

## **Tema 53. Anatomía y fisiología de los sistemas circulatorio y respiratorio humanos. Hábitos saludables. Principales enfermedades.**

3º E.S.O. Bloque 2. Tema 5: Anatomía y Fisiología humanas.  
1º Bach. Tema 8: Los procesos de nutrición en invertebrados y vertebrados.

### **53.1. Introducción. Funciones del Aparato circulatorio:**

### **53.2. Anatomía del Aparato Circulatorio Humano.**

#### **53.2.1. El Corazón**

#### **53.2.2. Las Arterias**

#### **53.2.3. Las venas**

#### **53.2.4. Los capilares**

#### **53.2.5. La circulación linfática (OPCIONAL)**

### **53.3. Fisiología del aparato circulatorio**

#### **53.3.1. Fisiología del corazón**

#### **53.3.2. La circulación arterial y venosa. Presión arterial.**

#### **53.3.3. Regulación de la circulación de la sangre.**

#### **53.3.4. Trastornos del aparato circulatorio**

### **53.4. Concepto de respiración**

#### **53.4.1. Anatomía del aparato respiratorio humano:**

#### **53.4.2. Fisiología de la respiración**

#### **53.4.3. Regulación de la Respiración:**

#### **53.4.4. La fonación (OPCIONAL)**

#### **53.4.5. Principales enfermedades de las vías respiratorias.**

## 53.1. Introducción. Funciones del Aparato circulatorio:

El aparato circulatorio sanguíneo humano consta de un órgano principal, el corazón, y de una serie de tubos o vasos sanguíneos muy ramificados. Por dentro de estos órganos circula un líquido, la sangre, impulsada por el corazón.

La sangre, durante su recorrido por el interior del aparato circulatorio, transporta cuatro clases de sustancias:

- **Gases** ( $O_2$  y  $CO_2$ ). El  $O_2$ , procedente de los pulmones, penetra en los eritrocitos combinándose con la hemoglobina. La sangre cargada de oxígeno se denomina sangre arterial. En las células la sangre se descarga de oxígeno y recoge el  $CO_2$  procedente del catabolismo celular, convirtiéndose así la sangre en venosa; ésta vuelve al corazón para, desde allí, ser conducida a los pulmones, para expulsar el  $CO_2$  y cargarse de nuevo de  $O_2$ .
- **Sustancias nutritivas**. Éstas proceden de la digestión, y son recogidas por la sangre venosa en la vellosidades intestinales para ser distribuidas entre todas las células del organismo. Las grasas son recogidas por el sistema linfático que, como veremos, termina desembocando en el aparato circulatorio sanguíneo.
- **Productos de deshecho**. Estas sustancias se producen en el interior de las células durante su catabolismo, muchas de ellas tienen carácter tóxico por lo que deben ser expulsadas. Pasan a la sangre disolviéndose en el plasma; son trasladadas a los riñones, junto con el exceso de sales y de agua, para ser excretadas en forma de orina.
- **Hormonas**. Estos productos de las glándulas endocrinas son recogidos por la sangre, para ser distribuidas hasta sus respectivas células blanco o diana. Las hormonas, junto al sistema nervioso, regulan una serie de actividades vitales y coordinan numerosas funciones.

Son estas las principales funciones del aparato circulatorio, aunque no las únicas pero que no las desarrollamos más por considerar que deben abordarse en el tema 55.

## 53.2. Anatomía del Aparato Circulatorio Humano.

### 53.2.1. El Corazón

Es un grueso y musculoso órgano del aparato circulatorio, impulsa la circulación de la sangre por los vasos sanguíneos para lo que se contrae rítmicamente, incluso, con independencia del sistema nervioso. Se encuentra en el tórax, entre los dos pulmones, ocupando la llamada **cavidad pericárdica**.

Su forma es cónica, con el vértice hacia abajo levemente inclinado hacia la izquierda. Exteriormente presenta dos surcos, uno transversal y otro longitudinal donde se alojan, además de los vasos sanguíneos que lo irrigan (arterias y venas coronarias), los nervios que lo inervan. La pared del corazón consta de tres capas, que desde el exterior al interior son: epicardio, miocardio y endocardio. El endocardio está en contacto directo con la sangre, el miocardio es la capa contráctil, y el epicardio es la capa visceral del pericardio (cavidad serosa en la que se encuentra el corazón).

El **endocardio** Está formado por un endotelio, que se continúa con el de los vasos sanguíneos que entran o salen del corazón. En la mayoría de su superficie hay una capa subendotelial que contiene fibroblastos, fibras de colágena y algunas elásticas. Por fuera hay una gruesa capa de conjuntivo denso muchos elementos elásticos y cantidades variables de haces de fibras de musculatura lisa.

El **miocardio** es la capa muscular estriada cardíaca, cuya histología y estructura se estudia en el tema 30.

El **epicardio** consiste en una sola capa de células mesoteliales y por debajo hay una fina capa de conjuntivo con fibras elásticas, vasos sanguíneos y muchas terminaciones nerviosas.

El corazón es un órgano hueco, presentando su interior dividido en cuatro cavidades: dos superiores llamadas **aurículas derecha e izquierda** (AD y AI) y dos inferiores, los ventrículos derecho e izquierdo (VD y VI). Cada aurícula está en comunicación con su correspondiente **ventrículo** mediante un orificio que contiene una **válvula** para impedir el retorno sanguíneo. La válvula que separa la AD del VD es la **tricúspide** (consta de tres lengüetas triangulares), y la que separa la AI del VI se llama **mitral** (formada por sólo dos lengüetas o laminillas). No hay comunicación entre las aurículas ni entre los ventrículos, de modo que cada mitad del corazón, formada por una aurícula y un ventrículo, es independiente de la otra; se puede decir, por tanto, que existe un corazón derecho y otro izquierdo.

Tanto las paredes de las aurículas como las de los ventrículos presentan orificios de donde nacen las arterias (ventrículos) o a donde van a parar las venas (aurículas). La AD tiene dos, correspondientes a las venas cavas (superior e inferior), mientras que la AI tiene cuatro, correspondientes a las venas pulmonares (dos vienen del pulmón derecho y otras dos del izquierdo).

Del VD sale la arteria pulmonar, del VI la arteria aorta. Ambas arterias presentan en su orificio de salida unas válvulas (**sigmoideas**) formadas por tres lengüetas, que impiden el retorno al corazón de la sangre.

Además de las células musculares estriadas, en el miocardio existen otras cuya función principal es regular la contracción cardíaca. Hay un sistema especializado formado por células musculares modificadas, cuya función es generar los estímulos que desencadenan el latido cardíaco, y conducir el impulso a otras partes del miocardio, asegurando, así, la contracción de las aurículas y los ventrículos en forma sucesiva, lo que permite al corazón una eficaz acción de bombeo.

Este sistema está formado por el **nódulo senoauricular (NSA)** y por el **nódulo auriculoventricular (NAV)** y por el **haz aurículo ventricular o haz de Hiss**.

EL NSA se localiza por debajo del epicardio en la entrada de la vena cava superior en la AD. Consta de una densa red de fibras de Purkinje entrelazadas.

El NAV se localiza en la región postero-inferior del tabique intraauricular, debajo de la hoja posterior de la válvula aórtica. también está formada por una densa red de fibras de Purkinje.

El haz de Hiss se origina a partir de la porción anterior del NAV y penetra por la porción fibrosa del tabique interventricular donde se divide en dos ramas que van a parar a los ventrículos. Consiste en un conjunto de fibras musculares atípicas, que penetran en el miocardio que establecen un contacto íntimo con las fibras musculares típicas.

Un impulso que se inicie en el NSA (marcapasos del corazón), activa la musculatura de las aurículas y es conducido al NAV y desde aquí, a través de haz de Hiss, a todo el corazón. Este sistema sirve para iniciar y transmitir el impulso contráctil.

### 53.2.2. Las Arterias

Transportan la sangre desde el corazón a las redes capilares de los tejidos y órganos. Las arterias son un extenso sistema de estructuras tubulares que empiezan con la arteria aorta y la arteria pulmonar, que emergen del VI y del VD respectivamente.

La **arteria pulmonar**, tras salir del VD, se bifurca en dos ramas, ingresando una en cada pulmón, donde se ramifican abundantemente.

La **arteria aorta**, que nace en el VI, es el vaso de mayor diámetro del organismo. Primero asciende, luego se curva hacia la izquierda (cayado de la aorta) y, por último, desciende vertical por delante de la columna vertebral. De ella, a lo largo de todo su recorrido, parten un elevado nº de arterias de calibre progresivamente menor, que se dirigen a los distintos órganos del cuerpo para capilarizarse.

**La organización básica de la pared arterial es similar, distinguiéndose tres capas:**

1. Una capa interna (**túnica interna o íntima**), que consiste en un tubo endotelial cuyas células tienen, por lo común, su eje mayor orientado longitudinalmente. Forman una capa continua en todo el sistema: corazón, arterias, etc.
2. Una capa intermedia (**túnica media**). Formada por células musculares lisas en círculo.

3. Una envoltura externa (**túnica adventicia**), formada por elementos fibrosos y fibrocitos orientados longitudinalmente. Esta capa se confunde gradualmente con el conjuntivo laxo que acompaña a todos los vasos sanguíneos.
4. Hay una gradación continua en el tamaño y en el carácter de la pared muscular de las arterias mayores hasta los capilares arteriales. Sin embargo, se clasifican las arterias en:

- **Arterias elásticas o conductoras**, como la aorta, subclavia y carótida. Son grandes arterias; su elasticidad es indispensable para el mantenimiento de la presión sanguínea.

Las paredes de su túnica media contienen muchas capas fenestradas de elastina, entre las que se encuentran células musculares lisas. La capa adventicia tienen más cantidad de haces de colágena que limitan, en parte, su elasticidad. Se encuentran también los llamados "vaso vasorum", capilares sanguíneos y linfáticos para la irrigación de las zonas profundas de la túnica media.

Estos vasos mayores, próximos al corazón, se distienden durante la sístole, y la reacción elástica subsiguiente de sus paredes durante la diástole, sirve para que el flujo sanguíneo sea continuo a pesar de la intermitencia del latido cardíaco.

- **Arterias musculares o de distensión**. Son la mayoría de vasos del sistema arterial, como la braquial, femoral, cubital, radial, etc., hasta las pequeñas arteriolas y capilares arteriales. Se caracterizan porque su túnica media está formada por abundantes fibras lisas, que pueden alterar el diámetro del vaso para ajustar el volumen de sangre según las necesidades de irrigación. El flujo sanguíneo es moderadamente rápido, pero oponen una cierta fricción al flujo, responsable del mantenimiento de la presión sanguínea normal en el sistema arterial.

- **Arteriolas**. Se diferencian de las anteriores por su diámetro (100 micras). Es visible aún la capa de elastina que limita con la túnica interna o íntima y las fibras musculares de su túnica media. Las más delgadas sólo tienen una o dos fibras musculares lisas, muy cortas y en disposición anular, que terminan distanciándose hasta desaparecer.

### 53.2.3. Las venas

Varios capilares venosos se reúnen en una vénula, que son las venas de menor calibre; éstas, a su vez, se reúnen formando las venas.

- Las **vénulas** son más anchas que los capilares arteriales. Los leucocitos de la sangre atraviesan sus paredes endoteliales (diapédesis).

- Las **venas** conducen la sangre desde los órganos y otras partes del cuerpo al corazón. Al acercarse al corazón van aumentando, progresivamente, su calibre, mientras que sus paredes se hacen más gruesas. Las venas, habitualmente, acompañan a sus arterias correspondientes.

Son más numerosas que las arterias y su calibre es mayor (el sistema venoso tiene mucha más capacidad que el arterial). Las venas, a diferencia de las arterias pueden presentar grandes diferencias en sus diferentes partes.

Sus paredes son más finas, flexibles y menos elásticas que las de las arterias. Se distinguen tres capas en las paredes de las venas:

- **Túnica íntima** (con colágena en vez de elastina),
- **Túnica media** (desigualmente desarrollada) y
- **Túnica adventicia** (bien irrigada con capilares sanguíneos y linfáticos); no siendo nítidos los límites entre ellas; pudiendo faltar alguna de las capas (casi siempre la túnica media) en algunas venas.

Tanto el tejido elástico como el muscular están menos desarrollados que en las arterias, siendo el conjuntivo, en cambio, mucho más patente.

Las venas de calibre medio y gran calibre, en especial las de las extremidades (venas safenas), presentan interiormente una serie de **válvulas** o repliegues membranosos, de tipo sigmoidal que facilitan el retorno de la sangre al corazón. Se sitúan en la superficie interna de la pared, con sus bordes libres apuntando en la dirección del flujo sanguíneo. En el hombre, las válvulas, se disponen en parejas, una frente a la otra.

**Entre las venas de mayor calibre destacamos:**

- Las pulmonares, en nº de cuatro (dos de cada pulmón) desembocan en la AI, aportando sangre oxigenada. Su túnica media está bien desarrollada con musculatura lisa circular, y en este aspecto es como una arteria.
- Las venas cavas, en nº de dos (superior e inferior), desembocan en la AD, aportando la sangre de los distintos órganos y tejidos del cuerpo. Carecen de túnica media, y la adventicia presenta haces musculares longitudinales bien desarrollados.

### 53.2.4. Los capilares

Se trata de finísimos vasos de calibre microscópico que se insinúan entre las células, aportándoles O<sub>2</sub> y nutrientes para sus funciones vitales. Están revestidos por endotelio; sus células presentan características similares a las de los fibroblastos, tienen núcleo aplanado, y son alargadas según el eje del capilar.

En los capilares de menor calibre, el endotelio puede estar formado por una sola célula, mientras que en los de tamaño medio puede tener dos o tres capas de células.

El ME ha demostrado la existencia de una delgada lámina basal glicoprotéica, parecida a la que subyace en otros epitelios. Macrófagos y células mesenquimatosas pueden asociarse a las paredes de los capilares. Se pueden distinguir al menos tres tipos de capilares, atendiendo a sus diferencias estructurales de su endotelio y a sus uniones intercelulares:

- **Capilares continuos.** Se localizan en los músculos, S.N.C. y en el tejido conjuntivo. La unión entre las células endoteliales adyacentes es por interdigitizaciones y por zónulas ocludens. Tienen una membrana basal continua.
- **Capilares fenestrados.** Aparecen en los glomérulos renales, glándulas endocrinas y en otras partes. Presentan poros de 800 - 1000 Å de diámetro. En realidad, estas perforaciones, son solo aparentes ya que están habitualmente cerradas por un diafragma muy fino. La lámina basal también es continua.
- **Capilares sinusoides.** Propios del hígado, médula ósea y pulmones. Paredes muy finas, calibre amplio y de sección transversal irregular. Hay dos tipos de sinusoides: Fenestrados con poros y lámina basal continua, y discontinuos (sus células endoteliales con algunos poros) y en los que su lámina basal es discontinua o falta.

Como regla general, una red capilar conecta las ramificaciones terminales del sistema arterial con las del sistema venoso, y la transición de las arteriolas a capilares y vénulas es gradual.

### 53.2.5. La circulación linfática (OPCIONAL)

Constituye una red muy tupida repartida por todo el cuerpo. Es el sistema colector del líquido intersticial para devolverlo al torrente sanguíneo; además, recoge en el intestino casi toda la grasa digerida y forma en sus ganglios linfocitos. Los elementos de esta red son los vasos y los ganglios.

Las paredes de sus vasos presentan una estructura similar a la de las venas. Su aspecto arrosariado se debe a las válvulas en cazoleta, encargadas de impedir el retroceso de la linfa. Estos repliegues valvulares están formados por la capa íntima reforzada con conjuntivo. Los vasos más importantes son:

- a) **Conducto torácico.** Recoge la linfa de la mitad inferior del cuerpo y de la mitad izquierda superior. Comienza en la cisterna de Pecquet, situada en la parte superior de la cavidad abdominal, bajo el diafragma y detrás de la aorta; pasa con ésta a la cavidad del mediastino (espacio entre los dos pulmones), asciende hasta el cuello y desemboca en el tronco venoso braquicefálico, junto a la base de la yugular interna.
- b) **Gran vena linfática.** Es un tramo corto que desemboca en el tronco braquicefálico derecho, junto a la base de la subclavia del mismo lado. Resulta de la reunión de tres vasos linfáticos que drenan el líquido tisular del cuarto superior derecho.

Según el curso de la linfa, puede considerarse que la red comienza en los capilares linfáticos; éstos se anastomosan repetidamente y van a parar, por fin, a los ganglios.

Los **ganglios** están muy distribuidos; no obstante, las axilas son zonas donde se localizan preferentemente; también en el vientre y en el cuello.

Son más o menos esféricos y distinto tamaño. El tejido conjuntivo que los rodea se introduce en su seno, formando tabiques radiales entre los que se sitúan los folículos, masas de células linfoides que dan, al dividirse, los linfocitos. Los folículos se continúan hacia la zona medular en la que se unen con otros mediante una red de cordones celulares entrecruzados con la de tejido conjuntivo. Entre el tejido conjuntivo y el folicular se sitúan los senos linfoides, espacios llenos de linfa. En estos espacios es donde varios vasos aferentes vacían su contenido. Por el contrario, sólo uno o dos vasos "salen" de cada ganglio en la zona del hilio. Por este mismo punto penetra una arteria que se ramifica siguiendo los tabiques conjuntivos y se capilariza en el tejido linfoide; la vénula correspondiente sale también por el hilio.

Hay dos redes de ganglios: una subcutánea y otra más profunda bajo los músculos periféricos. Casi todos los ganglios se sitúan en la red profunda.

### 53.3. Fisiología del aparato circulatorio

La sangre, con todos los productos que transporta, es bombeada a través del sistema cerrado de vasos por el corazón.

#### 53.3.1. Fisiología del corazón

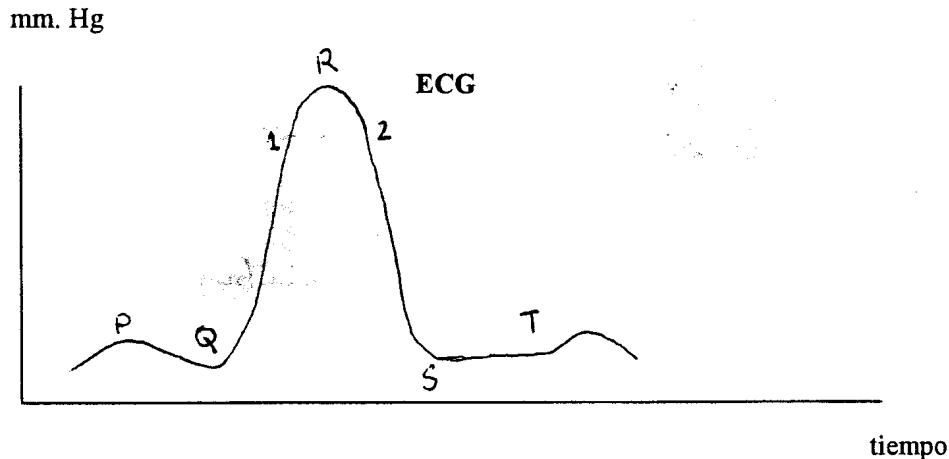
Las diferentes partes del corazón laten en una sucesión ordenada: La contracción auricular (sístole auricular) va seguida de la contracción de los ventrículos (sístole ventricular), y durante la diástole (auricular y ventricular) las cuatro cavidades están relajadas. Esta sucesión de movimientos cardíacos (sístole y diástole) es independiente del SNC y, en el hombre, se repite unas 70 veces por minuto (en reposo).

El latido cardíaco se origina en el sistema de conducción especializado y se propaga por el miocardio. El potencial de reposo de las células cardíacas es de -80 mV. El potencial de acción, responsable del inicio de la contracción, se caracteriza por una rápida despolarización (aumento del  $\text{Na}^+$ ), una meseta (aumento lento del  $\text{Ca}^{++}$ ), y un proceso de repolarización lento (aumento retardado de  $\text{K}^+$ ).

**OPCIONAL** [La contracción del miocardio comienza casi al inicio de la despolarización, y dura algo más que el potencial de acción. El "marcapasos" (NSA) puede desencadenar potenciales de acción y propagarse por todo el músculo cardíaco. El "marcapasos" tiene un potencial de membrana inestable, en lugar de tener un valor sostenido después de cada potencial de acción, disminuye hasta alcanzar el valor de descarga y se dispara otro potencial de acción. Esta despolarización lenta entre dos potenciales de acción se llama potencial del marcapasos o prepotencial.]

Como los líquidos corporales son buenos conductores (dada su riqueza en iones), las variaciones en el potencial (suma de los potenciales de acción de las fibras del miocardio) se pueden registrar en la superficie del cuerpo mediante electrodos (electrocardiograma o ECG).





**P = Despolarización auricular (sístole auricular); Q = cierre válvulas AV; R = sístole ventricular.**

**QRS = Despolarización ventricular + inicio de la repolarización ventricular + Repolarización auricular;**

**ST = repolarización ventricular; S = apertura de la válvula AV**

En el ECG aparecen una serie de ondas, la onda P es producida por la despolarización auricular, el complejo QRS por la despolarización ventricular y el segmento ST y la onda T por la repolarización ventricular. La repolarización auricular se encuentra incluida en el complejo QRS.

**Intervalo PQ.** Despolarización auricular y conducción a través del NAV. Sístole auricular.

**Complejo QRS.** Repolarización auricular. Final de la sístole auricular e inicio de la sístole ventricular.

**Intervalo ST.** Repolarización ventricular, Sístole auricular.

El **ciclo cardíaco** refleja todos los movimientos encadenados que suceden entre dos despolarizaciones sucesivas en el NSA. Es decir son el conjunto de movimientos del corazón entre dos sístoles auriculares sucesivas.

Al final de la **diástole** se cierran las válvulas aórticas y pulmonares, y se cierran la tricúspide y la mitral. Se van llenando de sangre las aurículas y los ventrículos.

Durante la **sístole auricular** se cierran un poco los orificios de las venas pulmonares y cavas; la sangre es impulsada desde las aurículas a los ventrículos, aunque más del 70 % de la sangre llega a los ventrículos durante la diástole.

Al principio de la **sístole ventricular** se cierran las válvulas tricúspide y mitral, aumentando la presión intraventricular (contracción isométrica por que no se acortan a penas las fibras, dura 0'05 seg.). Cuando las presiones de ambos ventrículos sobrepasan las de la aorta y las de las arterias pulmonares, se abren sus válvulas respectivas, saliendo la sangre de los ventrículos hacia la aorta y los pulmones (la cantidad de sangre expulsada por cada ventrículo en cada contracción en reposo es de 70-90 ml). La sístole auricular se produce una décima de segundo antes que la ventricular. La presión en el ventrículo izquierdo, durante la sístole ventricular, es de 120 mm de Hg y de 20 mm en el derecho.

Durante el descenso de la presión ventricular (0'04 seg) se cierran las válvulas aórtica y pulmonar. Después la presión sigue cayendo rápidamente, durante el periodo de relajamiento ventricular isovolumétrico, que acaba cuando la presión ventricular cae por debajo de la auricular y se abren las válvulas AV permitiendo el llenado de los ventrículos.

El volumen diastólico final o VDF (se alcanza durante la sístole auricular) es de unos 140 ml, el mínimo es de 60 ml (volumen sistólico final o VSF). El volumen por latido =  $VDF - VSF = 80 \text{ ml/latido}$ .

Como ya se dijo, un ventrículo expulsa unos 70 ml/latido, como la frecuencia cardíaca, en estas condiciones, es de 70 latidos/minuto; cada ventrículo impulsa unos 5 l de sangre/minuto (gasto cardíaco normal).

Este gasto cardíaco debe ser igual al retorno venoso, pues, de no ser así, se acumularía sangre en el corazón. Así mismo, el gasto de ambos ventrículos es el mismo, ya que de no ser así, quedaría sangre estancada en los pulmones o en otros órganos.

En resumen el gasto cardíaco está determinado por: el retorno de sangre al corazón, la permanencia del latido y la fuerza de contracción del miocardio. El gasto aumenta: en estados de ansiedad y excitación, comida, ejercicio, calor, embarazo, adrenalina, histamina, etc.

Cuando la frecuencia cardíaca es muy elevada, el llenado de sangre en el corazón puede no ser suficiente, disminuye el gasto cardíaco y parece una insuficiencia cardíaca.

La actividad muscular cuando realizamos ejercicios físicos aumenta el retorno venoso y se incrementa la respiración, aumentando de manera notable el gasto cardíaco (hasta 140 ml por cada sístole).

Si aplicamos el oído en la región cardíaca o usamos un estetoscopio, se perciben dos ruidos por cada ciclo cardíaco en las personas.

El primer ruido: es de tono grave, poca intensidad y prolongado. Se debe al cierre de las válvulas aurículo-ventriculares, y también a la contracción de los ventrículos. Coincide con el comienzo de la sístole ventricular.

El segundo ruido: de tono más alto, más intenso y corto. Es debido al cierre de las válvulas aórticas. Coincide con el final de la sístole ventricular.

Si las válvulas no cierran bien hay retroceso de cierta cantidad de sangre (murmullos cardíacos)

### 53.3.2. La circulación arterial y venosa. Presión arterial.

La sangre fluye por los vasos debido, principalmente, a los impulsos derivados de los latidos cardíacos, aunque en el caso de la circulación general, el regreso diastólico de las paredes arteriales, la compresión de las venas por los músculos esqueléticos durante el ejercicio y la presión negativa en el tórax durante la inspiración, también impulsa la sangre hacia adelante.

La circulación en el hombre es **doble** (la sangre describe en su recorrido dos circuitos) y **completa** ya que por la mitad derecha del corazón sólo circula sangre venosa y por la mitad izquierda sangre arterial, sin mezclarse nunca.

**El circuito menor o pulmonar** se inicia en el VD, del que sale la arteria cargada de sangre sin  $O_2$  ramificándose en dos, una para cada pulmón. Allí, a través de una densa red capilar, la sangre se oxigena y deja el  $CO_2$ . esta sangre es recogida por las venas pulmonares (dos de cada pulmón) que la conducen hasta la AI. De ahí pasa al VI a través de la válvula mitral.

**La circulación mayor o general** se inicia con la arteria aorta que sale del VI y, ramificándose ampliamente por todo el cuerpo, va perdiendo el  $O_2$  y cargándose de  $CO_2$ , volviendo a la AD por las venas cavas (superior e inferior). De la AD pasa al VD a través de la Válvula tricúspide.

**OPCIONAL** [Los principios físicos que rigen el comportamiento de los líquidos perfectos en tubos rígidos, pueden aplicarse para explicar el comportamiento de la sangre en los vasos, aunque los vasos sanguíneos no sean rígidos ni la sangre un líquido perfecto. Se usan como un auxiliar para explicar lo que sucede en el organismo.

El flujo de la sangre (volumen/tiempo) es laminar, siendo la velocidad (desplazamiento/tiempo) de la sangre máxima en el centro del vaso y mínima en las paredes. El flujo laminar aumenta hasta que alcanza una velocidad crítica, por encima de la cuál, el flujo es turbulento. La turbulencia, por tanto, vendrá determinada por el diámetro del vaso y la velocidad de la sangre.

$$\text{Velocidad} = \frac{Q \text{ cm}^3/\text{s}}{A \text{ (área del conducto en cm}^2\text{)}}$$

Según esta fórmula la velocidad de la sangre será rápida en la aorta, y va disminuyendo en los vasos menores, siendo mínima en los capilares, cuya área de sección transversal es 1000 veces mayor que la de la aorta. La velocidad media aumenta, de nuevo, cuando la sangre entra en las venas siendo relativamente rápida en las venas cavas, aunque menos que en la aorta.

La relación entre el flujo en un tubo largo y estrecho, la viscosidad del líquido y el radio del tubo, se expresa matemáticamente por la fórmula de Poiseuille-Hagen.

$$K \cdot \text{diferencia de presión} \cdot \text{diámetro}^4$$



$$\text{Flujo} = \frac{\text{8 . viscosidad . longitud del tubo}}{\text{K . diámetro}^4}$$

El Flujo es directamente proporcional al radio e inversamente proporcional a la viscosidad. Puesto que el flujo es igual a la diferencia de presión dividida entre la resistencia, tenemos:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{8 . viscosidad . longitud del tubo}}{\text{K . diámetro}^4}$$

De donde se deduce que tanto el flujo como la resistencia están muy influidos por el calibre de los vasos. La viscosidad depende, en su mayor parte, del hematocrito, es decir, del % de volumen de sangre ocupado por los eritrocitos.]

### CIRCULACIÓN ARTERIAL

La sangre circula por las arterias debido a los impulsos del corazón y a la sacudida que recibe de su propia pared arterial debido a su elasticidad (la onda de expansión-contracción es el **pulso**). Esta última circunstancia es la responsable de que la sangre no circule a sacudidas. La velocidad de la sangre varía desde 120 cm/s (sístole) hasta valores negativos (cierre de las válvulas en la diástole). El pulso es más lento en los adultos que en los niños.

El ritmo automático de estimulación de las arterias musculares o de reparto oscila de seis a doce veces por minuto. Varía, entre otras causas, con las necesidades de O<sub>2</sub> de los tejidos.

En adultos jóvenes, la presión aórtica y de otras arterias, alcanza valores máximos de 120 mm Hg (presión sistólica) y cae hasta un valor mínimo (presión diastólica) de unos 70 mm de Hg. Su diferencia (50 mm Hg) es la llamada presión del pulso. Estos valores van cayendo en las pequeñas arterias y arteriolas (30-38 mm Hg), que son los lugares de máxima resistencia periférica contra la que bombea el corazón.

Los vasos que se encuentran por debajo del corazón tienen valores más altos de presión arterial, y los valores de los que están por encima son más bajos por efecto de la gravedad. La diferencia es de unos 0'77 mm Hg por cada cm de diferencia.

Aquí podría indicarse el procedimiento de medir la presión arterial en el hombre.

### OPCIONAL. PRINCIPALES ARTERIAS

De la **aorta ascendente** se originan las arterias coronarias que riegan las paredes del corazón

Del **cayado aórtico** surgen: las dos arterias carótidas (riegan la cabeza); las dos arterias subclavias que se dirigen hacia los brazos originando las arterias humerales las cuales, al alcanzar el antebrazo dan lugar a las arterias radial y cubital.

De la **aorta descendente** se origina: las arterias intercostales (paredes de la cavidad torácica); la esplénica (bazo); la estomáquica (estómago); hepática (hígado); mesentérica superior (intestino delgado y parte del grueso); renales (riñones); mesentérica inferior (resto intestino grueso); dos ilíacas que se dirigen a cada una de las dos extremidades. Cada ilíaca se bifurca en: ilíaca interna (vísceras pélvicas); la ilíaca externa ingresa en el muslo (femoral), subdividiéndose en las piernas.

### CIRCULACIÓN VENOSA

La circulación venosa también se debe a la acción bombeante del corazón, pero es ayudada por el incremento de la presión intratorácica negativa durante cada inspiración (**bomba torácica**) y por las contracciones de los músculos esqueléticos que comprimen las venas.

La presión en las vénulas es de 12-18 mm Hg; va disminuyendo en las grandes venas (hasta 5'5 mm Hg en las del tórax), hasta alcanzar los 4'6 mm Hg en la entrada en la AD. La presión venosa periférica, al igual que la arterial, se modifica con la gravedad (se eleva 0'77 mm Hg por cada cm por debajo de la AD y disminuye de modo similar por encima). El flujo, en las grandes venas, es de unos 10 cm/s.

La presión intrapleural, durante la inspiración, cae entre -2'5 mm Hg y -6 mm Hg, esta presión negativa hace que, en las grandes venas, la presión venosa descienda hasta 2 mm Hg, lo que favorece el retorno venoso.

La presión auricular cae durante la sístole ventricular, lo que provoca la succión de sangre por las aurículas, contribuyendo también al retorno venoso, sobre todo cuando el corazón late con frecuencias rápidas.

En brazos y piernas, las venas, están rodeadas por músculos esqueléticos, cuya contracción, las comprimen. Como las válvulas venosas impiden el flujo inverso, la sangre se dirige hacia el corazón. La acumulación de sangre en las piernas reduce el retorno venoso, disminuyendo el gasto cardíaco, a veces hasta el desfallecimiento (desmayo).

#### **OPCIONAL. PRINCIPALES VENAS**

En el sistema venoso de la circulación mayor podemos distinguir las venas superficiales, muy fáciles de apreciar en manos y brazos y las venas profundas, cuyo curso suele ir paralelo al de las arterias. Nos referiremos a estas últimas.

La vena **cava superior** recoge la sangre que le llega de la cabeza por las venas yugulares y de los brazos por las venas subclavias. recoge también la vena ácigos que corre paralela a la cava inferior.

La vena **cava inferior** recibe la sangre del resto del cuerpo. Corre paralela a la arteria aorta y sus vasos tributarios son: las venas coronarias (del corazón); la vena suprahepática (procede el hígado); las venas renales (de los riñones) y las ilíacas (proceden de ambas extremidades).

Las venas esplénica (bazo), gástrica (estómago) e intestinal (intestino), confluyen en la vena porta, que ingresa en el hígado y se capilariza. Estos capilares, formados entre dos venas (porta y suprahepática) forman el sistema porta.

#### **CIRCULACIÓN CAPILAR**

Sólo un 5 % del volumen sanguíneo ocupa los capilares, siendo la parte más importante ya que, en ellos, tiene lugar el intercambio de  $O_2$ ,  $CO_2$  y nutrientes con el líquido intersticial; siendo este intercambio esencial para la supervivencia de los tejidos.

Las presiones capilares varían considerablemente, pero en el hombre, oscilan entre 37 mm Hg en el extremo arterial y 17 mm Hg en el venoso. Su velocidad es de 0'07 cm/s, ya que el área total de los capilares es muy grande.

Las sustancias pasan por las uniones entre las células endoteliales y a través de las células (difusión, pinocitosis). El  $O_2$  y la glucosa están en mayor concentración en la sangre, difundiendo hacia el líquido intersticial, el  $CO_2$  se difunde en dirección opuesta. Las sustancias liposolubles se difunden con más facilidad a través de las paredes por pinocitosis.

### **53.3.3. Regulación de la circulación de la sangre.**

El sistema circulatorio presenta dos tipos de regulación: intrínseca o autorregulación y extrínseca (por el S. N. y el endocrino).

#### **AUTORREGULACIÓN**

Tanto el corazón como el sistema vascular pueden desencadenar mecanismos reguladores ante cualquier cambio en el medio interno.

La **frecuencia cardíaca** está regulada exclusivamente por el S. N. y el endocrino. El volumen-latido puede ser regulado de forma automática por el propio corazón. Como ya vimos, el volumen por latido = VDF (140) - VSF (60) = 80 ml/latido. El VDF puede disminuir por distensibilidad del miocardio o por un mayor tiempo de llenado, aumenta con el aumento del retorno venoso. El VSF aumenta con la contractibilidad del miocardio y aumenta con la presión de carga.

Ejemplo. **Regulación hemostática.** Un aumento de la presión arterial, aumentaría la resistencia vascular al gasto cardíaco, aumentando el VSF, disminuyendo, por tanto el Volumen-latido, aumentándose la contractibilidad del miocardio (modificando la longitud de las fibras musculares) con el fin de que se restablezca el volumen-latido.

Un aumento del retorno venoso aumentaría la Presión de carga, lo que, a su vez, aumentaría el VDF y, por tanto, el volumen-latido. Un aumento en la contracción del miocardio disminuiría el volumen-latido

#### **Autorregulación del sistema vascular.**

La vasodilatación y la vasoconstricción de los capilares puede regularse mediante metabolitos producidos por los tejidos. Cuando los tejidos están en reposo, la circulación capilar es nula, los capilares están colapsados; en cambio cuando los tejidos están activos la sangre fluye por los capilares.

La cantidad de metabolitos depende de que la presión parcial de  $O_2$  sea baja y de que el pH sea bajo. La presencia de estos metabolitos eleva la presión osmótica, lo que provoca tanto una vasodilatación como un aumento del flujo sanguíneo y viceversa.

#### **REGULACIÓN EXTRÍNSECA**

Para entender esta regulación vamos a desglosarla, estudiando la inervación del corazón, la de los vasos sanguíneos, los centros bulbares reguladores y la existencia de receptores específicos en todo el sistema circulatorio que envían su información al bulbo, para modificar la actividad del aparato circulatorio.

**Inervación del corazón.** Está innervado por el S.N. autónomo (simpático y parasimpático). La estimulación del simpático aumenta la frecuencia de la contracción cardíaca, la del parasimpática la disminuye. Por otra parte la adrenalina de las cápsulas suprarrenales aumenta, también, la frecuencia cardíaca.

**Regulación de la circulación en los vasos.** También están innervados por el S. N. autónomo. El simpático (adrenérgico) provoca vasoconstricción, lo contrario que el parasimpático.

El simpático mantiene, de forma continua, ligeramente contraídas a las venas (tono vaso-motor). El parasimpático actúa, sobre todo, en la AD, y al liberar acetil-colina, frena la actividad cardíaca.

En el bulbo se encuentra el **centro vasomotor**. Si se estimulan sus partes laterales (área presora), se produce vasoconstricción; si, por el contrario, se estimula su área depresora se provoca vasodilatación. La actividad del centro vasomotor puede verse alterada por el hipotálamo y por la corteza cerebral.

**Regulación por barorreceptores o presorreceptores.** Éstos son centros sensibles a los cambios de presión. Abundan en el seno carotídeo, arco aórtico, aurículas, ventrículos (sobre todo en el izquierdo), venas cava y pulmonares.

Al aumentar la presión en esas zonas y distenderse los vasos, llegan impulsos al centro vasomotor, cuya respuesta es disminuir la presión dilatando los vasos y disminuyendo la frecuencia cardíaca. Equivale a un estímulo del parasimpático.

Si disminuye la concentración de  $O_2$  en la sangre, aumenta la de  $CO_2$ . Los quimiorreceptores (ej. cuerpos carotídeos) envían estímulos al centro vasomotor que provoca un aumento de la frecuencia cardíaca.

### **53.3.4. Trastornos del aparato circulatorio**

#### **Trastornos cardíacos:**

- **Taquicardia.** El ritmo cardíaco supera los 100 latidos/minuto. Puede ser auricular o ventricular; ésta es un trastorno grave del ritmo cardíaco (150-250 latidos/minuto).
- **Bradicardia.** Disminución del ritmo por debajo de los 50 latidos/min.

- **Isquemia aurículo-ventricular.** Sucede cuando se produce detención de la circulación sanguínea de la aurícula al ventrículo. La insuficiencia coronaria puede ocasionar isquemia.
- **Insuficiencia mitral o Estenosis mitral.** Esta válvula cierra mal y, durante la sístole, hay reflujo sanguíneo desde el VI a la AI. Puede suceder por tensión de la válvula o por dilatación de la zona de la válvula. El signo común de todas las valvulopatías es el soplo.

#### Síndromes coronarios:

- **Angina de pecho.** Es un síntoma. Consiste en una sensación dolorosa fuerte de opresión en el pecho al realizar algún esfuerzo. Su causa principal parece ser la arterioesclerosis, suele ir precedida de hipertensión arterial, diabetes, etc.
- **Infarto.** Cuando una parte del miocardio (al menos 2 cm) no es regada por sangre coronaria (isquemia). Se muere esa zona de tejido coronario, se necrosa esa parte hinchándose.

#### Trastornos arteriales

- **Ateroesclerosis.** Sucede en los grandes vasos. Se produce por la acumulación de colesterol en la capa interna de las arterias (ateroma). Si afecta a las arterias coronarias puede provocar angina de pecho e infarto de miocardio.
- **Arterioesclerosis.** Indica esclerosis de las fibras musculares de la túnica o parte media de las arterias que se suele extender a la túnica interna.

#### Trastornos venosos:

- **Varices.** Son dilataciones de las venas de la red superficial; se suelen dar en las extremidades inferiores.
- **Flebitis.** Inflamación de una vena, con frecuencia va seguida de la formación de un trombo.
- **Trombosis.** Obliteración de una vena por un coágulo sanguíneo. Si este coágulo se desprende de su extremo y llega a la arteria pulmonar puede cerrarla, provocando la embolia pulmonar.

### 53.4. Concepto de respiración

La vida aeróbica, característica de la mayoría de seres vivos, precisa de un flujo constante de  $O_2$  y una rápida eliminación del  $CO_2$  producido durante el catabolismo celular (**respiración celular**). La difusión es el proceso físico para llevar a cabo este intercambio gracias, sobre todo, a los pulmones y a la sangre cuya hemoglobina constituye el vehículo indispensable para llevar el  $O_2$  a todas las células del cuerpo humano. El aparato respiratorio se encarga del intercambio de estos gases entre la sangre que circula a través de los pulmones y el medio externo. La complejidad del organismo humano hace necesaria una serie de etapas para llevar el  $O_2$  del aire a las células y expulsar a la atmósfera el  $CO_2$  generado por las células.

Se suele distinguir entre **respiración externa** (captación de  $O_2$  y desprendimiento de  $CO_2$  del organismo como un todo), e interna o intercambio gaseoso entre las células y el fluido exterior. De la respiración externa se encarga el aparato respiratorio, y del transporte de  $O_2$  y del  $CO_2$  hasta y desde las células el aparato circulatorio<sup>1</sup>.

#### 53.4.1. Anatomía del aparato respiratorio humano:

Está formado básicamente por las vías respiratorias y por los pulmones. Las **vías respiratorias** están básicamente destinadas a conducir el aire y comprenden: fosas nasales y cavidad bucal, faringe, laringe, tráquea y bronquios.

---

<sup>1</sup> la respiración cutánea en el hombre es insignificante

## FOSAS NAALES

El aire penetra tanto por la vía nasal como por la bucal. La cavidad bucal, cuyo estudio se aborda en el tema 52, está menos acondicionada como vía respiratoria que la vía nasal.

Las fosas nasales son dos cavidades anfractuosas, separadas entre sí por un delgado tabique medio y situadas detrás de la nariz e inmediatamente encima de la bóveda palatina. Se comunican con el exterior por los orificios nasales y con la faringe por las coanas. Se distinguen las siguientes partes:

- Un armazón óseo, que constituye la parte posterior de la nariz.
- Una porción cartilaginosa, que forma la parte anterior del septo nasal, caras laterales de la nariz y dorso de ésta.
- Los cornetes superior, medio e inferior que corresponden a expansiones óseas situadas en la parte posterosuperior, media y anteroinferior, respectivamente, de cada una de las cavidades nasales, en la superficie lateral externa de las mismas.
- La pituitaria, mucosa que tapiza las fosas nasales. En ella se distingue: pituitaria roja (reviste la mayor parte de las fosas nasales), muy vascularizada y al servicio de la respiración; la pituitaria amarilla, de función olfativa, se localiza en la parte superior de dichas fosas.

**La pituitaria roja** posee un endotelio ciliado con células caliciformes y contiene glándulas secretoras de mucus. Ésto y la rica vascularización que posee permite que el aire se humedezca, se libere de partículas que se adhieren al moco y se calienta protegiendo así a los pulmones. Cuando, por un resfriado, la pituitaria roja se congestiona, se dificulta la circulación del aire.

El aire de las fosas nasales pasa por las coanas a la faringe, o bien desde la boca por el istmo de las fauces a la faringe, porción común a los aparatos digestivo y respiratorio estudiada en el tema 52.

## LARINGE

Está situada en la parte anterior de la faringe y suspendida, mediante ligamentos, del arco óseo localizado en la base de la lengua (hueso hioides).

La laringe se eleva durante la deglución y se aplica contra la **epiglotis**, de modo que la vía respiratoria queda cerrada evitando que los alimentos se introduzcan en ella; después vuelve a su posición normal abriéndose paso al aire.

La laringe, además de formar parte de las vías respiratorias, es el órgano fundamental de la **fonación**. Está formada esencialmente por un esqueleto cartilaginoso que determina la forma externa y una mucosa que la reviste interiormente y da forma diferente a la cavidad laríngea.

Los cartílagos más importantes son:

- **Tiroides**, el mayor de todos, tiene forma de libro entreabierto con el lomo en posición medioventral, que forma la arista más saliente de la nuez de Adán (nombre que recibe el contorno de la laringe perceptible desde fuera).
- **Cricoides**, forma un anillo en la base de la laringe.
- **Epiglótico**, en el armazón de la epiglotis.
- **Aritenoides**, par de cartílagos situados a ambos lados del cricoides y que mueven las cuerdas vocales.

**La mucosa interna** presenta dos pares de pliegues que se proyectan en la luz de la laringe. El primero constituye las cuerdas vocales superiores o falsas. El segundo, las inferiores o verdaderas, las cuales delimitan un orificio triangular (**glotis**), que puede estar más o menos cerrado mediante contracciones musculares. Entre la cuerda vocal superior y la inferior de cada lado existe una depresión (ventrículo laríngeo o de Morgani).

## TRÁQUEA

Es un tubo de unos 12 cm de longitud situado a continuación de la laringe. Desciende por delante del esófago y termina al bifurcarse en los dos bronquios.



Presenta una serie de **anillos cartilagosos** incompletos, que adoptan la forma de C, y cuyos extremos libres quedan en la parte dorsal, en la que existen haces musculares lisos. Estos anillos alternan con tejido conjuntivo elástico.

Histológicamente, presenta de la luz del tubo al exterior:

- a) Una capa de epitelio pseudoestratificado de células cúbicas, provistas de cilios por su cara libre; entre ellas aparecen numerosas células caliciformes secretoras de moco
- b) Una capa mucosa de tejido conjuntivo laxo en cuyo seno se encuentran glándulas acinosas secretoras de moco.
- c) Capa muscular anular.

Los anillos cartilagosos evite que se cierre la luz del tubo. El moco segregado tanto por las células caliciformes como por las glándulas es conducido hacia la faringe por el movimiento ciliar, arrastrando el polvo y los microorganismos que entran con el aire inspirado.

## BRONQUIOS

La tráquea se continúa con los bronquios a nivel de la 4ª o 5ª vértebra torácica, se bifurca en dos ramas, los bronquios derecho e izquierdo, que penetran en el pulmón respectivo por una zona llamada **hilio** o pedículo pulmonar. El bronquio derecho es de mayor calibre, más corto y más vertical que el izquierdo. Sigue la misma estructura histológica fundamental, salvo en los anillos cartilagosos que son completos.

## PULMONES. Morfología

Los pulmones son dos órganos semicónicos, situados a ambos lados de la cavidad torácica rodeados por un armazón de músculos y huesos. El armazón de huesos lo constituyen por delante el esternón, los doce pares de costillas y la columna vertebral (por detrás). El armazón de músculos está constituido, entre otros, por los intercostales, y el **diafragma**, músculo plano, abovedado, que separa al tórax del abdomen.

Los pulmones poseen una cara plana, algo deprimida, en la región del hilio que limita en un espacio entre los dos pulmones (mediastino); una cara exterior convexa relacionada con las costillas; una base cóncava que se apoya sobre el diafragma, y un vértice superior que sobresale algo del tórax. Por el hilio pulmonar, además de penetrar los bronquios lo hacen también las arterias y los nervios, y salen las venas y los vasos linfáticos.

El pulmón derecho es de mayor volumen que el izquierdo. El primero está dividido por dos cisuras en tres lóbulos (superior, medio e inferior). El pulmón izquierdo sólo presenta una cisura (lóbulo superior e inferior).

Envolviendo a cada uno de los pulmones se encuentra una membrana serosa denominada **pleura**. Está formada por dos hojas: una externa (pleura parietal), adosada a las paredes de la cavidad torácica, y otra interna (pleura visceral) que reviste al pulmón. Entre ambas queda la cavidad pleural que contiene una película de líquido seroso (líquido pleural). La inflamación de la pleura se denomina pleuritis o pleuresía y suele ir acompañado de un exceso de líquido pleural.

La unión de los pulmones al tórax se realiza por las pleuras, asegurándose así que sigan el ritmo de los movimientos respiratorios voluntarios o no. El líquido pleural obliga a los pulmones a permanecer estirados y tensos. La entrada de aire en la cavidad pleural hace desaparecer la fuerza que une las dos hojas pleurales, y el pulmón se retrae a una posición encogida al igualarse la presión intrapleural con la atmosférica.

## Estructura

Los pulmones están constituidos esencialmente por el árbol bronquial, los vasos sanguíneos, vasos linfáticos que se dirigen a los ganglios de la región del hilio y tejido conjuntivo.

Cuando los bronquios penetran en los pulmones se ramifican originando tres bronquios lobares en el pulmón derecho y dos en el izquierdo. Cada uno de ellos vuelve a ramificarse en el respectivo lóbulo pulmonar formando bronquios segmentarios, que se distribuyen por zonas. Éstos, a su vez, se dividen sucesivas veces en ramificaciones de menor diámetro hasta llegar a los **bronquiolos**, que son los más finos. Las piezas cartilaginosas van tomando forma irregular, haciéndose cada vez menores hasta desaparecer en las últimas ramificaciones.



En los bronquiolos no existen cartílagos ni glándulas, y las células caliciformes son escasas, pudiendo incluso estar ausentes. La túnica muscular está relativamente bien desarrollada.

El bronquiolo penetra en una estructura de forma piramidal denominada **lobulillo pulmonar**, donde se ramifica, originando bronquiolos terminales, cada uno de los cuales origina bronquiolos respiratorios. Éstos se ramifican dando los conductos alveolares, que contienen en sus paredes **alvéolos** aislados o reunidos formando **sacos alveolares**.

Los alvéolos son, pues, las últimas porciones del árbol bronquial y sus paredes están formadas por una capa epitelial muy fina, asociada a capilares sanguíneos. Esta pared es común a los alvéolos consecutivos. Ocupan una superficie de unos 150 m<sup>2</sup>.

### 53.4.2. Fisiología de la respiración

Comprende una serie de mecanismos encaminados a dos funciones distintas pero interconectadas: la ventilación pulmonar y el intercambio gaseoso en el pulmón.

#### VENTILACIÓN PULMONAR

Consiste en la renovación constante del aire contenido en los pulmones. Está asegurada por los movimientos respiratorios o ventilatorios, en los que se distinguen dos fases: Inspiración y espiración.

Durante la **inspiración** el aire penetra en los pulmones, debido a que la dilatación de la caja torácica hincha los pulmones. Al aumentar el volumen pulmonar disminuye la presión del aire en el interior provocando la entrada del mismo.

La dilatación del tórax se debe a la actividad de los músculos inspiratorios (diafragma e intercostales externos). Al contraerse el diafragma, su convexidad hacia arriba se aplana, el suelo del tórax desciende y comprime las vísceras abdominales aumentando el volumen de la caja torácica verticalmente. Los músculos intercostales externos, al contraerse, elevan las costillas y empujan al esternón hacia fuera aumentando el diámetro del tórax.

En la **espiración** el aire contenido en los pulmones es expulsado al exterior por disminución del volumen de la cavidad torácica que aumenta la presión interior. La disminución del volumen es un fenómeno pasivo que se produce como consecuencia de la relajación de los músculos inspiratorios, que adquieren su posición de reposo.

Los movimientos respiratorios se suceden de manera continua con una frecuencia, para el adulto en estado de reposo, de 16 a 18 por minuto. En los niños la frecuencia es mayor, y tanto en unos como en otros aumenta con el ejercicio físico y las emociones.

La respiración normal durante el sueño y, más frecuente, en los individuos en reposo es la diafragmática o abdominal. La torácica o costal es más activa durante el ejercicio. Cuando aumenta el trabajo muscular las necesidades de aire son mayores y es conveniente la respiración forzada.

#### RUIDOS RESPIRATORIOS

Al aplicar el oído a la pared del tórax, o bien mediante el fonendoscopio, se puede percibir durante la respiración un murmullo vesicular, que es ruido que produce el aire hasta llegar a los alvéolos.

La tos y el estornudo son actos reflejos, de misión protectora. Provocan la expulsión violenta de aire que arrastra cuerpos o sustancias extrañas procedentes, en el primer caso, de las vías pulmonares y, en el estornudo, de las fosas nasales irritadas.

#### VOLÚMENES Y CAPACIDAD PULMONARES

El volumen del aire que entra en los pulmones es una inspiración normal es de unos 500 cc. Igualmente en una espiración normal sale una cantidad similar. Es el llamado **volumen corriente** o basal. Sin embargo, la **capacidad total** o volumen máximo que pueden alcanzar los pulmones con el mayor esfuerzo inspiratorio posible es de unos 5800 cc.

Se llama **volumen de reserva inspiratoria** al volumen de aire inspirado, sobre el volumen corriente, mediante una inspiración forzada. Suele ser de unos 3000 cc.

Así mismo, **el volumen de reserva espiratoria** es el que corresponde al aire eliminado mediante una espiración forzada después de la espiración normal. Es de unos 1100 cc. Por muy forzada que se haga la espiración, los pulmones no se quedan sin aire, siempre permanece en ellos un volumen remanente (volumen residual) de unos 1200 cc.

Se denomina **capacidad vital** de los pulmones al volumen máximo de aire que se puede eliminar después de haber llenado por completo los pulmones = V. reserva inspiratoria + V. corriente + V. Reserva espiratoria. Para medir los volúmenes y capacidades pulmonares se utilizan unos aparatos llamados espirómetros.

## INTERCAMBIO RESPIRATORIO

Este intercambio consiste en la difusión continua que experimenta el oxígeno del aire, contenido en los alvéolos, hacia la sangre de los capilares que los rodean, y la del CO<sub>2</sub> de la sangre hacia los alvéolos.

Ambos espacios están separados por la **membrana respiratoria** que comprenden desde la luz del alvéolo hacia el eritrocito: película de agua, membrana y citoplasma de la célula, membrana basal conjuntiva, etc.

Es lógico pensar, y el análisis lo demuestra, que la proporción de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> del aire inspirado (21 % y 0'04 % respectivamente) es diferente a la del aire espirado (16 % y 4% respectivamente). La proporción de nitrógeno no varía, pero sí la de vapor de agua que es más abundante en el aire espirado.

La sangre que llega por los capilares alveolares es pobre en oxígeno, por tanto, la tensión de este gas en ella (93 mm Hg) es menor que la tensión del O<sub>2</sub> en el aire de los alvéolos (104 mm Hg). Debido a esta diferencia de tensión se establece un movimiento difusivo de O<sub>2</sub> desde los alvéolos, a través de las paredes alveolares y de las paredes de los capilares, hasta el plasma sanguíneo. La mayoría del O<sub>2</sub> que llega a la sangre se combina con la hemoglobina formando la oxihemoglobina (disuelto a penas se transporta un 0'3 %).

En la sangre tenemos entre 14-16 % de hemoglobina y cada gramo de hemoglobina se puede combinar con 1'34 cc de O<sub>2</sub>, por lo que se puede transportar 20 ml de O<sub>2</sub>/100 ml de sangre.

El CO<sub>2</sub> procedente de la respiración celular se incorpora a la sangre y es conducido por ésta. Al llegar el CO<sub>2</sub> a los capilares alveolares, como la tensión de este gas en los alvéolos es inferior a la de la sangre (en sólo un mm Hg), difunde hacia los alvéolos, ya que el coeficiente de difusión de este gas es muy elevado.

Las células humanas forman cerca de 200 ml de CO<sub>2</sub>/min. y se transportan unos 4 ml/100 ml. La forma como se transporta son varias: Disuelto en el plasma (10 %); en forma de bicarbonato (catalizado por la anhidrasa carbónica que también regula el pH sanguíneo) se transporta entre el 60-70 %, y, por último, en forma de carbaminohemoglobina (CO<sub>2</sub>Hb) el 20 %.

Los factores que influyen en la velocidad de difusión son: la diferencia de tensión (presión) entre los gases de la sangre y aire alveolar; la permeabilidad de la membrana al CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, el área de intercambio (150 m<sup>2</sup>) y del volumen de sangre en contacto con los alvéolos.

**El intercambio gaseoso** en los tejidos es inverso al indicado en los pulmones. Una vez que del corazón sale la sangre oxigenada, se distribuye por todo el cuerpo. Cuando llega a los capilares de los tejidos, la tensión de O<sub>2</sub> sanguínea (40 mm Hg) es superior a la del plasma intersticial (5 mm Hg), pues las células lo están consumiendo permanentemente. La Oxihemoglobina, cede el oxígeno a las células.

En la sangre contenida en los capilares tisulares, se disuelve el CO<sub>2</sub> procedente del catabolismo celular gracias a la menor tensión de este gas en el líquido sanguíneo. Por tanto la sangre de dichos capilares, transformada en venosa, regresa al corazón para volver, después, de nuevo a los pulmones y realizar un nuevo intercambio gaseoso.

El cociente entre la cantidad de CO<sub>2</sub> expulsado y el O<sub>2</sub> inspirado es el **Cociente respiratorio** que, en condiciones normales vale 0'8. No puede pasar de 1, valor que se alcanza sólo si las células consumen glucosa en la respiración celular.

### 53.4.3. Regulación de la Respiración:

Las necesidades de O<sub>2</sub> en el organismo son distintas, según se esté en reposo o en actividad.

## CONTROL NERVIOSO DE LA RESPIRACIÓN

La frecuencia y la profundidad de los movimientos respiratorios, se adaptan a las necesidades de cada circunstancia. Voluntariamente la podemos incrementar, disminuir o incluso parar durante tiempo muy limitado.

**El centro respiratorio**, localizado en la formación reticular del bulbo, consta de un centro inspiratorio y de otro expiratorio y se encarga de controlar la frecuencia y profundidad de los movimientos de inspiración y expiración.

Del citado centro salen impulsos nerviosos motores que contraen, de forma regular, el diafragma y los músculos intercostales, y llegan a él fibras sensitivas que se origina principalmente en los pulmones. Si hay normalidad, los movimientos respiratorios son automáticos. Cada circuito (inspiratorio y expiratorio) actúa de forma sucesiva, pues uno inhibe al otro.

Hay otras vías relacionadas con el centro respiratorio: un dolor intenso activa la aceleración refleja de la respiración; por otro lado, hay receptores en la faringe y laringe, cuyos impulsos, inhiben los movimientos respiratorios. Estos receptores son importantes en casos de penetración de humos, sustancias corrosivas, alimentos, etc. que pudieran dañar al pulmón.

## CONTROL QUÍMICO DE LA RESPIRACIÓN

Ya vimos que en las arterias carótidas existe un abultamiento (seno o **cuerpo carotídeo**); también en la aorta existe un cuerpo aórtico. Ambos son quimiorreceptores, sensibles a los cambios de concentración del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{O}_2$  y envían estímulos al centro respiratorio del bulbo. Vimos que lo que más influye es el aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$ , aumentando la frecuencia y el volumen respiratorio.

Cuando detenemos voluntariamente los movimientos respiratorios se tiene la necesidad de respirar (disnea). Por el contrario, si se hacen varias respiraciones forzadas y seguidas, cesa durante un rato la necesidad de respirar (apnea)

También influye el pH sanguíneo que, en casos graves, provoca el aumento de la frecuencia respiratoria.

## REFLEJOS DE HERING-BREUER

Hay receptores en los bronquios, bronquiolos y, a veces, en los alvéolos sensibles a la distensión o a la compresión. Los impulsos viajan a través de los nervios vagos hasta el centro respiratorio. En caso de compresión se activa la inspiración o, si son distendidos, la expiración. Se llaman reflejos de insuflación de Hering-Breuer y reflejos de deflación de Hering-Breuer. Sus efectos, por tanto, son: disminución del volumen de ventilación, aumento de la frecuencia respiratoria y contribución a la ritmicidad respiratoria.

## 53.4.4. La fonación (OPCIONAL)

Consiste en la emisión de voz o de la palabra por el aparato fonador, cuyo órgano fundamental es la laringe. El mecanismo es el siguiente: el aire espirado, al pasar por la laringe, hace vibrar las cuerdas vocales (sonido glótico); algunas de cuyas cualidades serán modificadas por los ventrículos laríngeos, faringe, boca (lengua) y fosas nasales, dando lugar a la palabra.

Las cualidades de los sonidos emitidos son: intensidad o volumen, tono o altura y timbre.

La **intensidad** es debida a la amplitud de las vibraciones, la cual depende de la fuerza de espiración del aire.

El **tono** depende del nº de vibraciones/segundo y varía con la tensión y longitud de las cuerdas vocales; cuando mas tensas y más cortas, los sonidos son más agudos (mujeres y niños). Según el tono de voz, del más grave al más agudo son: bajo, barítono, tenor, contralto, mezzosoprano y soprano o tiple. Las tres últimas corresponden a las mujeres.

El **timbre** depende de los sonidos armónicos que acompañan al sonido fundamental. En el timbre influyen la alteración que sufren los armónicos en los ventrículos laríngeos, faringe, fosas nasales y boca que actúan como cajas de resonancia. La distinta conformación de dichas cavidades en las personas, da lugar

a distintos timbres de voz, aunque sean iguales en tono e intensidad (ej. la voz que emitimos con la nariz tapada o destapada no tiene el mismo timbre, al igual que cuando estamos costipados).

Las vocales son sonidos que se distinguen entre sí por el lugar de la cavidad bucal donde se pronuncian. Las consonantes se originan por el efecto que ejercen los obstáculos sobre las ondas sonoras en las cavidades de resonancia. Según el tipo de obstáculos se distinguen las consonantes labiales (p, b); guturales (k, g, j); labio-dentales (f); linguodentales (c, z), etc.

### 53.4.5. Principales enfermedades de las vías respiratorias.

- **Bronquitis.** Inflamación de los bronquios. Se la considera crónica cuando la tos y la espectoración dura más de 90 días/año.
  - **Asma bronquial.** Accesos agudos y repetidos de disnea intensa. Se contrae la musculatura lisa bronquial, dificultando el paso del aire. La causa más frecuente son las alergias.
  - **Atelectasia.** Desaparición del aire alveolar con unión de sus paredes, suele ser consecuencia de la obstrucción completa de un bronquio.
  - **Enfisema.** Dilatación permanente de los espacios alveolares, acompañada por la destrucción de las paredes; suele ser consecuencia, también, de la obstrucción de los bronquios.
  - **Neumonías.** Inflamaciones pulmonares por infección, se las conoce más frecuentemente como pulmonías.
  - **Pleuritis.** Inflamación de las pleuras. Las hojas pueden unirse (pleuritis seca), o separarse por acúmulo de líquido (pleuritis exudativa, que si contiene pus se le llama purulenta o empiema)
  - **Neumotórax.** Penetración de aire en la cavidad pleural, puede ser espontáneo o traumático
- Insuficiencia respiratoria. Incapacidad de mantener un nivel normal de  $O_2$  en la sangre. Suele producirse por fallos en el mecanismo de ventilación (por obstrucción al paso del aire), perfusión (por trombosis o embolia de la arteria pulmonar) o difusión (por engrosamiento de los tabiques alveolocapilar).

### Trastornos en el transporte de $O_2$ . Anoxia:

- **Anoxia anóxica.** Cuando hay tensión baja de  $O_2$  en la sangre arterial.
- **Anoxia anémica.** Cuando disminuye la proporción de hemoglobina en sangre.
- **Anoxia por éxtasis.** Hay una circulación lenta y no llega suficiente  $O_2$  para cubrir las necesidades.
- **Anoxia histiotóxica.** Envenenamiento celular que impide el aprovechamiento del oxígeno.

**Trastornos en el transporte de  $CO_2$ .** Si aumenta la concentración de  $CO_2$  en la sangre (en realidad de  $CO_3H_2$  y bicarbonatos), aumenta la acidez de la sangre (acidosis respiratoria), dificultándose el transporte de  $CO_2$  hacia los pulmones.

