

Esquema:

1. INTRODUCCIÓN
2. FUNCIONES DEL APARATO RESPIRATORIO
3. ANATOMÍA DEL APARATO RESPIRATORIO
 - 3.1 Anatomía de las vías respiratorias
 - 3.2 Anatomía del pulmón
4. FISIOLOGÍA DEL APARATO RESPIRATORIO
 - 4.1 Ventilación pulmonar
 - 4.2 Volúmenes y capacidades pulmonares
 - 4.3 Intercambio gaseoso en los pulmones
 - 4.4 Transporte sanguíneo de los gases
 - 4.5 Intercambio gaseoso en los tejidos
 - 4.6 Regulación de la respiración
 - 4.7 Reflejos del aparato respiratorio
 - 4.8 Tipos de respiración
5. PATOLOGÍA RESPIRATORIA
6. CONCLUSIONES
7. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las células de nuestro organismo requieren un suministro continuo de oxígeno para poder funcionar. De hecho, si las células del encéfalo humano permanecen sin oxígeno más de cuatro minutos, pueden quedar dañadas irreversiblemente e incluso morir.

Las células de los distintos tejidos son abastecidas de oxígeno continuamente por los capilares sanguíneos. Este oxígeno es utilizado, junto con glucosa, dentro de las mitocondrias para conseguir energía (proceso que se conoce con el nombre de *respiración celular* o *respiración interna*). El aprovechamiento del oxígeno en la mitocondria produce dióxido de carbono, gas que ha de salir de la célula hacia el torrente sanguíneo para ser eliminado antes de que se acumule y alcance niveles peligrosos para la vida.

Para que el oxígeno llegue a la sangre, y así poder ser transportado a todos los tejidos del organismo, primero ha de ser obtenido desde el medio ambiente. Así mismo, para eliminar el dióxido de carbono producido en la respiración celular, éste ha de ser transportado hasta algún lugar para expulsarlo igualmente al medio externo. De este intercambio gaseoso entre el organismo y el entorno se encarga el aparato respiratorio mediante la denominada *respiración pulmonar* o *respiración externa*, imprescindible para la respiración celular.

Si, además, el aire que aporta el oxígeno a los pulmones (y, por tanto, a todos los tejidos del organismo) puede renovarse de manera continua, se dispondrá de mayor cantidad del gas. Por este motivo los humanos realizamos la *ventilación*, es decir, desplazamos aire sobre las superficies respiratorias (mediante la inspiración y la espiración).

En este tema analizaremos la respiración pulmonar, estudiando la importancia y la interrelación del aparato respiratorio, el aparato circulatorio y el sistema nervioso para que pueda llevarse a cabo eficientemente.

2. FUNCIONES DEL APARATO RESPIRATORIO

-*Distribución de aire*: excepto los alveolos pulmonares, todas las estructuras del aparato respiratorio son conductos encargados de facilitar el paso del aire, desde el medio externo hasta el interior de los pulmones y viceversa.

-*Intercambio gaseoso*: difusión de oxígeno desde los pulmones a la sangre y difusión de dióxido de carbono desde la sangre hacia los pulmones. Esto tiene lugar en los alveolos pulmonares.

-*Adaptación del aire respirado*: las vías respiratorias encargadas de distribuir el aire cuentan con mecanismos para filtrarlo, calentarlo y humidificarlo durante la inspiración, para que llegue en las mejores condiciones al lugar de intercambio gaseoso.

-*Producción de sonidos, incluido el lenguaje oral*.

-*Sentido del olfato*.

-Regulación de la homeostasia interna mediante la *regulación del pH sanguíneo* (mediante el control de la PCO_2).

3. ANATOMÍA DEL APARATO RESPIRATORIO

3.1 Anatomía de las vías respiratorias

Las vías respiratorias son todos aquellos conductos que distribuyen el aire hacia dentro o fuera del organismo y lo acondicionan durante la inspiración. En definitiva, son todos los espacios que atraviesa el aire hasta llegar al lugar del intercambio de gases y los que luego atraviesa para salir de nuevo al exterior.

A. *Vías respiratorias altas (tracto respiratorio superior)*

a. *Nariz*

Su parte externa está formada por una estructura ósea (huesos propios de la nariz) y cartilaginosa (la punta de la nariz, que sostiene la abertura de las dos *ventanas nasales o narinas*), cubierta de piel con abundantes glándulas sebáceas.

Su parte interna, denominada *cavidad nasal*, se encuentra separada de la cavidad bucal por los dos huesos palatinos (suelo de la nariz), y separada de la cavidad craneal por una parte del hueso etmoides llamada lámina cribosa (techo de la nariz). Esta fina lámina presenta múltiples orificios que permiten la entrada a las ramitas del nervio olfatorio, cuyos receptores se encuentran en la parte superior de la mucosa nasal, y que llevan información olfativa hasta el encéfalo.

Cuando durante la gestación los huesos palatinos no se fusionan correctamente, el niño nace con el paladar hendido, es decir, con una comunicación entre la cavidad nasal y la cavidad oral. Esta malformación dificulta el habla y la deglución.

La cavidad nasal se encuentra dividida verticalmente en mitad derecha (fosa nasal derecha) e izquierda (fosa nasal izquierda) por el tabique nasal.

Cada cavidad o fosa nasal se divide en tres pasillos horizontales (*meato superior, medio e inferior*), originados por la proyección transversal de los cornetes nasales. En el meato inferior drena el conducto lacrimal, y en los meatos superior y medio drenan los senos paranasales. Los meatos desembocan en las *coanas*, estancia de la cavidad nasal que comunica con la faringe.

Así pues, el paso del aire durante la inspiración sigue el siguiente recorrido: *ventanas nasales o narinas* → *vestíbulo* (porción cutánea interna de la cavidad nasal que se encuentra entre las narinas y el

meato inferior) → *meatos inferior, medio y superior* (simultáneamente) → *coanas*.

A excepción de las ventanas nasales y del vestíbulo, prácticamente toda la cavidad nasal está tapizada internamente por *mucosa respiratoria*, ciliada y muy vascularizada (especialmente en la zona del meato inferior). La mucosa que se encuentra por encima del meato superior es más pálida, y se denomina *mucosa o epitelio olfatorio*. Éste contiene los receptores del nervio responsable del olfato (familiarmente se la conoce como "pituitaria amarilla").

Los *cilios*, pequeños filamentos protéicos microscópicos (y que son cortas y numerosas prolongaciones del citoesqueleto celular) impulsan constantemente el *moco* de la cavidad nasal hacia la garganta. Así, la suciedad, microorganismos y otras partículas atrapadas en él son desplazadas hacia la faringe, desde donde serán deglutidas y eliminadas por la vía digestiva. Una persona ingiere normalmente alrededor de medio litro de moco nasal al día, y más durante una infección nasal o reacción alérgica.

Anexos a la cavidad nasal, pero fuera de ella, se encuentran los cuatro pares de *senos paranasales* (frontales, maxilares, etmoidales y esfenoidales). Son pequeñas cavidades huecas revestidas de mucosa respiratoria; el moco que producen drena constantemente, gracias a los cilios, hacia la nariz. También actúan como cámaras de resonancia para el lenguaje.

Las impurezas del aire introducido por las ventanas nasales son filtradas en primer lugar por los pelos (*vibrisas*) del vestíbulo, y después por los *cilios* de la mucosa respiratoria. Así mismo, la gran cantidad de *moco* que ésta fabrica atrapa más partículas aéreas (además de contribuir a la humidificación del aire). La división y estrechez de los meatos obliga a enlentecer el paso del aire, y ésto unido a la gran vascularización de la mucosa, permite su calentamiento. El líquido que cae desde el conducto lacrimal y el moco adicional producido en los senos paranasales también contribuye al atrapamiento de partículas y a la humidificación del aire.

Cuando respiramos por la boca, estos mecanismos de filtración, calentamiento y humidificación están ausentes.

b. *Faringe*

Familiarmente la conocemos como "garganta". Es un tubo muscular que mide unos 12,5 cm de longitud en la persona adulta. Se prolonga desde la parte final de la cavidad nasal hasta el esófago y laringe, por delante de las vértebras cervicales.

Interiormente está tapizada por mucosa respiratoria, y cuenta con tres pares de *amígdalas* (faríngeas o adenoides en su parte superior, palatinas y linguales en su porción media). Las amígdalas son estructuras prominentes y redondeadas de la mucosa de la faringe y que contienen numerosos macrófagos (células fagocitarias) en su interior. Son, por tanto, "sacos filtrantes" que retienen y destruyen impurezas y microorganismos.

Podemos diferenciar tres partes en la faringe:

-*nasofaringe* o *rinofaringe*: situada entre las coanas y el paladar blando. Cuenta con un orificio a cada lado que comunica la faringe con el oído medio (conocido con el nombre de *trompa de Eustaquio*).

-*orofaringe*: a la altura de la boca (entre el paladar blando y el hueso hioides).

-*laringofaringe*: desde el hueso hioides hasta el esófago. En su parte anteroinferior comunica con la laringe, y en su parte inferior con el esófago.

La faringe es un órgano común al aparato respiratorio y al aparato digestivo, ya que por ella pasan (no simultáneamente) aire y alimentos. A su paso por ella el aire también es filtrado, humedecido y calentado.

c. *Laringe*

En su parte superior está unida a la faringe, y en su parte inferior a la tráquea. Es un órgano triangular, más corto en las mujeres, y está formado por nueve cartílagos. Entre ellos podemos nombrar el *cartílago tiroides* (en su parte anterior, sobre el cual descansa parte de la glándula del mismo nombre) y la *epiglotis*.

El *cartílago tiroides* tiene una protuberancia anterior, más prominente en los varones y más almohadillada con tejido subcutáneo en mujeres (es la familiarmente conocida "nuez").

La *epiglotis* es una membrana cartilaginosa situada transversalmente en la parte superior de la laringe, en su unión con la faringe. La epiglotis permanece abierta para permitir el paso del aire, pero cuando lo que atraviesa la faringe son alimentos (sólidos o líquidos) se cierra para evitar su caída al aparato respiratorio y facilitar su tránsito hacia el esófago (aparato digestivo).

Internamente, la laringe se encuentra tapizada por mucosa ciliada, lo que sigue siendo un mecanismo de purificación y acondicionamiento del aire. En su porción superior esta mucosa forma dos parejas de pliegues

que protuyen hacia la luz. El primer par se conoce con el nombre de *cuerdas vocales vestibulares o falsas*, y el par inferior son las denominadas *cuerdas vocales verdaderas*. Estas últimas son las responsables de la fonación, y el lugar donde se encuentran ubicadas dentro de la laringe se llama *glotis*.

La fonación tiene lugar gracias al paso del aire espirado a través de la glotis, que se estrecha y hace vibrar las cuerdas vocales.

El edema de glotis y la epiglotitis son inflamaciones que pueden obstruir parcial o totalmente la laringe, impidiendo el paso del aire. Deben ser reducidas con urgencia, pues comprometen la vida del paciente en pocos minutos (ej. shock anafiláctico por picadura de insectos o alergia medicamentosa, determinadas infecciones bacterianas,...).

B. *Vías respiratorias bajas (tracto respiratorio inferior)*

a. *Tráquea*

Es un tubo de unos 11 cm de longitud, situado delante del esófago. Se extiende desde la parte inferior de la laringe hasta los bronquios primarios. Su diámetro es de unos 2,5 cm. Su pared está formada externamente por 16-20 *semianillos* (abiertos en su parte posterior) *cartilagosos* interconectados por músculo liso. Éstos evitan el colapso de la tráquea. Internamente se encuentra revestida de epitelio ciliado. Muchas partículas que han escapado al mecanismo limpiador de nariz, faringe y laringe, son atrapadas en la tráquea y bronquios. El moco que las contiene es empujado constantemente hacia arriba por los cilios hasta la faringe, donde cada cierto tiempo es deglutido.

b. *Bronquios, bronquiolos y alveolos*

En su parte inferior, la tráquea se ramifica en dos *bronquios principales*. El bronquio derecho es algo más largo y vertical que el izquierdo. Ambos poseen la misma estructura que la tráquea (anillos semicartilagosos en su exterior y mucosa ciliada en su interior).

El bronquio derecho entra en el pulmón derecho, y el izquierdo en el del mismo lado. Dentro del pulmón, cada bronquio principal se divide en bronquios más pequeños, los *bronquios secundarios*. Éstos, además de ser más numerosos, se diferencian de los primarios en que sus anillos cartilagosos son completos. Los bronquios pueden estrecharse (*broncoconstricción*) de manera refleja cuando el aire inspirado está muy contaminado. Es un mecanismo defensivo que pretende que la mayor cantidad posible de impurezas queden adheridas al moco de sus paredes. Los fumadores compulsivos y quienes respiran con frecuencia aire contaminado pueden padecer una constricción bronquial crónica.

Los bronquios secundarios siguen ramificándose, dando lugar a *bronquios terciarios o segmentarios* y a *bronquiolos*. Éstos últimos no poseen anillos cartilagosos, su pared está constituida únicamente por músculo liso y epitelio no ciliado.

Los bronquiolos se subdividen en conductos cada vez más pequeños, hasta formar los *conductos alveolares*. Cada conducto alveolar es una rama microscópica que termina en varios *sacos alveolares*. Dentro de cada saco alveolar nos encontramos varios *alveólos*. Se estima que tenemos unos 300 millones de alveolos en los pulmones.

La pared de los alveolos es tan fina (es un epitelio de grosor mucho menor de 1 mm) que permite el paso de oxígeno y dióxido de carbono a través de ella sin ninguna dificultad. Además, está en íntimo contacto con capilares sanguíneos, lo que favorece enormemente el intercambio gaseoso entre el aire del alveolo y la sangre.

La pared alveolar está revestida de una sustancia llamada *surfactante*, encargada de reducir la tensión superficial del líquido, o fuerza de atracción entre las moléculas del agua. De ese modo evita que cada alveolo se colapse y se pegue cuando el aire entra y sale con la respiración. Así mismo, dentro de los alveólos hay numerosos macrófagos, encargados de fagocitar impurezas y microorganismos que hayan conseguido atravesar todas las barreras filtrantes de las vías respiratorias.

3.2 Anatomía del pulmón

Los pulmones son dos órganos de aspecto esponjoso formados por bronquiolos, alveólos y vasos sanguíneos, revestidos de tejido conjuntivo elástico y envueltos en una doble membrana. Se encuentran situados en la cavidad torácica, protegidos por las costillas. Se extienden desde el diafragma (músculo liso en contacto con la parte inferior de los pulmones) hasta un punto ligeramente por encima de las clavículas (vértice pulmonar). Entre ambos pulmones se encuentra la zona llamada *mediastino*, donde se aloja el corazón. Éste se encuentra ligeramente desviado hacia la izquierda, lo que explica que el pulmón izquierdo sea menor que el derecho. En el mediastino también se encuentran el esófago, la tráquea, la arteria aorta y la vena cava.

El *hilio* es la zona de cada pulmón por donde entran/salen los bronquios y los vasos sanguíneos.

Externamente, en cada pulmón se aprecian cisuras que los dividen en lóbulos. El pulmón izquierdo presenta dos lóbulos (superior e inferior) y el pulmón derecho presenta tres lóbulos (superior, medio e inferior).

Cada bronquio secundario penetra en un lóbulo (por tanto, el pulmón izquierdo tiene dos bronquios secundarios y el derecho tiene tres). Cada lóbulo, a su vez, está dividido en segmentos broncopulmonares, en los que penetra un bronquio terciario que se va ramificando hasta llegar a los alveolos (el pulmón izquierdo tiene 8 segmentos broncopulmonares y el pulmón derecho tiene 10 segmentos).

Cada pulmón está cubierto de una membrana doble denominada *pleura*. La pleura adherida al pulmón se conoce con el nombre de *pleura visceral*. La pleura más externa, la adherida al tórax, se conoce con el nombre de *pleura parietal*. Entre ambas hay una cantidad mínima pero suficiente de líquido lubricante que facilita el movimiento deslizante de los pulmones durante los movimientos respiratorios. Este espacio o cavidad pleural siempre presenta una presión negativa para evitar el colapso pulmonar (mantiene abiertos los pulmones).

4. FISIOLÓGÍA DEL APARATO RESPIRATORIO

Para que el oxígeno y el dióxido de carbono puedan intercambiarse a través de las mucosas, éstas han de estar siempre húmedas, de modo que los gases puedan disolverse en el líquido que baña a las células de estas superficies.

El organismo humano ha desarrollado adaptaciones que mantienen húmedas las mucosas respiratorias y minimizan su desecación: los pulmones tienen una ubicación profunda (lo que disminuye el riesgo de deshidratación) y el aire se humedece y calienta a la temperatura corporal a su paso por las vías respiratorias superiores, y al ser espirado debe volver a pasar por éstas (lo que permite la retención de agua) antes de salir del organismo.

Además de permanecer húmedas, las estructuras respiratorias implicadas en el intercambio gaseoso deben tener paredes delgadas (menos de 1 mm de grosor) para que la difusión de los gases ocurra con facilidad y rapidez, de lo contrario no sería suficiente para mantener la vida.

Los millones de cilios que tapizan la mucosa respiratoria de las vías respiratorias altas y de la tráquea y bronquios se mueven constantemente en una sola dirección: baten el moco (que atrapa impurezas) producido a diario hacia la faringe, donde es expulsado al exterior (ej. tos productiva) o deglutido. El humo del tabaco paraliza el movimiento ciliar y, como consecuencia, se produce una acumulación de moco que da lugar a la típica tos del fumador, un reflejo cuyo objetivo es expulsar dicho moco.

4.1 Ventilación pulmonar

La ventilación pulmonar es lo que familiarmente conocemos como respiración. Consta de dos movimientos respiratorios, la inspiración y la espiración. En ambos interviene el *diafragma*, músculo liso situado en la base de los pulmones (separa la cavidad torácica de la cavidad abdominal). Este músculo tiene forma de bóveda cuando está relajado. El sistema nervioso autónomo le da órdenes a través del nervio frénico.

A. *Inspiración.*

Es la entrada de aire desde la atmósfera hacia los alveolos. Esto tiene lugar cuando el diafragma se contrae (y, por tanto, se aplana, desciende), así como los músculos intercostales externos, lo que produce la expansión y el aumento de la cavidad torácica. En este momento, la presión intratorácica es menor que la atmosférica, por lo que el aire del medio externo tiende a entrar en las vías respiratorias espontáneamente para igualar las presiones.

B. *Espiración*

Es la salida de aire de manera pasiva desde los alveolos hacia la atmósfera. Tiene lugar cuando el diafragma se relaja (y, por tanto, se abomba y asciende, retornando a su posición inicial), así como los músculos intercostales externos, lo que produce el descenso y aplanamiento de las costillas. Esto disminuye el tamaño de la cavidad torácica, que ahora presenta una presión mayor que la atmosférica, por lo que el aire atrapado dentro tiende a salir hacia el medio externo para igualar las presiones.

4.2 Volúmenes y capacidades pulmonares

Se miden con un espirómetro y se registran en un espirograma.

A. *Volumen corriente o volumen de ventilación pulmonar*

Es el volumen de aire que se expulsa (espira) normalmente después de una inspiración. En el adulto suele ser de unos 500 ml. Coincide con el volumen de una inspiración normal.

B. *Volumen de reserva espiratoria*

Es el volumen de aire espirado de manera forzada después de haber expulsado el volumen corriente. En el adulto suele ser entre 1000-1200 ml.

C. Volumen de reserva inspiratoria

Es el volumen de aire que se puede introducir en una inspiración forzada después de haber realizado una inspiración normal. En un adulto es de unos 3300 ml.

D. Volumen residual

Cantidad de aire que siempre permanece en los pulmones después de una espiración, aún después de una espiración máxima. En el adulto suele ser de unos 1200 ml. Entre la inspiración y la espiración tiene lugar el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el aire residual de los alveolos y la sangre de los capilares adyacentes.

E. Espacio muerto

Es el aire que queda atrapado en las vías respiratorias no alveolares entre la inspiración y la espiración y que, por tanto, no contribuye al intercambio gaseoso.

F. Capacidad vital

Suma del volumen corriente, volumen de reserva espiratoria y volumen de reserva inspiratoria. Representa el mayor volumen de aire que una persona puede movilizar dentro y fuera de los pulmones. Se calcula midiendo la mayor espiración posible tras la mayor inspiración posible. Suele rondar los 4500-5000 ml.

G. Capacidad inspiratoria

Es la suma del volumen corriente y el volumen de reserva inspiratoria (máxima capacidad de aire que una persona puede inspirar tras una espiración normal). Se encuentra en torno a los 3500-3800 ml.

H. Capacidad residual funcional

Cantidad de aire que se retiene en los pulmones después de una espiración normal (volumen de reserva espiratorio sumado al volumen residual). Es de unos 2200-2400 ml.

I. Capacidad pulmonar total

Es el volumen total de aire que un pulmón puede contener. Es la suma del volumen corriente, el volumen de reserva inspiratoria, el volumen de reserva espiratoria y el volumen residual. Suele ser de 5700-6200 ml.

4.3 Intercambio gaseoso en los pulmones

El oxígeno contenido en el aire residual de los alveolos atraviesa la pared de éstos hasta llegar a la sangre de los capilares adyacentes. Esto ocurre porque la presión parcial de oxígeno en el aire alveolar (PO_2 100 mm Hg) es mayor que la de los capilares desoxigenados (PO_2 40 mm Hg), por lo que este gas difunde de donde está más concentrado a donde está menos, intentando igualar las presiones a ambos lados (en el alveolo se mantiene la PO_2 a 100 mm Hg de manera más o menos constante, por lo que no cesará de pasar oxígeno a la sangre hasta que ésta adquiera también una PO_2 de 100).

Lo mismo sucede con el dióxido de carbono, pero en sentido inverso: la presión de dióxido de carbono en los capilares desoxigenados (PCO_2 46 mm Hg) es mayor que la del aire alveolar (PCO_2 40 mm Hg), por lo que este gas sale de la sangre y penetra en el aire alveolar (y, como ocurre con el oxígeno, la PCO_2 en el alveolo se mantiene más o menos constante en un valor de 40 mm Hg, por lo que no cesará de salir dióxido de carbono de los capilares hasta que la sangre de éstos también alcance los 40 mm Hg).

De este modo, la sangre pobre en oxígeno se oxigena a su paso por los pulmones, eliminando además el exceso de dióxido de carbono.

4.4 Transporte sanguíneo de los gases

Dado que la mayoría de nuestros miles de millones de células están demasiado alejadas del aire para intercambiar los gases directamente con él, nuestro organismo necesita de un medio de transporte en continuo funcionamiento que llegue hasta todas ellas: el aparato circulatorio. Él es el encargado de recoger el oxígeno en los alveolos y llevárselo a todas las células del organismo (el cuerpo humano en reposo consume unos 250 ml de oxígeno por minuto, cantidad que aumenta 10-15 veces durante el ejercicio); así mismo recoge el dióxido de carbono desechado por éstas y lo lleva de nuevo a los alveolos para su eliminación mediante la espiración.

A. *Transporte del oxígeno*

El oxígeno tomado de los alveolos pulmonares es llevado por los glóbulos rojos de la sangre hasta el corazón, y desde allí es distribuido por las arterias y capilares a todas las células del organismo.

La sangre humana, concretamente en sus glóbulos rojos o hematíes, contiene un pigmento especial que se combina reversiblemente con el oxígeno e incrementa en gran medida su capacidad de transporte: la

hemoglobina. Esta proteína de los eritrocitos se une fácilmente al oxígeno, aumentando unas 75 veces la capacidad sanguínea para transportarlo. Así pues, la cantidad exacta de oxígeno en sangre depende de la cantidad de hemoglobina que ésta contenga, pues la mayor parte de este gas va unido a ella en forma de *oxihemoglobina*, siendo muy poca la cantidad de oxígeno que va disuelta en el plasma: en 100 ml de sangre oxigenada, unos 20 ml de oxígeno van unidos a la hemoglobina y tan sólo 0,3 ml van disueltos en plasma.

La hemoglobina consta de una ferroporfirina (que contiene hierro), también llamada grupo hem (o hemo), unida a una proteína llamada globina. Cuando está combinada con oxígeno adquiere un color rojo brillante; sin oxígeno, su color se torna rojo oscuro, lo que confiere a la sangre un color purpúreo (esto explica porqué la denominada sangre "venosa", pobre en oxígeno, es más oscura que la sangre "arterial", rica en oxígeno).

La afinidad o capacidad de unión del oxígeno por la hemoglobina es directamente proporcional a su concentración sanguínea (y esta, a su vez, es directamente proporcional a la presión parcial de oxígeno atmosférico): a mayor cantidad de O_2 en sangre, mayor unión de éste a la hemoglobina. Y a la inversa, a menor cantidad de O_2 en sangre, éste se va disociando y separando de la hemoglobina. *A la afinidad del oxígeno por la hemoglobina se le denomina saturación de oxígeno*. La saturación media de este gas en sangre oxigenada se sitúa entre el 97-100%. Una persona pierde la consciencia cuando la saturación arterial de oxígeno desciende a 40-50 %.

La hemoglobina también pierde afinidad por el oxígeno y, por tanto, se libera de él, si la PCO_2 sanguínea aumenta, con la elevación de la temperatura corporal (ej. fiebre) y con la disminución del pH sanguíneo (acidez). Por el contrario, la hemoglobina cede menos oxígeno (gana afinidad) si la PCO_2 sanguínea disminuye, con el descenso de la temperatura corporal y con el aumento del pH sanguíneo (alcalosis).

B. Transporte del dióxido de carbono

El dióxido de carbono originado en la respiración celular de todos los tejidos del organismo es recogido por la sangre y transportado por las venas hasta el corazón, y desde allí es llevado a los pulmones para ser arrojado al exterior.

El 10% de este gas va *disuelto en el plasma sanguíneo*. Un 20% del mismo va unido a la hemoglobina de los hematíes, formando lo que denominamos *carboxihemoglobina*. Pero el 70% del dióxido de carbono usa otro mecanismo de transporte: formando *iones de bicarbonato* plasmáticos.

Por reacciones químicas cuya explicación excede los objetivos de este tema, tanto la formación de carboxihemoglobina como la formación de iones bicarbonato libera a la circulación sanguínea iones hidrógeno, que disminuyen el pH, haciendo más ácida la sangre. Recordemos brevemente que el pH sanguíneo debe oscilar entre 7,35 y 7,45, y la disminución por debajo de estos límites puede ser letal.

4.5 Intercambio gaseoso en los tejidos

Cuando la sangre atraviesa los capilares que abastecen a las distintas células del organismo se produce el intercambio gaseoso entre éstas y la sangre capilar.

El mecanismo es el que ya conocemos: la sangre capilar llega oxigenada, lo que contrasta con la poca concentración de oxígeno en el líquido intersticial e intracelular (consumido por la actividad de la propia célula). Así pues, esta diferencia de concentraciones favorece la disociación del oxígeno de la hemoglobina, que difunde hacia la célula para igualar ambas presiones. Consecuentemente, la PO_2 sanguínea va disminuyendo a la vez que aumenta la PO_2 celular. De este modo, la saturación de oxígeno que era de un 97%-100% en sangre arterial pasa a ser de un 75% (con una PO_2 plasmática de 40 mm Hg) tras abastecer a los tejidos.

Con el dióxido de carbono sucede lo mismo, pero a la inversa: las células y su líquido circundante (líquido intersticial) tienen una concentración de CO_2 mayor que la sanguínea (producto de desecho del metabolismo celular), por lo que este gas difunde desde los tejidos hacia la sangre para igualar la diferencia de presiones. De este modo, la PCO_2 que era de un 40 % en sangre arterial pasa a ser de un 46% tras recoger el exceso de los tejidos.

Esta sangre, ahora rica en dióxido de carbono y pobre en oxígeno, debe circular hasta los alveolos para eliminar allí el exceso de CO_2 y aumentar su concentración de O_2 .

4.6 Regulación de la respiración

A. Centros de control respiratorio

Son los encargados de mantener unos niveles de PO_2 y PCO_2 relativamente constantes en sangre. Su forma de actuar es regulando la ventilación pulmonar, determinada por la frecuencia y la profundidad de la respiración.

La sobredosis de determinados fármacos como los opiáceos (ej. morfina) o los barbitúricos deprime los centros respiratorios, provocando hipoventilación e incluso parada respiratoria.

Los centros de control autónomo (involuntario) de la respiración están ubicados dentro del encéfalo, concretamente en el *tronco encefálico*:

a. *Bulbo raquídeo*

En él se encuentra el área de *ritmicidad bulbar*, integrada por dos centros de control interconectados, el *centro inspiratorio* y el *centro espiratorio*. El primero es el marcapasos que actúa rítmicamente sobre el diafragma, provocando su contracción, para estimular la inspiración. Dado que la espiración normal es un acto pasivo, el centro espiratorio sólo actúa cuando se pretende hacer una espiración forzada.

b. *Protuberancia*

En ella se encuentran el *centro apnéustico* y el *centro neumotáxico*. El primero se encarga de estimular al centro inspiratorio del bulbo para que este provoque inspiraciones más largas y profundas. El segundo inhibe al centro inspiratorio del bulbo y al centro apnéustico para evitar la hiperinsuflación pulmonar y asegurar así un ritmo normal de ventilación.

B. *Factores que influyen en la respiración*

a. *Presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial*

El bulbo raquídeo tiene unos *quimiorreceptores centrales* (receptores nerviosos especializados y sensibles a sustancias químicas) que detectan eficazmente el aumento de la PCO_2 y de la acidez sanguínea (a mayor concentración de dióxido de carbono, mayor suele ser la concentración de iones hidrógeno y, por tanto, el pH desciende y se torna más ácido). Así mismo, el sistema nervioso cuenta con otros *quimiorreceptores periféricos* situados en la arteria aorta y en las arterias carótidas. Cuando estos receptores nerviosos detectan un aumento de la PCO_2 por encima de valores normales (más de 40 mm Hg) o un ligero descenso de pH sanguíneo, estimulan al área de ritmicidad del bulbo raquídeo, que aumenta la frecuencia respiratoria.

El descenso de la PCO_2 provoca, mediante el mismo mecanismo, una disminución de la frecuencia respiratoria.

b. *Presión parcial de oxígeno en sangre arterial*

Un descenso por debajo de 70 mm Hg de la PO_2 también estimula a los quimiorreceptores periféricos para que estos avisen al centro inspiratorio del bulbo raquídeo. No obstante, si la PO_2 es demasiado baja, la hipoxia termina provocando inhibición o depresión neuronal, impidiendo el control nervioso de la respiración y haciendo que el organismo entre en

parada respiratoria (ni siquiera el incremento simultáneo de la PCO_2 puede estimular el centro inspiratorio si las neuronas se encuentran sin oxígeno).

Los niveles bajos de PO_2 , pero que se sitúen por encima de los 70 mm Hg no son detectados por los quimiorreceptores.

c. Reflejo de Hering-Breuer

Cuando inspiramos el volumen corriente de aire, los pulmones se expanden lo suficiente como para estimular los receptores de estiramiento localizados dentro de los mismos. Estos receptores envían impulsos inhibitorios al centro inspiratorio del bulbo, lo que relaja los músculos inspiratorios y produce la espiración. Cuando el volumen corriente de aire ha sido espirado, los pulmones están lo suficientemente desinflados como para inhibir los receptores de estiramiento y permitir que la inspiración comience de nuevo.

d. La corteza cerebral

La corteza cerebral es la parte del sistema nervioso central que coordina y ordena los movimientos musculares voluntarios. En cuanto a la respiración, nosotros podemos modificar su frecuencia y profundidad voluntariamente dentro de unos límites. Ej. podemos realizar respiraciones lentas y diafragmáticas como método de relajación, podemos detener la respiración para bucear,...

El cese voluntario de la respiración sólo es posible mantenerlo durante escasos minutos. Esto se debe a que al no respirar la PCO_2 aumenta en sangre, estimulando al centro inspiratorio del bulbo (centro regulado por el sistema nervioso autónomo y que, por tanto, escapa a nuestra voluntad), que manda impulsos motores a los músculos respiratorios de manera refleja.

e. Otros estímulos que influyen en la respiración.

-La *estimulación dolorosa repentina* provoca apnea refleja. Si continúa es estímulo doloroso, se produce hiperventilación.

-El *estímulo frío repentino* percibido por los receptores cutáneos provoca apnea refleja.

-El *estímulo de la faringe o laringe por irritantes químicos o por contacto físico* causa apnea temporal.

4.7 Reflejos del aparato respiratorio

A. Tos

Cuando algún cuerpo extraño obstruye parcialmente la tráquea o los bronquios, la epiglotis y la glotis se cierran de manera refleja. Esto,

unido a la contracción de los músculos respiratorios, provoca un aumento de la presión del aire pulmonar. Entonces la epiglotis y la glotis se abren de repente, por lo que este aire atrapado a gran presión sale bruscamente como un estallido hacia arriba, arrastrando los cuerpos extraños.

a. *Tos productiva*

Es aquella que va acompañada de expectoración (secreciones traqueobronquiales o *esputo*). Es bastante frecuente en los pacientes con bronquitis crónica (la mayoría fumadores de larga evolución).

En ocasiones el esputo es sanguinolento (*hemoptisis*), lo que puede ser indicativo de infección pulmonar (ej. tuberculosis).

b. *Tos seca*

No contiene esputo. Ej. inflamación de las vías respiratorias altas.

B. *Estornudo*

Tiene lugar cuando algún cuerpo extraño o partícula llega a la cavidad nasal. En este caso el estallido de aire se provoca en la nariz y boca, expulsando al exterior el cuerpo extraño.

C. *Hipo*

Son contracciones espasmódicas del diafragma. Cuando tienen lugar, generalmente al principio de la inspiración, la glotis se cierra de repente, produciendo el característico sonido. Suele durar pocos minutos y no tener mayor relevancia.

D. *Bostezo*

Es una inspiración lenta y profunda a través de la boca, abierta más de lo normal. Aunque existen diversas hipótesis acerca de su importancia fisiológica y de su etiología, la realidad es que el mecanismo del bostezo aún nos es desconocido.

4.8 Tipos de respiración

A. *Eupnea*

Respiración normal en reposo. En el adulto, equivale a un ritmo de ventilación de 12-20 respiraciones por minuto.

B. *Taquipnea*

Frecuencia respiratoria mayor de 20 rpm en un adulto. Aparece en caso de fiebre, neumonía, septicemia,...

C. *Bradipnea*

Frecuencia respiratoria menor de 12 rpm en un adulto. Se puede deber a una lesión del sistema nervioso, a sobredosis de algunos fármacos (ej. morfina),...

D. *Hiperpnea*

Respiración profunda en la que se ve aumentado el volumen corriente, acompañado o no de aumento de la frecuencia respiratoria. Ej. durante el ejercicio.

E. *Hiperventilación*

Respiraciones profundas (hiperpnea) y rápidas (taquipnea). Se puede deber a un gran esfuerzo físico, o a una crisis de ansiedad.

La hiperventilación hace que el paciente elimine demasiado CO₂ en poco tiempo, pudiendo acabar inconsciente. Esto se debe a que el organismo necesita un mínimo de dióxido de carbono para que el centro vasomotor encefálico mantenga la presión arterial. Ej. señora con ataque de ansiedad que comienza a marearse por culpa de la hiperventilación y la dan una bolsita para que respire dentro.

F. *Hipoventilación*

Respiraciones superficiales y lentas (bradipnea). Reduce la ventilación pulmonar y, por tanto, el intercambio gaseoso. Ej. sobredosis de morfina

G. *Disnea*

Respiración dificultosa (en algunos sujetos se aprecia cómo usan músculos accesorios del pecho y cuello para intentar inspirar), que suele ir acompañada de hipoventilación. Si la disnea es muy grave el paciente necesitará oxigenoterapia.

Ej. pacientes con neumonía, con EPOC,...

H. *Ortopnea*

Disnea en decúbito. Es típica de pacientes con alteraciones cardíacas. Estos pacientes necesitan estar semisentados para respirar bien (posición de Fowler), e incluso utilizan varias almohadas para dormir.

I. *Apnea*

Cese de la respiración (temporal o definitiva). Ej. durante el buceo, al tragar, parada respiratoria.

J. *Respiración de Cheyne-Stokes*

Son ciclos de hiperventilación (al principio con un incremento progresivo del volumen corriente y después con un descenso progresivo del mismo) alternos con apnea. Se da con frecuencia en pacientes terminales o con lesión cerebral.

K. *Respiración de Biot*

Son ciclos de boqueo profundo alternos con apnea, típico en pacientes con hipertensión craneal.

5. PATOLOGÍA RESPIRATORIA

Rinitis: inflamación de la mucosa de la cavidad nasal. Esta irritación fomenta la formación de mucho moco, así como el reflejo de estornudo. Sus causas pueden ser varias (virus, sustancias irritantes, alergia al polen,...). Ej. catarro común.

Faringitis: inflamación de la faringe. Cursa con eritema y generalmente dolor de garganta. Su causa más común es infecciosa (virus, bacterias), aunque también puede deberse a agentes irritantes (bebida fría, aire acondicionado, humo del tabaco,...). Entre las causas bacterianas, la más frecuente es la producida por el estreptococo hemolítico tipo A, microorganismo de la flora faríngea en algunas personas.

Amigdalitis: inflamación de las amígdalas. Normalmente nos referimos a la inflamación de las amígdalas palatinas (las únicas visibles a la altura de la orofaringe). La inflamación de éstas es conocida familiarmente como "anginas". Cursa con disfagia (dificultad y dolor al deglutir). Su extirpación (amigdalectomía) sólo es conveniente si es recurrente. La inflamación de las amígdalas adenoides (adenoiditis) obstruye el paso del aire desde la cavidad nasal hacia la faringe, por lo que el paciente ha de respirar por la boca (familiarmente se conocen como "vegetaciones").

Laringitis: inflamación de la mucosa de la laringe. Aparece edema de las cuerdas vocales, lo que provoca ronquera y afonía. Su causa puede ser infecciosa, por inhalación de agentes irritantes, debido a intubación endotraqueal, al abuso de las cuerdas vocales (orador, cantante), por la ingesta de alcohol,...

Cáncer de laringe: su causa más frecuente es el tabaquismo y el alcohol. Cursa con disfonía, dolor faríngeo, disnea, disfagia, halitosis,... En algunas ocasiones hay que recurrir a una laringectomía total (extirpación completa de la laringe), por lo que el paciente precisará de una traqueotomía permanente para evitar la broncoaspiración.

Sinusitis: inflamación de los senos paranasales. Su causa suele ser bacteriana, a partir de una infección odontológica o de las vías respiratorias superiores. Puede complicarse a meningitis, absceso cerebral y osteomielitis craneal.

Cualquier infección respiratoria del tracto superior puede extenderse a estructuras adyacentes con las que está comunicado, causando sinusitis y otitis media.

Epistaxis: no es una patología en sí, sino un signo. Se trata de una hemorragia nasal, la mayoría de las veces sin repercusión clínica. Su etiología es diversa (sonarse fuerte la nariz, traumatismo nasal, hipertensión arterial, calor ambiental,...). Si con la compresión digital externa sobre el punto sangrante no se detiene, podemos poner frío local. Si tampoco cede, la D.U.E. introducirá en la cavidad nasal afectada una gasa alargada, dejando la punta fuera de las narinas.

Neumonía: infección de las vías aéreas pulmonares. La mucosa segrega abundante exudado debido a la inflamación, lo que taponan los alveolos y bronquios. El paciente presenta fiebre alta, escalofríos, cefalea, tos, dolor torácico y, a veces, hemoptisis y esputo purulento. Los microorganismos causantes pueden ser diversos (bacterias, virus, e incluso hongos); en muchas ocasiones son gérmenes que forman parte de la flora comensal de las vías respiratorias altas del sujeto, y que al descender a las vías bajas se comportan como patógenos oportunistas. Otras causas son por diseminación sanguínea (septicemia) o por contagio desde un reservorio.

Tuberculosis: infección bacteriana crónica causada por *Mycobacterium tuberculosis*, también conocido como el bacilo de Koch. Se transmite fácilmente por vía aérea. Los bacilos tuberculosos que anidan en los pulmones crean en torno a ellos áreas de inflamación tumorales denominadas tuberculomas. Si mucho tejido queda infectado y dañado, se forman cicatrices que disminuyen el área respiratoria funcional. El paciente presenta tos (al principio puede no ser productiva, aunque sí suele aparecer hemoptisis), astenia, dolor torácico, pérdida de peso, fiebre y disnea. La tuberculosis puede afectar también al tejido linfático, óseo y genitourinario. Salvo en los grupos de riesgo (niños, ancianos, inmunodeprimidos), actualmente tiene cura si se sigue estrictamente el tratamiento. Se diagnostica mediante la prueba de la tuberculina o prueba del Mantoux y radiografía de tórax.

Cáncer de pulmón: proliferación maligna de células pulmonares anómalas, que pueden extenderse a otros órganos (metástasis). En el pulmón dificulta claramente el intercambio gaseoso. La causa más

común es el tabaquismo (activo y pasivo). Se ha demostrado que más de 40 de los compuestos del alquitrán del humo del tabaco causan cáncer (alteran el ADN de las células pulmonares, convirtiéndolas en células cancerígenas que se multiplican y metastatizan con rapidez).

Asma: el músculo liso de los bronquios sufre espasmos que estrechan la luz bronquial, obstruyendo el flujo aéreo. Esta obstrucción se ve agravada por la inflamación de la mucosa bronquial, que conlleva edema y excesiva producción de moco. Hay personas que presentan asma de manera aguda, sólo cuando se exponen a algún producto alergénico o irritante. Sin embargo, muchos pacientes padecen asma crónica, aunque sólo sufren crisis asmáticas bajo determinadas circunstancias, alternadas con periodos de absoluta normalidad respiratoria. Estas crisis o ataques asmáticos en pacientes crónicos pueden desencadenarse por el estrés, el ejercicio excesivo, por infecciones o, al igual que en los pacientes con asma aguda, por exposición a productos alergénicos o irritantes (humo del tabaco, polvo,...). Uno de sus signos característicos es la presencia de sibilancias ("pitos"), debidas a la broncoconstricción, y que en ocasiones pueden oírse incluso sin fonendoscopio.

Enfisema pulmonar: enfermedad crónica y progresiva en la que las paredes alveolares se distienden y no retornan a su tamaño inicial, es decir, pierden elasticidad. Esto es debido a la destrucción de tejido conjuntivo pulmonar. La espiración, por tanto, es más costosa y menos efectiva, dando lugar a un aumento del volumen residual. Consecuentemente, disminuye el intercambio gaseoso. Sus causas principales son el tabaquismo y la genética. El paciente padece disnea progresiva, precisando oxigenoterapia incluso las 24 horas del día según avanza la enfermedad. En última instancia será candidato al trasplante de pulmón.

Bronquitis: inflamación de la mucosa bronquial, que da lugar a un exceso de secreciones traqueobronquiales que obstruyen el flujo aéreo. Esto disminuye el intercambio gaseoso y, por tanto, provoca hipoxia tisular (en los tejidos). Puede ser aguda o crónica. La aguda suele deberse a infecciones que se extienden desde las vías respiratorias superiores. La crónica está principalmente relacionada con el tabaquismo. En este último caso se ve agravada, además, por la destrucción de los cilios debida al humo de tabaco, lo que provoca una mayor acumulación de moco y, por tanto, mayor obstrucción al paso del aire.

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC): son todas aquellas enfermedades pulmonares de carácter crónico y que se caracterizan por una obstrucción al flujo aéreo. Los pacientes con EPOC suelen presentar tos productiva (con esputo) e intolerancia al ejercicio (disnea

de esfuerzo). Aunque no tienen cura, el tratamiento sintomático puede mejorar la calidad de vida del paciente (es muy utilizada la medicación broncodilatadora y los corticoides). Las enfermedades englobadas en el EPOC son el asma crónica, el enfisema pulmonar y la bronquitis crónica (comentadas anteriormente).

Neumotórax: es la acumulación de aire en la cavidad pleural, bien por la rotura de la pleura visceral (ej. debida a enfisema pulmonar) o bien por la rotura de la pleura parietal (ej. debida a introducción de un objeto punzante en el tórax, a un error durante la canalización de una vía venosa central en la vena subclavia). Algunos incluso son de causa desconocida. En cualquier caso, este aire expande la cavidad pleural, comprimiendo y colapsando al pulmón que envuelve. Esto causa alteraciones respiratorias importantes, que incluso pueden comprometer la vida del paciente.

Atelectasia: colapso alveolar provocado por hipoventilación mantenida, obstrucción de las vías respiratorias, ventilación mecánica,...

6. CONCLUSIONES

El cuerpo necesita un aporte energético para poder realizar los distintos procesos vitales (ej. para mantener constante la temperatura corporal). Esta energía está contenida en los alimentos, pero nuestro organismo no puede utilizarla directamente, sino que primero ha de liberarla de los nutrientes. Este proceso de liberación se lleva a cabo mediante un conjunto de reacciones metabólicas que tienen lugar en todas las células del cuerpo humano. Son reacciones enzimáticas de oxidación de los alimentos, para cuya realización es imprescindible el oxígeno. Gracias a este procedimiento de respiración interna, que tiene lugar en las mitocondrias celulares, cada célula obtiene energía útil para ser utilizada. Pero al mismo tiempo que se libera energía, en la respiración celular se desprende dióxido de carbono (y agua). El exceso de este gas en el organismo puede ser peligroso e incluso letal, por lo que debe ser eliminado del cuerpo. De esta tarea se encargan el sistema cardiovascular y el aparato respiratorio.

Por otro lado, como el oxígeno sólo puede almacenarse en pequeñas cantidades (principalmente en la hemoglobina sanguínea y en la mioglobina muscular) y su combustión celular es muy rápida (nuestras células gastan 250 ml de oxígeno por minuto en reposo), es preciso contar con un mecanismo de abastecimiento continuo (recordemos que tan sólo 4 minutos sin oxígeno son suficientes para provocar la muerte de células nerviosas y acabar con nuestra vida). De este abastecimiento ininterrumpido también se encargan el sistema cardiovascular y el aparato respiratorio.

Así pues, los mecanismos específicos que participan en la función respiratoria muestran que existe una interdependencia entre los sistemas del organismo: sin la sangre y el mantenimiento de la circulación sanguínea por el sistema cardiovascular, los gases sanguíneos (el O₂ y el CO₂) no podrían ser transportados hasta y desde los tejidos. Sin la regulación del sistema nervioso, la ventilación no podría ajustarse para compensar los cambios en el contenido de oxígeno y de dióxido de carbono plasmáticos. Sin los músculos torácicos y el diafragma, no se podría expandir el tórax y provocar la inspiración. *Ningún aparato o sistema de nuestro organismo funciona por sí sólo.*

Dentro de este trabajo coordinado, el papel del aparato respiratorio es fundamental: sin él no podríamos tomar y trasladar el oxígeno del medio ambiente al interior de nuestro organismo, así como tampoco podríamos traspasar el exceso de dióxido de carbono corporal al exterior. En definitiva, sin la respiración pulmonar llevada a cabo por el aparato respiratorio no sería posible la respiración celular, base del funcionamiento de todo nuestro organismo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- “Anatomía y fisiología” Gary A. Thibodeau, Kevin T. Patton. Ediciones Harcourt, S.A. Año 2000.
- “Biología” Eldra Peral Solomon, Linda R. Berg, Diana W. Martin. McGraw-Hill Interamericana Editores S. A. Año 2001. Quinta edición.
- “Auxiliar de enfermería. Técnicas básicas de enfermería. Higiene del medio hospitalario y limpieza de material”. Evangelina Pérez, Ana María Fernández. McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U. Año 2000
- “Enfermería medico-quirúrgica” Brunner y Suddarth. Suzanne C. Smeltzer, Brenda G. Bare. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. Año 2002. Novena edición.
- “Diccionario Mosby” Medicina, enfermería y ciencias de la salud. Quinta edición. Ediciones Harcourt, S.A. Año 2000