

Tema 13: Sistema respiratorio

Generalidades

Incluye 2 procesos:

- Respiración externa: absorción de O_2 y remoción del CO_2 del organismo.
- Respiración interna: intercambio gaseoso entre la célula y su medio (líquido intersticial).

El término respiración también se utiliza correctamente para designar el hecho mecánico de respirar, para el transporte de O_2 y CO_2 por la sangre y también para designar a las funciones del O_2 y del CO_2 en los procesos celulares. En reposo un hombre normal respira de 12-15 veces/min. Entre 6-8 L/min son inspirados y expirados.

Este aire renueva el contenido de gases de la sangre, entrando el O_2 y eliminándose el CO_2 , conjuntamente con otra serie de gases productos del metabolismo celular. El aire inspirado se mezcla con el gas alveolar y por difusión el O_2 penetra en la sangre de los capilares pulmonares, al mismo tiempo que el CO_2 pasa de la sangre a los alveolos. Nosotros no respiramos O_2 , sino una mezcla gaseosa. La presión de esa mezcla viene dada por las presiones parciales de cada gas. La presión parcial de un gas en una mezcla es igual a la presión total de la mezcla multiplicada por la fracción que representa el gas en el total de la mezcla.

Nosotros no respiramos un aire totalmente seco (vapores de agua) y las Pp teóricas van a ser un poco mayores que las Pp reales. La cantidad de gas que respiramos puede determinarse mediante un espirómetro (aparato que mide la expansión del tórax). Hay otros métodos como el de infrarrojos que además de la cantidad de aire inspirado puede medir la proporción de cada gas.

Desde el punto de vista fisiológico se divide en dos partes:

1. Porción conductora
 - Cavidad nasal y senos paranasales.
 - Boca.
 - Nasofaringe.
 - Faringe.
 - Laringe.
 - Tráquea.
 - Bronquios primarios (derecho e izquierdo).
 - Bronquios secundarios.
 - Bronquiolos.
 - Bronquiolos terminales.
2. Porción respiratoria
 - Bronquiolos respiratorios.
 - Conductos y sacos alveolares.
 - Alveolos.

Existen varios músculos que participan en la respiración. Los pulmones ocupan gran parte de la cavidad torácica. El derecho tiene tres lóbulos y el izquierdo dos. Cada lóbulo recibe una rama del bronquio primario. Externamente los pulmones están revestidos por la pleura (membrana serosa). Los pulmones no son ni más ni menos que un tejido elástico constituido por estructuras respiratorias. Los bronquios primarios se bifurcan en dos bronquios secundarios el izquierdo y en tres bronquios secundarios el derecho. A partir de ellos se originan los bronquiolos (numerosos). En un principio tienen una estructura similar a la tráquea pero luego los cartílagos desaparecen y son reemplazados por placas cartilaginosas. Además los bronquios pulmonares son cilíndricos y no aplanados.

La unidad funcional de los pulmones es el lobulillo primario que está formado por un bronquiolo respiratorio, un conducto alveolar, un saco alveolar y alveolos, con sus respectivos vasos sanguíneos y linfáticos. La tráquea tiene cilios, que tienen la misión de evitar que las partículas de polvo pasen a zonas profundas. Hay dos mecanismos de expulsión del polvo de las zonas respiratorias:

- *Tos*: se desencadena cuando la partícula de polvo penetra en zonas respiratorias profundas. Lo que sucede es que se genera un impulso nervioso que va al bulbo, que elabora y envía una respuesta que provoca la contracción de los músculos y un aumento de la presión en la zona, debido a lo cual la glotis se eleva, se abre la epiglotis y el aire sale arrastrando a la partícula de polvo.
- *Estornudo*: ocurre cuando la partícula de polvo se sitúa en zonas respiratorias altas. Mismo mecanismo que el de la tos.

Tema 14: Mecánica respiratoria o ventilación pulmonar

Mediante la respiración se renueva el aire que está en los alveolos. Se realiza mediante dos movimientos que son: inspiración y espiración. A diferencia del corazón, los pulmones se consideran una bomba de aire subatmosférico que funciona por ensanchamiento activo del tórax durante la inspiración y durante la espiración mediante un proceso pasivo. En los movimientos respiratorios tenemos las siguientes estructuras:

- **Diafragma**: mediante su contracción y relajación ensancha o acorta la caja torácica. En consecuencia va a haber una alternancia en la presión intratorácica, que hace que el aire entre o salga de los pulmones.
- **Elevación o depresión de las costillas**: aumenta o disminuye el diámetro anteroposterior del tórax y produce los correspondientes cambios de presión que contribuyen a la entrada o salida de aire.
- **Músculos torácicos de la espiración e inspiración**: son capaces de realizar contracciones fuertes y participar en los dos procesos, incluso activamente cuando es necesario en la espiración.

En la respiración reposada solo participa generalmente el diafragma. Los músculos que elevan la caja torácica son los músculos inspiratorios. Los que la deprimen son los músculos espiratorios. A pesar de todas las estructuras la respiración no se podría realizar si los pulmones y las paredes torácicas no fuesen dos estructuras elásticas, y si entre ellos no hubiera más que una delgada capa de líquido. Esto permite que los pulmones se deslicen fácilmente sobre la caja torácica pero se resistan a ser separados de ella. Todo movimiento de la caja torácica va acompañado por un movimiento de los pulmones.

Procesos

Inspiración

Proceso activo que consiste en el llenado de aire de los pulmones y se realiza así:

- Los músculos intercostales se acortan. En consecuencia la distancia entre las costillas se hace menor.
- Se elevan las costillas inferiores. La caja torácica se levanta.
- El diafragma se contrae y esta contracción tira del borde inferior hacia abajo, por lo tanto los pulmones se alargan.
- Los pulmones aumentan de volumen. Las presiones interiores descienden y el aire entra.

Espiración

La espiración es un proceso pasivo y es el inverso al de inspiración.

- Hay una relajación de los músculos.
- Las costillas descienden.
- El diafragma se relaja y se eleva.
- Por lo tanto, disminuye la capacidad de la caja torácica, aumenta la presión y el aire sale.

Volúmenes y capacidades pulmonares

La cantidad de aire que penetra en los pulmones con cada inspiración y que sale con cada espiración normal se llama volumen normal de respiración pulmonar, volumen ventilatorio o volumen circulante. Se sitúa entre los 500 ml. Sin embargo, el volumen circulante podemos modificarlo y así, el aire inspirado en un esfuerzo inspiratorio máximo se llama *volumen inspiratorio de reserva*, que se sitúa alrededor de los 3000 ml. También podemos modificar la espiración y el aire espirado en un esfuerzo espiratorio activo máximo, pero después de haber realizado una espiración pasiva, se llama *volumen espiratorio de reserva* que se sitúa alrededor de los 1000 ml.

Además, en nuestros pulmones, siempre hay una cantidad de aire en volumen que no podemos mover, que permite que los alveolos estén abiertos. El aire que queda en los pulmones después de un esfuerzo espiratorio máximo se llama *volumen residual* que se sitúa alrededor de los 1200 ml. A veces es necesario considerar juntos dos o más volúmenes y entonces hablamos de capacidades:

- Capacidad vital: mayor cantidad de aire que puede ser espirada después de un esfuerzo inspiratorio máximo. Es la suma del V_{normal} , el $V_{\text{expiratorio de reserva}}$ más el $V_{\text{inspiratorio de reserva}}$.

Esta capacidad vital se tiene que cronometrar. Se llama capacidad vital cronometrada, y es la capacidad vital espirada en un segundo. Esta CVC está muy modificada en numerosas enfermedades mientras que la CV permanece constante siempre.

- Capacidad funcional residual: es el volumen de aire que queda en nuestros pulmones a nivel espiratorio después de una inspiración normal.
- Capacidad inspiratoria: es la cantidad de aire que un individuo puede inspirar cuando empieza en una inspiración normal más la inhalación máxima.
- Capacidad total pulmonar: es el volumen total al final de una inspiración forzada (alrededor de 5800-6000 ml).

En las mujeres todos los volúmenes y capacidades pulmonares son entre un 20-25% inferiores.

Intercambio gaseoso a nivel pulmonar

Durante la inspiración, con el aire, nos entra O_2 , que llega a los alveolos. Debido a que existe un gradiente de concentración desde los alveolos a la sangre capilar, este O_2 va a pasar a la sangre. Todo lo contrario sucede con el CO_2 . Al ser mayor la concentración de este gas en los capilares que en los alveolos, el CO_2 pasa desde la sangre capilar al aire alveolar.

Los dos gases entrarán o saldrán solo por difusión. En esta difusión influyen varios factores:

- El grosor de la membrana. Es un factor negativo, pero a nivel pulmonar la barrera hematogaseosa tiene una extrema delgadez. Este factor negativo, entonces, está minimizado al máximo.
- El gradiente que existe a ambos lados de la membrana. Depende del coeficiente de difusión del gas y del peso molecular del gas. El gradiente de difusión es mayor para el CO₂ que para el O₂.
- La superficie de intercambio. A mayor superficie mayor posibilidad de que se difundan. A nivel pulmonar la superficie de intercambio es muy grande, ya que numerosos capilares envuelven a numerosos alveolos.
- El intercambio alveolo-sanguíneo. Depende del volumen respiratorio por minuto, y de la ventilación alveolar. El volumen respiratorio por minuto es un producto de la frecuencia respiratoria por el volumen inspiratorio. El volumen alveolar es el volumen de aire inspirado que alcanza o ventila los pulmones.

Teniendo en cuenta todos los factores, el O₂ se difunde continuamente desde el aire alveolar a la sangre capilar, y el CO₂ en sentido contrario. El aire inspirado que alcanza los pulmones se mezcla con el gas alveolar, reemplazando el O₂ que ha penetrado en la sangre, y diluyendo el CO₂ que ha penetrado desde la sangre. Parte de esta mezcla va a ser espirada.

A continuación, el contenido de O₂ del gas alveolar desciende, aumentando el contenido en CO₂, hasta la siguiente inspiración. El volumen de gas alveolar está siempre próximo a los 2 L al final de la espiración. Por lo tanto, todo incremento o decremento de 350 ml va a cambiar muy poco las presiones parciales del O₂ y del CO₂ alveolar. Por eso se puede decir que la composición del aire alveolar permanece constante.

Así, la Pparcial del O₂ alveolar es de 100 mmHg, mientras que en la sangre venosa que llega por la arteria pulmonar es de 40 mmHg. Por eso el O₂ va a entrar desde los alveolos a los capilares, disolviéndose en el plasma y penetrando en los glóbulos rojos en donde se va a combinar con la hemoglobina. Por lo tanto, no existe ninguna evidencia de que exista ningún mecanismo activo. Sólo la difusión pasiva. Ésta es muy rápida ya que el tiempo que permanece cada ml de sangre en los capilares pulmonares es muy corto, siendo la difusión de O₂ la adecuada para elevar la P de O₂ en la sangre que abandona los pulmones a 97 mmHg (muy próxima a la Pde O₂ alveolar).

La capacidad de difusión para el O₂ está disminuida en todas las patologías que causan fibrosis alveolar y bloqueo alveolo-capilar. La Pparcial de CO₂ en sangre es de 46 mmHg. La P de CO₂ en el aire alveolar es de 40 mmHg, por lo tanto, el CO₂ va a difundir desde la sangre capilar al alveolo, siendo la P del CO₂ en la sangre que abandona los pulmones de 40 mmHg. El CO₂ atraviesa con mucha facilidad las membranas biológicas. La capacidad de difusión pulmonar de CO₂ es mucho mayor que la del O₂. Por eso hay ciertas patologías en donde hay problemas en la difusión del O₂ y casi nunca es problema el CO₂.

El transporte de O₂ por la sangre

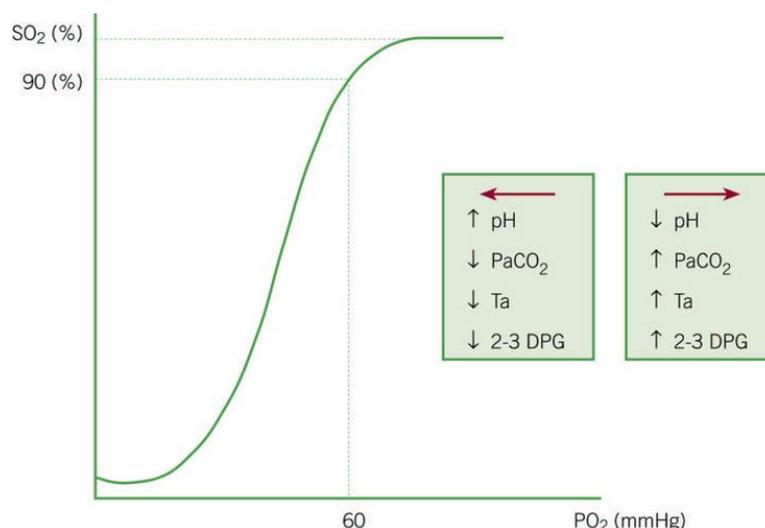
Existen 2 procesos:

1. Una pequeña parte se transporta disuelto en el plasma. La cantidad disuelta depende de la Pparcial o tensión DE O₂ en el líquido. La cantidad de O₂ disuelto es directamente proporcional a la tensión de O₂ en el plasma.
2. La mayor parte del O₂ se transporta mediante el pigmento respiratorio hemoglobina. La hemoglobina posee cuatro subunidades, cada una de las cuales es capaz de transportar una molécula de O₂. El O₂ para ser transportado se une al Fe⁺³ de los grupos hemo. Cada hemo va a captar una molécula de O₂.

Hb₄O₈ es la hemoglobina saturada.

Es una reacción reversible y de oxigenación. Es un equilibrio inestable y muy lábil. Se realiza rápidamente necesitándose menos de 0,01 seg. Irá en un sentido o en otro dependiendo de la tensión de O_2 en el plasma (P_p de O_2). Si la tensión es alta la Hb estará OXIGENADA. Si la tensión es baja la Hb estará OXIDADA.

No existe en el organismo el 100% de saturación de la Hb, ya que para que esto ocurriera sería necesaria una P_p de O_2 de 100 mmHg o superior (no existe en condiciones normales). Existe una gráfica que representa la captación del O_2 por la Hb. Nos da una curva sigmoidea. Relaciona el porcentaje de saturación de la Hb con la P de O_2 . Se llama curva de disociación de la oxihemoglobina:



Curva de disociación de la oxihemoglobina: El punto de inflexión está en una PO_2 de 60 mmHg., que corresponde a una saturación de oxígeno (SO_2) del 90%. T^a (temperatura), $PaCO_2$ (presión arterial de), 2-3 DPG (2-3 difosfoglicerato).

Influye el PH, la T^a y el 2-3-DPG. Por eso hay que realizarla a pH 7,4 y T 38°C, de tal modo que si existe una elevación de la T^a o una caída del pH, esta curva se va a desplazar hacia la derecha. Si es al revés se desplaza hacia la izquierda. Y de esta forma se alcanza el mismo grado de saturación de la hemoglobina a P_p diferentes. El 2-3-DPG es una sustancia muy abundante en el glóbulo rojo. Un incremento de él desplaza la reacción hacia la derecha. Hace que se libere el O_2 de la Hb. Esto se debe a que el 2-3-DPG se une a la Hb, desplazando al O_2 .

Cuando el O_2 transportado llega a los tejidos va a ser desplazado muy rápidamente de la Hb, fundamentalmente porque en la zona existe una baja tensión de O_2 y también debido a que en muchos tejidos existe un pigmento transportador de O_2 que tiene mayor afección por el O_2 que la hemoglobina, la mioglobina. La *mioglobina* es un pigmento férrico que se encuentra fundamentalmente en el músculo esquelético y es capaz de fijar una sola molécula de O_2 . Este pigmento almacena en el tejido una pequeña cantidad de O_2 que va a ser liberado por la mioglobina cuando ese O_2 es necesario. La mioglobina transporta o facilita la difusión del O_2 desde la sangre hasta las mitocondrias, donde van a suceder los procesos oxidativos.

Transporte de CO₂

El CO₂ tiene una solubilidad 20 veces mayor que la del O₂. Hay una mayor cantidad de CO₂ disuelto en sangre. De esta manera es transportado el 10%. Pero la mayor parte del CO₂ va a ser transportado en forma de bicarbonatos desde los tejidos a los pulmones. Los bicarbonatos resultan de la unión del CO₂ con el agua. El 70% del CO₂ va a ser transportado en forma de ión bicarbonato disuelto en el plasma. La mayor parte del ión bicarbonato se forma en el interior del glóbulo rojo, o sea que el CO₂ se difunde al interior del glóbulo rojo donde va a ser hidratado mediante la enzima anhidrasa carbónica, formándose ácido carbónico.

El H⁺ es neutralizado por la hemoglobina en el interior del glóbulo rojo, y el ión bicarbonato se difunde de nuevo al plasma. El 20% restante del CO₂ al difundirse al glóbulo rojo reacciona con los grupos amino de la Hb formando la carbamino hemoglobina (20% de transporte restante).

Como hemos visto, el CO₂ forma ácido carbónico, por lo tanto tienen que existir sustancias amortiguadoras que están formadas por ácidos y bases débiles que están en presencia de sales muy ionizadas del mismo ácido o base. Por lo tanto, el mejor tampón será ácido carbónico – ión bicarbonato. Esta reacción irá en el sentido de formar una base o un ácido para mantener el pH 7,4. Otros tampones son las proteínas plasmáticas, que tienen grupos amino y carboxilo y son capaces de neutralizar ácidos y bases.

Tema 15: Regulación de la respiración

La regulación de la respiración es nerviosa, pero se puede subdividir en tres apartados:

Regulación nerviosa

Existen dos mecanismos nerviosos independientes que regulan la respiración. Uno de estos mecanismos va a ser responsable del control voluntario, está localizado en la corteza cerebral y envía impulsos a las motoneuronas respiratorias a través de los fascículos nerviosos corticoespinales. Este control voluntario es relativo, ya que nosotros seguimos respirando dormidos, anestesiados e incluso después de que exista una descortización. De ahí que exista un segundo mecanismo automático que tiene su centro en el centro respiratorio. Sobre él van a influir factores físicos y psíquicos. Mediante este centro se coordinan los movimientos de los músculos inspiratorios y espiratorios.

Este centro respiratorio se localiza en la región reticular del bulbo y está constituido en realidad por dos grupos de neuronas: el grupo dorsal y el grupo ventral. El grupo ventral a su vez lo podemos dividir en dos subgrupos que son el área caudal y área craneal. El *craneal* tiene a su cargo los músculos accesorios, mientras que el *caudal* está formado por neuronas de núcleo retroambiguo y aporta el impulso inspiratorio y espiratorio a las motoneuronas que inervan los músculos intercostales.

El núcleo retroambiguo es un núcleo nervioso respiratorio que existe a nivel del bulbo. El funcionamiento de las motoneuronas que inervan los músculos inspiratorios y espiratorios son alternos, de tal modo que cuando funcionan los inspiratorios, los espiratorios están inhibidos e viceversa. Sin embargo, los que marcan el ritmo son los inspiratorios ya que los espiratorios sólo funcionan cuando son estimulados y, de hecho, se ha visto que si no existe un estímulo estaríamos siempre en inspiración, lo que se conoce con el nombre de *apneusis*. Debido a esto podemos decir que en el centro respiratorio existen en realidad dos centros:

- Apnesístico: relacionando con la inspiración.
- Neumotáxico: relacionado con la espiración.

Y relacionado con estos centros tenemos el nervio vago. Por tanto, la normalidad respiratoria se produce cuando el nervio vago y estos dos centros están normales.

Existe una teoría que intenta explicar cómo se produce la inspiración y la espiración alternativamente, la teoría de la ritmicidad, que se basa en la presencia de dos circuitos oscilantes, cada uno de ellos formado por cuatro neuronas, uno de ellos relacionado con la inspiración y otro con la espiración, de tal modo que cuando el circuito inspiratorio está en funcionamiento envía una inhibición a través de una neurona inhibitoria sobre el circuito espiratorio. Este circuito estará funcionando de forma continuada hasta que se presenta fatiga neuronal, que es cuando cesa la inhibición sobre el circuito espiratorio, y entonces este circuito comienza a funcionar.

Éste, a su vez, está conectado con una neurona inhibitoria que inhibe al circuito inspiratorio. Por lo tanto, estará funcionando hasta que se presente de nuevo fatiga neuronal, momento en que cesa la inhibición y vuelve a funcionar el circuito inspiratorio. Sobre la frecuencia respiratoria y sobre el centro respiratorio existen varios tipos de influencias de tipo físico (como el dolor, el ejercicio, el frío) y de tipo psíquico (es decir, impulsos que nacen en nuestra corteza y que afectan al centro respiratorio). Existe otro mecanismo que actúa sobre el centro respiratorio a través de barorreceptores que están situados en el seno carotídeo y en el cayado aórtico. Por lo tanto, cuando hablamos de factores que influyen en la frecuencia respiratoria tenemos que hablar de un conjunto de factores y no de un factor aislado.

Regulación química

El control químico del ritmo respiratorio se debe a unos receptores que están situados en el bulbo, en el seno carotídeo y en el cayado aórtico. Estos receptores son quimiorreceptores, por lo tanto son receptores nerviosos sobre los que influyen diversas sustancias cuando éstas están presentes en la sangre. Los receptores situados a nivel del bulbo o en el seno carotídeo envían sus impulsos al centro respiratorio a través del nervio glossofaríngeo y los receptores que se encuentran en el cayado aórtico envían sus impulsos a través del nervio vago.

Las sustancias que afectan a estos quimiorreceptores son la concentración de protones, la concentración de CO_2 y la concentración de O_2 . Pero la concentración de protones está relacionada con el PH, por lo tanto, cuando hay una disminución de PH la frecuencia respiratoria va a aumentar. Lo mismo ocurre cuando aumenta la concentración de CO_2 : si aumenta del 0,4 al 1% el ritmo de ventilación se duplica. La concentración de CO_2 y de protones está muy relacionada. Cuando la concentración de CO_2 aumenta también aumenta la del otro. Estas dos sustancias tienen un efecto directo sobre el centro respiratorio porque afectan a los quimiorreceptores que se encuentran en la zona bulbar. Cuando disminuye la concentración de O_2 , aumenta la frecuencia respiratoria. Pero para que esto suceda, la Pp del O_2 debe disminuir mucho.

Regulación refleja

En las estructuras respiratorias y a distintos niveles existen unos receptores sensibles al estiramiento, por lo que cuando realizamos una inspiración llega un momento en que estos receptores se activan y provocan un reflejo que es un reflejo de inflación que inhibe la inspiración. Este reflejo va desde los receptores hasta el centro respiratorio a través del nervio vago con la finalidad de que no se dañen las estructuras respiratorias por un estiramiento excesivo. Pero en las estructuras respiratorias existen otros receptores que actúan cuando estas estructuras están acortadas, es decir, cuando estamos en espiración. Este reflejo también va a transmitirse a través del nervio vago y se llamará reflejo de desinsuflación, que tiene la misión de que las estructuras respiratorias no se dañen cuando estamos en espiración.

La finalidad de los dos en su conjunto es normalizar la profundidad de la respiración, tanto en inspiración como en espiración. Existe otro reflejo que se llama reflejo de Head o reflejo paradójico, que consiste en que aunque existe inflación pulmonar se vuelve a producir otra inflación cuando los receptores de inflación están bloqueados. Es un mecanismo que tenemos con el fin de abrir nuestros alveolos cuando están colapsados y por lo tanto este reflejo participa en la ventilación pulmonar del neonato y participa también en el acto de suspirar.