

IV.- ANATOMIA Y FISIOLOGIA DEL APARATO RESPIRATORIO

El aparato respiratorio está encargado de captar y transferir el oxígeno de la atmósfera a los tejidos y de eliminar al exterior el anhídrido carbónico procedente del metabolismo de la célula. Junto con el anhídrido carbónico, en la espiración se pierde una cierta cantidad de vapor de agua que se estima en 500 cc diarios.

Existen, por tanto, dos fases en el intercambio gaseoso: una externa, a nivel del alvéolo pulmonar, otra interna, a nivel del capilar sanguíneo. Entre ambas, se encuentra el sistema vascular, mantenedor de una eficiente circulación, y la sangre, portadora de los gases. Este es un ejemplo más de las interrelaciones funcionales en el organismo, ya que, si bien la respiración externa es mera función de los pulmones, la interna depende por completo del flujo sanguíneo de los capilares.

El aparato respiratorio está integrado por las vías aéreas y los pulmones. En las vías aéreas distinguimos las fosas nasales, la nasofaringe, la laringe, la tráquea y los bronquios.

FOSAS NASALES.- Son dos cavidades anfractuosas situadas en el centro de la cara, entre la boca y las fosas orbitarias. Se consideran en ellas cuatro paredes, superior, inferior, interior y externa, y dos orificios, anterior y posterior.

La pared inferior, o suelo de las fosas nasales,

está formada por las apófisis horizontales o palatinas del maxilar superior y la porción horizontal del palatino.

La pared superior, o techo, está formada, de delante hacia atrás, por los nasales, la lámina cribosa del etmoides y las caras anterior e inferior del cuerpo del esfenoides.

La pared interna es común a ambas fosas. Está constituida por un tabique osteocartilaginoso en cuya formación intervienen el vómer en su parte posteroinferior, la lámina vertical del etmoides en su porción anterosuperior y el cartilago de la nariz en su parte anteroinferior.

La pared externa es la de composición más compleja. Está formada por el maxilar superior, la masa lateral del etmoides, el unguis y la porción vertical del palatino. Sobre el maxilar se inserta el cornete o concha inferior. Los cornetes superior y medio, situados por encima, forman parte del etmoides. En la concavidad de los cornetes se encuentran los meatos. El meato superior se halla entre el cornete superior y el medio y en él se abren algunas celdillas etmoidales. En el meato inferior aboca el conducto lacrimonasal que conduce las lágrimas desde el saco conjuntival hasta la nariz.

El orificio anterior lo constituyen el hueso

nasal, el maxilar superior y los cartilagos correspondientes. El orificio posterior o coana está formado por el palatino (paredes externa e inferior), por el vómer (pared interna) y por el esfenoides (pared superior). Constituye la entrada a la nasofaringe.

Las fosas nasales se encuentran tapizadas por una mucosa que se conoce con el nombre de pituitaria. Debido a su gran vascularización se denomina pituitaria roja en oposición a una pequeña porción situada en el techo, más pálida, destinada específicamente a captar los estímulos olfativos, que se llama pituitaria amarilla. La mucosa está formada por un epitelio ciliar entre cuyas células se encuentran elementos caliciformes, mucosecretorios. El epitelio es rico en terminaciones sensitivas.

La riqueza vascular de la mucosa está en relación con su función de calentar y humedecer el aire antes de que pase a las vías aéreas bajas y a los pulmones. Las pestañas vibrátiles y el moco se ocupan de retener y expulsar las partículas extrañas que ingresan con el aire inspirado; actúan pues de filtro.

La sensibilidad de la mucosa nasal ocasiona el estornudo cuando es estimulada por cuerpos extraños o simplemente por congestión, con el fin de expulsar las partículas irritantes.

El aire inspirado por las fosas nasales ventila también los senos de la cara. Además de calentar y

humedecer el aire, los senos faciales ejercen el papel de caja de resonancia de la voz, propio de las fosas nasales. NASOFARINGE: Constituye la parte más alta de la faringe, la propiamente respiratoria. Se inserta en la base del cráneo, inmediatamente por detrás de las coanas y delante de la columna vertebral. Se continúa hacia abajo con la orofaringe, de la que le separa el velo del paladar. En las paredes laterales de la misma se encuentran los orificios de las trompas de Eustaquio, conducto mitad óseo mitad cartilaginosa que comunica la faringe con la caja del tímpano. Por detrás de estos orificios se encuentra un depósito de tejido linfático, la amígdala nasal, cuya hipertrofia constituyen las adenoides.

LARINGE: Es un órgano musculocartilaginoso. Tiene forma de pirámide triangular de base superior. Sus bordes son uno anterior y dos laterales.

Está situada en la línea media, por delante de la columna vertebral (4a., 5a. y 6a. vértebras cervicales) y del esófago y comprendida entre la faringe y la tráquea.

Posee una gran movilidad vertical, transversal y anteposterior.

En su interior se observa una estrechez, la glotis, que la divide en dos regiones supraglótica y subglótica. La glotis está formada por cuatro relieves

intralaringeos o cuerdas vocales, de dirección anteposterior, dos a cada lado. Las superiores son falsas porque no intervienen en la fonación, las inferiores son las cuerdas vocales verdaderas. La cavidad que queda entre ambas cuerdas se le conoce con el nombre del ventrículo de Morgagni.

La laringe es pequeña en el niño. Al llegar a la pubertad experimenta un gran desarrollo, mucho mayor en el hombre que en la mujer.

Está formada por nueve cartilagos: tres pares y tres impares. Los impares son el tiroides, el cricoides y la epiglotis. Los pares, los aritenoides, los cartilagos de Santorini y los de Wisberg.

El cartilago tiroides, el mayor de ellos, está formado por dos láminas laterales unidas en la línea media, formando un ángulo diedro abierto hacia atrás y que se conoce con el nombre de nuez o bocado de Adán. En los bordes laterales forma dos astas, mayor y menor.

El cartilago cricoides está situado debajo del anterior constituye la parte inferior de la laringe que la une a la tráquea. Tiene forma de anillo de sello con su porción plana en la cara posterior.

Los aritenoides son dos pequeños cartilagos situados en la cara superior de la porción ensanchada del cricoides. Tienen la forma de pirámide y en ellos se insertan los extremos posteriores de las cuerdas vocales. Los extremos anteriores lo hacen en la cara

posterior del cartilago tiroides. La tensión de las cuerdas varia por la acción de los músculos que rotan los cartilagos aritenoides. En el vértice de estos cartilagos se disponen los cartilagos de Santorini o corniculados, del tamaño de un grano de mijo.

La epiglotis tiene la forma de una lengüeta y está constituida por cartilago elástico, amarillo. Está situada entre la base de la lengua y el orificio superior de la laringe. Su base o pedículo está unida al cartilago tiroides por un ligamento. La función principal de la epiglotis es la de cerrar la entrada a las vías respiratorias en el momento de la deglución.

Los cartilagos de la laringe están unidos entre si por ligamentos y músculos. Estos son : los cricotiroides, los cricoaritenoides laterales, los tiroaritenoides, los aritenoepiglóticos, el cricoaritenoides posterior y el interaritenoides.

Interiormente, la laringe está revestida por una mucosa cuyo epitelio, de tipo ciliar, es continuación del revestimiento de la faringe y de la tráquea.

Fisiología de la laringe. La función principal de la laringe es la fonación o producción de sonidos vocales.

El aparato de la fonación está constituido por un fuelle, representado por la caja torácica con sus músculos, los pulmones y los bronquios, el órgano

vibratorio o cuerdas vocales de la laringe y la caja de resonancia integrada por las fosas nasales, cavidad bucal y senos faciales.

El tono de la voz depende de las dimensiones de la laringe, de la longitud y tensión de las cuerdas vocales. En la mujer se distinguen las voces de tiple, soprano y contralto; en el hombre, las de tenor, barítono y bajo. La intensidad de la voz depende de la fuerza con que se expulsa el aire de los pulmones, haciendo entrar en vibración a las cuerdas vocales. La calidad de una voz depende de la resonancia. La voz tiene calidad distinta según se emita por la boca o por la nariz. El velo del paladar desempeña en ella un importante papel y cuando su función valvular no es completa se produce el escape de aire hacia las fosas nasales (fisura palatina, parálisis del velo del paladar) adquiriendo la voz timbre nasal. En el arte del canto se hace uso de todas las variaciones de calidad de la voz.

La lengua, los labios y los movimientos de la mandíbula producen los sonidos de la palabra hablada o articulada. Existen dos tipos de sonidos en el lenguaje: 1) vocales, producidos por una vibración continua de las cuerdas vocales y manteniendo la boca abierta, 2) consonantes, en los que se interrumpe bruscamente la vibración de la cuerda. Algunos de éstos se producen principalmente por el movimiento de la lengua

contra los dientes (dentales) como en las letras -t- y -d-. Otros, con la ayuda de los labios (labiales) como en las letras -b- y -p-. Finalmente, los que se efectúan con la garganta (gutturales) como en la -g- y -j-.

El lenguaje se halla bajo el control de un centro nervioso situado en las márgenes de la cisura de Silvio.

El susurro está producido por el movimiento del aire en la boca. Las cuerdas se hallan abiertas y no vibran; dejan pasar el aire.

TRAQUEA: Es un conducto fibrocartilaginoso situado en la línea media de la parte baja del cuello y alta del tórax, continuándose por arriba con la laringe y por abajo con los bronquios. Se halla colocada por delante del esófago y detrás de la glándula tiroides.

En el tórax se encuentra por detrás de los grandes troncos vasculares: tronco venoso braquiocefálico izquierdo, tronco arterial braquiocefálico, arteria carótida izquierda y cayado de la aorta. Su cara posterior está en la relación con el esófago.

Tiene una longitud de unos 11-12 cm y una amplitud de 25 mm. Está formada por anillos cartilagosos (16-20) incompletos en la parte posterior de su circunferencia, unidos entre si por anillos membranosos.

Su revestimiento interior es de tipo ciliar.

BRONQUIOS: A nivel de la cuarta vértebra dorsal, la tráquea se divide en los dos bronquios principales, formados también por anillos cartilagosos en forma de C, de abertura posterior. Poseen, también, alguna fibra muscular lisa.

Cada uno de ellos se manifiesta en otros más pequeños hasta llegar a las últimas formaciones tubulares denominadas bronquiolos. La estructura de éstos no es cartilaginosa, sino muscular; por esto su contracción disminuye la luz y dificulta el paso del aire (asma bronquial). El epitelio es igualmente ciliar.

La bifurcación traqueal se halla en relación con el pericardio que le separa de la aurícula izquierda. Los bronquios se relacionan con la arteria pulmonar, arteria y venas bronquiales, linfáticos y ramificaciones nerviosas del vago y simpático. El bronquio izquierdo, además, tiene relación con el esófago y el cayado de la aorta. El bronquio derecho, con la vena cava superior y la vena ácigos mayor.

PULMONES: Los pulmones son los órganos donde se verifica la respiración externa. Tienen forma cónica, de base inferior y están envueltos por una membrana

serosa, la pleura. Ocupan la mayor parte de la cavidad torácica.

Los pulmones se hallan separados entre si por un espacio llamado mediastino que contiene el corazón y los grandes vasos, el esófago y la tráquea.

Cada pulmón se halla dividido por unas fisuras profundas en lóbulos. El pulmón derecho tiene tres lóbulos (superior, medio e inferior), el izquierdo, sólo dos (superior e inferior). En cada pulmón se distingue un vértice, una base, una cara externa o costal y una cara interna o mediastínica. En ésta se encuentra el hilio pulmonar, de forma de raqueta, por el que penetran el bronquio y las arterias y venas correspondientes. La cara externa se halla en contacto con la pared torácica revestida por la pleura. El vértice sobresale a cada lado del cuello por el orificio que le deja la primera costilla, detrás y encima de la clavícula. La base es cóncava y se relaciona con la cara superior del diafragma.

El elemento constitutivo del pulmón es el lobulillo pulmonar. Cada bronquiolo termina en un saco irregular formado por una serie de celdas o alvéolos. Estas celdas están tapizadas por un endotelio y rodeadas por una red de capilares arteriales y venosos, a través de cuyas paredes se efectúa el intercambio

gaseoso.

La agrupación de lobulillos con sus bronquiolos forman un lóbulo pulmonar con su correspondiente bronquio. Entre los lobulillos pulmonares se dispone un tejido conjuntivo, intersticial, portador de vasos sanguíneos y linfáticos.

La estructura del pulmón da al tacto esta consistencia blanda, esponjosa y crepitante característica. Por su contenido en aire, flota en el agua.

PLEURA: Es una membrana serosa que consta de dos hojas, una parietal y otra visceral. La hoja visceral envuelve por completo el pulmón excepto a nivel del hilio, donde se refleja sobre las estructuras que lo componen y penetran en el pulmón, para continuarse luego con la hoja parietal. Esta recubre la superficie interna de la caja torácica y la cara superior del diafragma. Las dos hojas, formadas por un endotelio, son finas y brillantes y se mantienen húmedas merced a una pequeña cantidad de líquido seroso que actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento de ambas durante los movimientos respiratorios. El espacio virtual que queda entre ellas constituye la cavidad pleural. Cuando se deposita líquido en la misma, se separan ambas hojas y la cavidad se hace real.

MOVIMIENTOS RESPIRATORIOS: La renovación de aire en los pulmones está asegurada por los movimientos de ingreso (inspiración), y de salida (expiración) del mismo. En estos movimientos, la cavidad torácica modifica sus diámetros, y el pulmón, debido a su elasticidad y a la presión negativa pleural, sigue a la pared del tórax. La expansión del pulmón origina la entrada de aire por aspiración a través de las vías aéreas superiores. En la expiración, la pared torácica retorna a su posición primitiva, y el aire es expulsado de los pulmones.

El aumento de volumen de la cavidad torácica durante la inspiración tiene lugar merced a dos movimientos: costal y diafragmático.

La contracción de los músculos intercostales externos produce: 1) la elevación del extremo anterior de las costillas, lo que origina un aumento del diámetro anteroposterior del tórax y 2) la rotación externa de las costillas sobre su eje anteroposterior, especialmente manifiesta en las costillas más inferiores, lo que se traduce en un aumento del diámetro transversal de la cavidad torácica.

En posición de reposo, el diafragma tiene forma abovedada. Cuando se contrae en la inspiración, se aplana y comprime la cavidad abdominal de arriba abajo. Con ello aumentan los diámetros vertical y transversal del tórax.

La respiración normal es una mezcla de dos movimientos, torácicos y diafragmático. En el hombre, la respiración se efectúa principalmente por los movimientos del diafragma (respiración diafragmática), mientras que en la mujer predomina los movimientos de las costillas (respiración torácica). Estos movimientos respiratorios son de gran importancia en el retorno de la sangre venosa al corazón.

En la espiración normal, el tórax vuelve a sus dimensiones primitivas. Al cesar los movimientos musculares activos de la inspiración, la elasticidad de la pared torácica y del pulmón, por un lado, y la presión ejercida por el contenido del abdomen sobre el diafragma relajado, por otro, reducen la cavidad torácica a sus diámetros de reposo.

De lo dicho hasta ahora se infiere que un movimiento respiratorio normal se compone de una inspiración activa y una espiración pasiva.

Cuando se fuerzan los movimientos respiratorios intervienen, además de los mencionados, otros músculos, llamados auxiliares. Son músculos inspiradores auxiliares los esternocleidomastoideos, los pectorales, el trapecio, los serratos, etc. Son músculos espiradores auxiliares, los de la prensa abdominal: recto anterior, oblicuos mayor y menor y transversos.

Movimientos respiratorios especiales. El estornudo y la tos están producidos por una espiración brusca y forzada, precedida de una inspiración prolongada y de un cierre de la glotis. Si el aire es expulsado por la boca, el ruido de la tos obedece al forzar la salida del aire a través de la glotis constreñida.

El suspiro y el bostezo son inspiraciones prolongadas.

El hipo es una inspiración ruidosa originada por un espasmo muscular del diafragma a intervalos irregulares. El ruido es producido por la brusca aspiración de aire a través de las cuerdas vocales.

RESPIRACION EXTERNA: Los movimientos respiratorios descritos originan la entrada de aire a los pulmones, lo que se denomina ventilación. La cantidad de aire que entra y sale en una respiración ordinaria se denomina aire corriente y mide aproximadamente unos 500 cc. Una inspiración forzada provoca la entrada de una mayor cantidad de aire que se suma a la anterior. Se le llama aire complementario y su volumen es de 1 500 cc. Después de una espiración ordinaria, la cantidad de aire que puede ser aún expelida en un esfuerzo se conoce con el nombre de aire suplementario y equivale a 1 500 cc. El que permanece siempre en los pulmones, aun después de una espiración forzada, se llama aire resi-

dual y mide 1 000 cc.

El término capacidad vital se aplica al volumen de aire que puede ser expulsado en una espiración forzada después de haber efectuado una inspiración forzada. Equivale, por tanto, a la suma de los aires complementario, suplementario o de reserva y el corriente. Se le mide mediante unos aparatos llamados espirómetros. Su determinación es usada en clínica para el conocimiento del estado funcional del aparato respiratorio.

Los actos mecánicos de la respiración mencionados se acompañan de actos fisicoquímicos que tienen lugar en el alvéolo pulmonar. El intercambio gaseoso entre el alvéolo y el capilar pulmonar constituye la respiración externa.

A nivel de los pulmones, el oxígeno atmosférico pasa, por simple difusión o diferencia de presión, al plasma sanguíneo e inmediatamente que se ha disuelto en él, la hemoglobina de los glóbulos rojos se apodera del mismo por ósmosis o diferencia de presión, transformándose en oxihemoglobina. Parte del oxígeno permanece disuelto en el plasma. La proporción entre el oxígeno combinado y el disuelto en el plasma es de 19 a 1.

La diferencia de la presión parcial del anhídrido carbónico entre la sangre y el alvéolo explica también la difusión de este gas y su eliminación por el pulmón. El anhídrido carbónico es transportado por la sangre por varios mecanismos que se estudian en la respiración

interna.

El aire atmosférico es una mezcla de gases, oxígeno, anhídrido carbónico y nitrógeno. Como resultado de los cambios gaseosos efectuados en el alvéolo, el aire espirado contiene menos oxígeno, más anhídrido carbónico y la misma proporción de nitrógeno, porque este gas no se difunde. De hecho, la diferencia en oxígeno entre el aire atmosférico y el espirado es sólo de cuatro volúmenes por cien (20-16%), en tanto que el contenido en anhídrido carbónico es 100 veces superior en el aire espirado (0,04-4%). Finalmente, el aire espirado tiene la temperatura del cuerpo y está saturado en vapor de agua.

En la respiración externa intervienen, por consiguiente, los siguientes factores:

- 1o. Presión suficiente del oxígeno en el aire alveolar.
- 2o. Integridad anatómica y funcional de la pared alveolar.
- 3o. Aporte suficiente de oxígeno, es decir, una eficaz ventilación pulmonar, representada por:
 - a) Vías aéreas libres.
 - b) Caja torácica normal.
 - c) Superficie alveolar suficientemente extensa.
 - d) Integridad del centro respiratorio.

REGULACION DE LA RESPIRACION: El número de respiraciones por minuto oscila, en un sujeto adulto y normal, entre 16 y 18. En los niños, la frecuencia es mayor, y en los lactantes alcanza hasta 40 respiraciones por minuto. El término polipnea se refiere al aumento del número de respiraciones por minuto. El de hiperpnea, a una mayor profundidad de las mismas. Apnea, al cese temporal de los movimientos respiratorios, y disnea, a la dificultad respiratoria. Hipoxia significa una concentración insuficiente de oxígeno en los tejidos, e hipercapnia, el exceso de anhídrido carbónico en la sangre. Finalmente, el término cianosis se aplica a la coloración azulada de la piel y mucosas y traduce un exceso de hemoglobina reducida, no oxigenada.

La respiración está regulada por impulsos nerviosos y por la composición química de la sangre.

Los movimientos respiratorios constituyen en realidad un acto automático, si bien su frecuencia, ritmo y profundidad pueden ser modificados por la voluntad. El centro nervioso de la respiración se halla en el bulbo raquídeo. Del centro respiratorio parten los impulsos que, conducidos hasta las astas anteriores de la médula, a niveles diferentes, son transmitidos a los nervios de los músculos respiratorios: músculos

intercostales, diafragma, del cuello de la prensa abdominal, etc.

Este centro respiratorio es especialmente sensible a los estímulos químicos. La frecuencia y la profundidad de los movimientos respiratorios se rigen por el pH de la sangre, por el contenido de anhídrido carbónico y, en menor grado, por la disminución del oxígeno en la misma.

También lo es a los estímulos presores. Cuando la presión arterial aumenta se inhibe la respiración.

Esta información es captada por los quimiorreceptores y presorreceptores situados en el seno carotídeo y en el arco aórtico y que no son más que terminaciones nerviosas especializadas.

En el ejercicio muscular, el aumento de la producción local de CO₂ produce un aumento de la tensión de este gas en la sangre y, como consecuencia, estimula el centro respiratorio para incrementar el número y la profundidad de las respiraciones. Este hecho se aprovecha en anestesia para, una vez terminado el acto quirúrgico, proceder a la eliminación del anestésico y aumentar el ingreso de oxígeno.

También alcanzan a este centro impulsos nerviosos procedentes de los órganos de los sentidos, de la corteza cerebral y del hipotálamo.

RESPIRACION INTERNA.- El intercambio de oxígeno y

anhídrido carbónico a nivel de los tejidos constituye la respiración interna.

Fundamentalmente, se basa en la diferencia de tensión de los gases a cada lado de la membrana del capilar. Cuando la sangre sale del pulmón, toda la hemoglobina, prácticamente, se halla en forma de oxihemoglobina, y el plasma, saturado en oxígeno disuelto. Cuando la sangre alcanza el capilar se produce una difusión continua de oxígeno de los eritrocitos al plasma, de éste al líquido intersticial y de éste a las células. La tensión del oxígeno, en la sangre no depende sólo de la saturación o carga absoluta de oxígeno, sino también de la reacción absoluta o pH del plasma. A igualdad de carga de oxígeno, la tensión aumenta al -acidificarse- la sangre, o mejor, al ponerse en contacto con lugares en los que se cedan ácidos a la sangre. De esta manera, la caída de tensión entre la sangre y los tejidos se hace más vertical, pasando más oxígeno por unidad de tiempo a los tejidos.

El anhídrido carbónico se produce en las células en cantidades variables según su actividad y penetra en la sangre por difusión. Parte de él permanece disuelto en el plasma, pero la casi totalidad pasa a los glóbulos rojos. En su interior puede combinarse con la hemoglobina, formando la carboxihemoglobina, o bien, merced a la anhidrasa carbónica, una enzima, forma ácido carbónico. Al aumentar la concentración de hi-

drogeniones, o sea el pH, se favorece la disociación de la oxihemoglobina con la que el oxígeno pasa a las células.

La hemoglobina reducida es un ácido más débil que la oxihemoglobina. De otro lado, el ácido carbónico formado es neutralizado por las sales potásicas de la hemoglobina. Resultado, la concentración de hidrogeniones en el eritrocito ahora desciende, con lo que se produce un aumento de los iones bicarbonato en el interior del hematíe que será cambiado por ion cloro del plasma. Por estos mecanismos citados, la sangre puede transportar grandes cantidades de anhídrido carbónico con sólo ligeros cambios en el pH de la sangre.

Con la entrada del oxígeno en la sangre a nivel del pulmón, las reacciones anteriormente mencionadas se suceden en orden inverso.

En la respiración interna intervienen, por tanto, los siguientes factores:

- 1o. Presión suficiente de oxígeno en la sangre.
- 2o. Estado de la pared capilar.
- 3o. Circulación eficaz:
 - a) volemia normal;
 - b) función cardíaca normal;
 - c) vasomotricidad normal.