón. Para comprender mejor la pleura, vamos a tomar una bolsa de supermercado, un vaso con agua, y una esponja de cocina. La bolsa representa la pleura, el agua será el líquido pleural y la esponja será un pulmón puesto que el tejido pulmonar está formado principalmente por espacios huecos.

Agreguemos unos pocos mL de agua en la bolsa, y a continuación cerrémosla herméticamente. La pleura es como una bolsa cerrada que contiene en su interior unos pocos mL de líquido denominado líquido pleural. El espacio interior de la bolsa, que contiene el líquido pleural se denomina espacio o cavidad pleural.

Ahora, vamos a adherir una superficie de la bolsa, por ejemplo la que tiene el logotipo del supermercado, alrededor de la esponja (el pulmón). La superficie de la bolsa que contacta con la esponja representa a un sector de la pleura, denominado pleura visceral (porque contacta con la víscera). El resto de la superficie de la bolsa que no contacta con la esponja, representa el sector de la pleura denominado pleura parietal (parietal proviene de pared y se refiere al contacto con la pared del tórax). La parte de la esponja que tomamos con nuestros dedos no queda cubierta por la bolsa, ese es el hilio pulmonar y nuestros dedos representan al bronquio primario, a los vasos y los nervios del pulmón.

¿Cuál es la importancia del líquido pleural?

- 1) disminuye la fricción entre el pulmón y los órganos vecinos
- 2) constituye una película de líquido que mantiene adheridas a las pleuras

visceral y parietal entre sí, de modo que cuando el tórax se expande, tira de la pleura parietal, y ésta tira de la pleura visceral, jalándose finalmente de la superficie pulmonar

¿Ingresa aire en el espacio pleural? Normalmente NO. Pero, en fumadores puede suceder que la pleura visceral se rompa, y permita que pase aire desde los alvéolos al espacio pleural (neumotórax). Esto determina el llenado del espacio pleural con aire a alta presión que propiciará la compresión del pulmón.

¿En cuál otra situación puede ingresar aire al espacio pleural (neumotórax)? Traumatismo en el tórax con herida de la piel que permita el ingreso de aire desde la atmósfera a la cavidad pleural o por una fractura de costilla que daña la pleura visceral y permite la comunicación entre la cavidad pleural y la vía aérea.

LOS CONCEPTOS DE FRECUENCIA RESPIRATORIA Y VOLUMEN MINUTO SON ANÁLOGOS A LA FRECUENCIA RESPIRATORIA Y GASTO CARDÍACO

Frecuencia respiratoria (FR) = número de ciclos respiratorios / minuto

FR (en adultos en reposo) = 12-20 respiraciones / minuto

¿Cómo se mide la frecuencia respiratoria? Se contabilizan los movimientos respiratorios observando o palpando la pared torácica.

Volumen minuto (VM) = volumen de aire que ventiló a los pulmones durante un minuto

VM = volumen corriente (es el volumen inhalado o exhalado en cada respiración) x FR

Así como el GC es la cantidad de sangre bombeada por el corazón en un minuto, el VM es la cantidad de aire movilizada por el aparato respiratorio en un minuto.

¿En cuáles situaciones patológicas podemos encontrar una FR aumentada (taquipnea o polipnea)?

* hipoxemia

* hipovolemia

* pH bajo en sangre (al aumentar la FR, se elimina más CO₂ y esto lleva a eliminar H⁺ de la sangre)

- * fiebre (también aumenta la FC por la fiebre)
- * ansiedad psíquica (crisis de pánico)
- * dolor intenso

Mecánica ventilatoria:

SE PRODUCE UN FLUJO DE AIRE CUANDO EXISTEN DIFERENCIAS DE PRESIÓN ENTRE DOS LUGARES...

¿Cuál factor determina el flujo del aire entre la atmósfera y los pulmones?

Lo primero a tener en cuenta para comprender la mecánica ventilatoria es que el aire fluye desde el sitio de mayor presión al sitio de menor presión; es decir, se trata de seguir el gradiente o diferencia de presión entre dos sitios.

Si la presión atmosférica es mayor a la presión alveolar: ¿hacia dónde fluirá el aire? Hacia los alvéolos.

Si la presión atmosférica es menor a la presión alveolar: ¿hacia dónde fluirá el aire? Hacia la atmósfera.

¿Cuál es el gradiente de presión entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares en la inspiración? Como la inspiración implica la entrada de aire a los alvéolos, la presión atmosférica debe ser MAYOR a la presión intraalveolar.

¿Cuál es el gradiente de presión entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares durante la espiración? Como la espiración implica la salida de aire de los alvéolos, la presión atmosférica debe ser MENOR a la presión intraalveolar.

¿Qué sucede en la apnea (ausencia de flujo de aire) con el gradiente de presiones entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares? Como no hay flujo de aire, el gradiente de presiones es igual a CERO. El aire fluye de un sector a

otro solamente si existe una diferencia de presiones entre dichos sectores que lo empuje. Si no existe tal gradiente de presiones el aire no fluye.

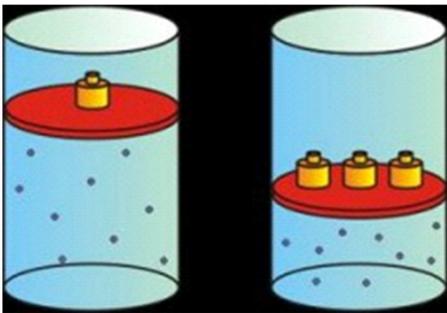
La presión atmosférica podemos asumir que se mantiene sin grandes cambios. Entonces el flujo de aire se produce por variaciones en la presión intraalveolar que lleva a establecer los gradientes de presiones. La pregunta es: ¿cómo hacen los pulmones para variar la presión intraalveolar y así determinar:

1) la espiración si aumenta la presión intraalveolar por encima de la presión atmosférica

2) la inspiración si disminuye la presión intraalveolar por debajo de la presión atmosférica

Ahora es tiempo de aplicar la LEY de BOYLE.

LEY DE BOYLE: SI AUMENTAMOS EL VOLUMEN DE UN RECIPIENTE QUE CONTIENE UN GAS, LA PRESIÓN QUE EJERCE EL GAS DISMINUYE; Y SI REDUCIMOS EL VOLUMEN DEL RECIPIENTE, LA PRESIÓN EJERCIDA POR EL GAS AUMENTA.



Ley de Boyle: Presión = 1/Volumen (P y V son inversamente proporcionales)

Por ejemplo, si tengo 10 moléculas de un gas en un recipiente de 1L de volumen, al comprimir el recipiente a la mitad, aumentará la presión ejercida por el gas. Si la misma cantidad de moléculas de un gas están moviéndose en un espacio más reducido, es más probable que colisionen o choquen entre sí y con las paredes del recipiente, produciendo una mayor presión que si estuviesen en un recipiente de mayor volumen.

Veamos, si durante la inspiración la presión intraalveolar debe disminuir por debajo de la presión atmosférica: ¿cuál es la forma de reducir la presión intraalveolar siguiendo la ley de Boyle?

Sí, exacto, la forma de disminuir la presión es aumentando el volumen del recipiente. En el caso de los pulmones el recipiente está formado por los alvéolos pulmonares. En efecto, para que se produzca la inspiración los alvéolos pulmonares aumentan de

volumen --> se reduce la presión intraalveolar ---> la presión intraalveolar cae por debajo de la presión atmosférica ---> el aire fluye desde el sitio de mayor presión (atmósfera) hacia el sitio de menor presión (alvéolos).

¿Hasta cuándo ingresa aire en los pulmones? Hasta que se anula el gradiente de presiones entre la atmósfera y los pulmones.

Veamos ahora la espiración. ¿Qué sucede con el volumen de los alvéolos durante la espiración (salida del aire de los pulmones hacia la atmósfera)? Para que el aire fluya desde los alvéolos hacia la atmósfera, debe aumentar la presión intraalveolar. Entonces, ¿cómo aumentamos la presión intraalveolar? Aplicando la ley de Boyle ($P = 1 / V$), disminuyendo el volumen de los alvéolos logramos aumentar la presión intraalveolar.

¿Vamos bien? Si has comprendido lo estudiado hasta aquí es un gran paso, puedes tomarte un café.

¿Cómo se modifica el tamaño de los alvéolos? Se modifica a partir de:

- 1) cambios en la presión intrapleural y en el gradiente de presiones entre el espacio pleural y los alvéolos
- 2) retroceso elástico
- 3) surfactante

El retroceso elástico y la tensión superficial de los alvéolos, tienden a disminuir el volumen de los alvéolos ---> aumento de la presión intraalveolar ---> espiración.

Si la presión intrapleural es mayor a la presión intraalveolar, los pulmones se achican --> aumenta la presión intraalveolar ---> espiración.

Si la presión intraalveolar es mayor a la presión intrapleural, los pulmones se expanden ---> disminuyen su presión ----> inspiración.

¿Cómo se modifica la presión intrapleural? Por cambios del volumen de la cavidad torácica. Cuando el tórax modifica su volumen, se producen los consiguientes cambios en la presión intrapleural.

¿Cuándo desciende la presión intrapleural? Cuando el tórax se expande.

¿Cuándo sube la presión intrapleural? Cuando el tórax se retrae.

Los músculos inspiratorios expanden el tórax.

Los músculos espiratorios retraen (achican) el tórax.

Como conclusión: primero ocurren cambios en los volúmenes del tórax, de la cavidad pleural, de los pulmones; y en un instante posterior se producen cambios en las

presiones. Finalmente, las modificaciones en las presiones llevan a gradientes de presiones y los consecuentes flujos de aire.

1^{ro}) cambios de volumen ---> 2^{do}) cambios de presión ---> 3^{ro}) flujo de aire

LA VÍA AÉREA INTRATORÁCICA CAMBIA SU CALIBRE POR EL TONO DEL MÚSCULO LISO Y POR LOS CAMBIOS EN LAS PRESIONES...

¿Cuáles estructuras pulmonares se expanden por el descenso de la presión intrapleural durante la inspiración? Los alvéolos y la vía aérea intratorácica. Al dilatarse los bronquios y bronquíolos durante la inspiración, disminuye la resistencia al flujo de aire.

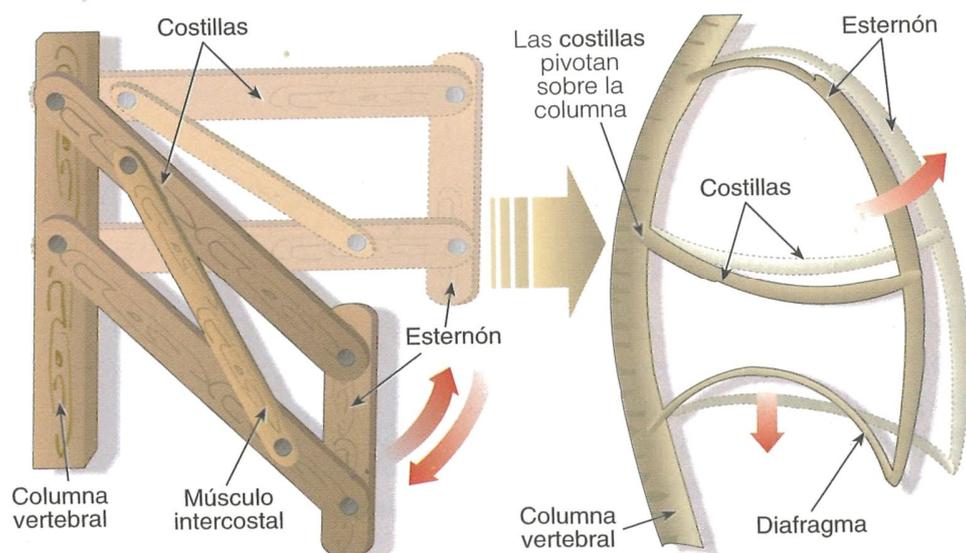
LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS MODIFICAN EL VOLUMEN DEL TÓRAX

Los músculos inspiratorios aumentan las dimensiones de la cavidad torácica, mientras que los músculos espiratorios achican el volumen de la cavidad torácica.

El diafragma al contraerse se aplana, se apoya en el contenido abdominal, y tira de las costillas para elevarlas.

Cuando el diafragma se contrae y aplana, aumenta la altura de la cavidad torácica, y al levantar las costillas aumenta el volumen de la cavidad torácica en sentido transversal y anteroposterior.

Los músculos intercostales externos elevan las costillas.



Los músculos esternocleidomastoideos, escalenos, y pectorales, elevan las costillas.

Los músculos espiratorios son los músculos abdominales y los intercostales internos.

¿Los músculos abdominales cómo participan en la espiración? Al contraerse, aumentan la presión intraabdominal, obligan al diafragma a subir, reduciendo así la altura de la cavidad torácica. Además, como los músculos abdominales se insertan en las costillas, al contraerse tiran de las costillas haciendo que desciendan, reduciendo de este modo las medidas del tórax.

¿Cómo aumentan las dimensiones del tórax cuando se elevan las costillas?

- 1) en sentido anteroposterior porque pasan de estar diagonales a horizontales
- 2) en sentido transversal porque se alejan de la línea media como el asa de un balde

También se puede analizar el aumento en sentido anteroposterior usando un balde.

¿Estuvo bueno el café?

DURANTE LA ESPIRACIÓN ACTÚAN OTROS FACTORES ADEMÁS DE LOS MÚSCULOS...

Tanto la pared torácica como el tejido pulmonar son elásticos, de modo que al ser expandidos con la inspiración, luego tienden a retraerse. Además, la tensión superficial tiende a colapsar (cerrar) los alvéolos. En una espiración, en reposo, no actúan los músculos espiratorios (abdominales e intercostales internos), sino que la retracción elástica del tórax y de los pulmones, sumado a la tensión superficial de los alvéolos, determinan la expulsión del aire. Por lo tanto, como no hay contracción muscular, la espiración en reposo es pasiva.

¿Y qué sucede con la espiración forzada? En la espiración forzada participan los músculos espiratorios. ¿Cuáles son los músculos espiratorios?

ADEMÁS DE LA CIRCULACIÓN PULMONAR, LA CIRCULACIÓN SISTÉMICA TAMBIÉN LLEGA A LOS PULMONES...

A los pulmones llegan dos tipos de arterias:

- 1) Las arterias pulmonares que reciben sangre desoxigenada desde el ventrículo derecho, y la dirigen hacia los capilares alveolares para que se produzca el intercambio gaseoso alveolo-capilar.
- 2) Las arterias bronquiales (ramas de la aorta) reciben sangre rica en O₂ desde el

ventrículo izquierdo, y la dirigen hacia el sector de conducción de la vía aérea para su nutrición.

La sangre proveniente de uno y otro sistema arterial, regresan al corazón mediante las venas pulmonares. ¿Con cuál cavidad cardíaca se conectan las venas pulmonares?

LA MEMBRANA ALVEOLOCAPILAR ES ATRAVESADA POR LOS GASES Y SE INTERPONE ENTRE EL AIRE Y LA SANGRE...



La membrana alveolo-capilar está formada por dos paredes yuxtapuestas: por la pared del alvéolo y por la pared del capilar sanguíneo.

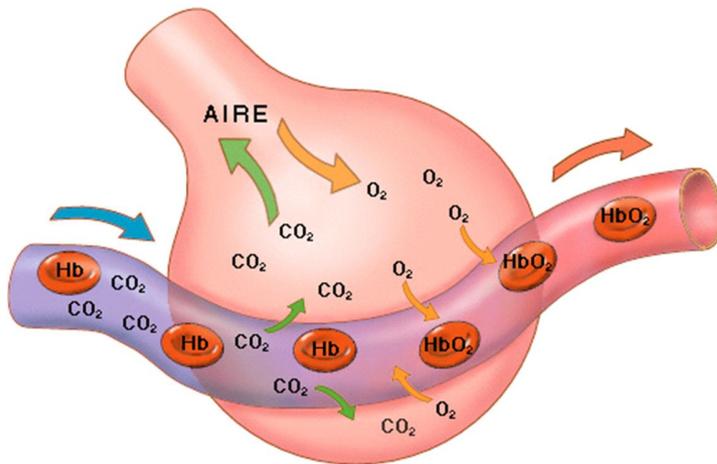
La pared del alvéolo está formada por 2 tipos de células, neumocitos tipo 1 (aplanados) especializados en el intercambio gaseoso, y neumocitos tipo 2 (sobreelevados) especializados en la producción del surfactante. Alrededor de los neumocitos existe una lámina basal, que consiste en una lámina delgada de proteínas extracelulares que le brinda sostén a las células.

La pared capilar está formada por células aplanadas que configuran el endotelio. Por fuera del endotelio se halla una lámina basal.

¿Cuántas capas integran la membrana alveolo-capilar? Cuatro:

- 1) neumocitos
- 2) lámina basal del alvéolo
- 3) lámina basal del capilar
- 4) endotelio

EL INTERCAMBIO GASEOSO SE BASA EN LA DIFERENCIA DE PRESIONES DE LOS GASES EN EL AIRE, EN LA SANGRE, Y EN LAS CÉLULAS



A medida que la sangre circula por los capilares perialveolares, las diferencias de las presiones parciales que cada gas tiene entre el aire del alvéolo y la sangre capilar tienden a igualarse.

La sangre llega con baja PaO₂ al capilar perialveolar, y como la Presión parcial de O₂ en el aire del alvéolo es mayor, el O₂ difundirá desde el aire alveolar a la sangre capilar.

Lo opuesto sucede con el CO₂. La sangre llega al capilar perialveolar con alta PaCO₂, y como la Presión parcial de CO₂ en el alvéolo es menor, el CO₂ difundirá desde la sangre capilar hacia el aire alveolar.

Mientras tanto, la sangre que llega a los capilares de la circulación sistémica (general), contienen alta PaO₂ y baja PaCO₂ en relación a las células. Por lo tanto, el O₂ difundirá hacia fuera del capilar y el CO₂ difundirá hacia el interior del capilar.

La Fracción Inspirada de O₂ (FiO₂) es el porcentaje de O₂ en el aire que inhalamos.

FiO₂ = 21 %

La Fracción Espirada de O₂ (FeO₂) es el porcentaje de O₂ en el aire que exhalamos.

FeO₂ = 18 %

Esto permite la eficacia de la respiración boca a boca, dado que se usa el aire que exhala el reanimador, siendo la FeO₂ no muy diferente a la FiO₂ (18 % vs 21 %).

LA HEMOGLOBINA SE UNE AL O₂, PERO NO SÓLO AL O₂...

¿Cómo se transporta el O₂ en la sangre?

* La mayor parte unido a la hemoglobina (el O₂ y la hemoglobina unidos conforman la oxihemoglobina).

* El 3 % del O₂ en sangre está disuelto en plasma y determina la PaO₂. El nivel de PaO₂ determina el porcentaje de hemoglobina que está unida al O₂ (porcentaje de saturación de la hemoglobina).

¿Cómo se transporta el CO₂ en la sangre?

* 7 % disuelto en plasma; determina la PaCO₂.

* 20-30 % unido a la hemoglobina. El CO₂ y la hemoglobina unidos conforman la carbaminohemoglobina.

* 70 % convertido en anión bicarbonato (HCO₃⁻): CO₂ + H₂O <--> H₂CO₃ <- -> HCO₃⁻ + H⁺

Entonces, el CO₂ contribuye a regular el pH de la sangre (concentración de H⁺):

1) Si el CO₂ sube, la reacción se desplaza a la derecha y se forman más H⁺ (hidrogeniones).



2) Si el CO₂ disminuye, la reacción se desplaza a la izquierda y se neutralizan los H⁺.



Algunos datos en relación al pH:

* el pH normal de la sangre está entre 7,35 y 7,45

* a mayor concentración de H⁺, el pH es menor

* a menor concentración de H⁺, el pH es mayor

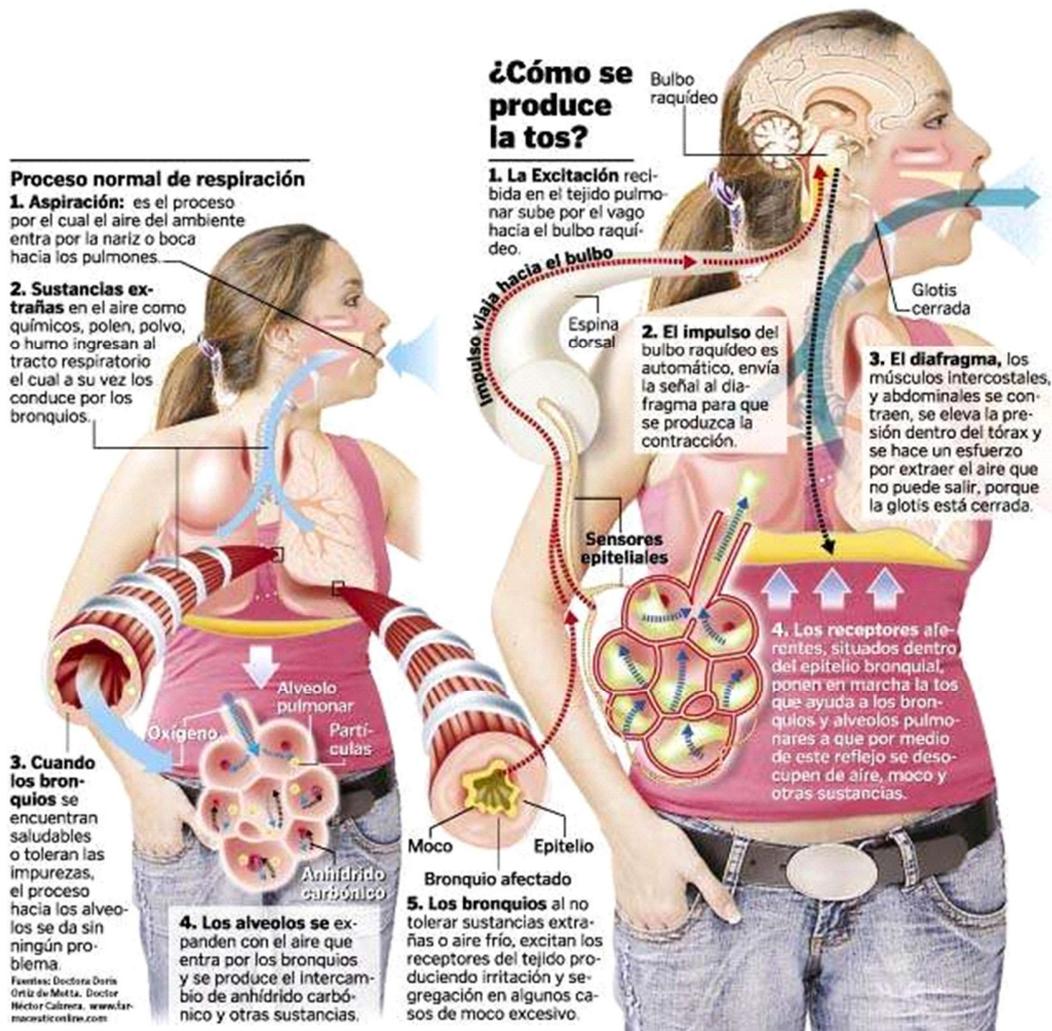
Quienes fuman, incorporan en la sangre el gas tóxico CO (monóxido de carbono). La hemoglobina tiene una afinidad por el CO 200 veces mayor en relación al O₂. Entonces, la sangre de los fumadores pierde capacidad para transportar O₂.

El CO₂ tiene una difusión a través de la Membrana Alveolo-Capilar 20 veces mayor en comparación al O₂.

* Accidentes por inmersión.

* Papel del aire pulmonar en la flotación en el agua.

LA TOS ES UN MECANISMO DE DEFENSA...



CONTROL CENTRAL DE LA RESPIRACIÓN

La respiración puede controlarse voluntaria o involuntariamente.

¿Por qué se puede controlar voluntariamente? Porque los músculos respiratorios son esqueléticos (voluntarios). Como toda orden voluntaria, parte de la corteza cerebral (área motora) y desde allí se dirige a los músculos respiratorios.

El control involuntario o automático se realiza por el centro nervioso de la respiración localizado en el bulbo (parte inferior del tronco encefálico).

Para comandar los músculos respiratorios, el centro respiratorio debe recibir información desde receptores, a partir del procesamiento de esa información, decide las órdenes que le enviará a los músculos respiratorios.

Los receptores que le brindan información al centro respiratorio son los quimiorreceptores y los mecanorreceptores:

1) Quimiorreceptores, localizados en la pared de las arterias aorta y carótidas (quimiorreceptores periféricos) y en el propio centro respiratorio (quimiorreceptores centrales).

Detectan los niveles de PaO₂ (Presión Parcial de O₂ a nivel arterial), PaCO₂ (Presión parcial de CO₂ a nivel arterial), pH.

2) Mecanorreceptores, localizados en la pared torácica, en los músculos respiratorios y en los pulmones, informan sobre el grado de estiramiento de esos componentes.

El centro respiratorio recibe además señales desde el hipotálamo (el hipotálamo es el centro de control mayor del Sistema Nervioso Autónomo y se localiza en la cara inferior del cerebro sobre la base del cráneo).

Desde el centro respiratorio parten dos tipos de señales:

1) hacia los músculos esqueléticos respiratorios (tanto inspiratorios como espiratorios)

2) hacia los bronquios y bronquiólos para regular la actividad del músculo liso y de las glándulas que secretan mucus. El sistema simpático produce una inhibición del músculo liso de la vía aérea (broncodilatación) y de la secreción de mucus. El sistema parasimpático estimula la contracción del músculo liso (broncoconstricción) y la secreción de mucus.

El diafragma es innervado por los 2 nervios frénicos (derecho e izquierdo), los cuales se originan en la médula espinal cervical. Una lesión de la médula espinal cervical puede dejar paralizado el diafragma (deja de recibir los estímulos nerviosos para contraerse).

Los músculos intercostales y abdominales son innervados por los nervios intercostales, los cuales se originan desde la médula espinal torácica.

Los estímulos simpáticos llegan por nervios simpáticos originados en la médula espinal torácica.

Los estímulos parasimpáticos llegan a los pulmones por el par de nervios vagos, los cuales son el décimo par de nervios craneanos, originados en el bulbo.

La información desde los mecanorreceptores llega al centro respiratorio por intermedio de los nervios intercostales y los nervios vagos.

La información desde los quimiorreceptores periféricos llega al centro respiratorio mediante los pares craneanos noveno y décimo.

El soma de las motoneuronas que conectan sus axones con los músculos respiratorios se localizan en la sustancia gris de la médula espinal.

NO ES UNA BUENA IDEA HIPERVENTILAR (RESPIRAR PROFUNDAMENTE Y RÁPIDO) ANTES DE UNA INMERSIÓN...

Cuando hiperventilamos, ¿qué sucede con la PaO₂ y con la PaCO₂? La PaO₂ aumenta (incorporamos más O₂), pero sobre todo baja la PaCO₂ (eliminamos más CO₂).

Si luego procedemos a la inmersión, nuestros niveles de CO₂ están muy bajos como para estimular al centro respiratorio. Tengamos en cuenta que el principal estímulo para el centro respiratorio es el CO₂ alto (más que el O₂ bajo).

El CO₂ se irá acumulando y aumentará la PaCO₂, pero no aumenta tanto porque parte de niveles muy bajos como consecuencia de la hiperventilación realizada antes de la inmersión.

¿Y cuál es el principal estímulo para el centro respiratorio? El aumento de PaCO₂ (hipercapnia).

Al mismo tiempo, los niveles de O₂, bajan peligrosamente, y pueden conducir

a la pérdida de conocimiento. Si perdemos el conocimiento en una inmersión está claro el riesgo de ahogamiento. La pérdida de conocimiento en este caso sucede antes de sentir una necesidad imperiosa de volver a respirar. ¿Por qué no la sentimos? Porque los niveles de CO₂ aún no se han elevado significativamente.

Por esa razón, no conviene hiperventilar antes de una inmersión.

BIBLIOGRAFÍA

- Kapandji

-Cuilleret

-Astrand

-Steimer (Chile)

-Best y Taylor

-FIN

-Tortora

-Silverton

-Tresguerres

-RCP de Besada

-fisiología en esquemas

-fisiología de CTO