

PARTE IV

Medicina general

EL AUDIÓMETRO

El sonido y el oído

Al comentar la capacidad auditiva, no podemos de dejar de realizar una breve exposición de dos factores concomitantes: el sonido y el oído, sin menoscabo de la gran importancia que tienen algunas partes del sistema nervioso en las que concurren.

El sonido

Veamos, ante todo, este primer factor, desde el punto de vista físico.

Aun cuando se acepte como sonido tanto el medio mecánico que lo ocasiona como su apreciación por el oído, físicamente considerado es un movimiento vibratorio originado en un cuerpo, que se transmite a través de medios materiales elásticos y que, al llegar a nuestro oído, nos produce la sensación fisiológica del sonido.

Cuando un objeto entra en vibración genera ondas que se propagan por los medios elásticos. Estas ondas mecánicas se caracterizan, principalmente, por su amplitud, que determinará la intensidad de las mismas y por la frecuencia, que es el número de oscilaciones que realizan por segundo.

Dependiendo de la elasticidad del medio, al propagarse la onda va perdiendo intensidad. Suponiendo que el medio sea totalmente elástico, tendremos una atenuación con relación a la distancia que nos separa del punto emisor del sonido. Como bien sabemos, las ondas que genera el punto emisor se transmiten en todas direcciones, creando esferas en las que se suceden los máximos y mínimos de la onda en movimiento. Por consiguiente, la atenuación con la distancia es debida a que la energía por unidad de superficie decrece con el cuadrado de la distancia, ya que la superficie de la esfera es: $4 \pi r^2$.

La velocidad, la frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por la expresión: $V = \lambda \cdot F$, donde:

V \equiv Velocidad

λ \equiv Longitud de onda

F \equiv Frecuencia

ahora bien, la velocidad del sonido depende del medio por el que se propaga, de la temperatura de éste e, incluso, del grado de humedad. Podemos decir, como curiosidad, que la velocidad crece con la temperatura según la expresión:

$$V = 20.06\sqrt{273 + C^\circ}$$

donde C° es la temperatura en grados centígrados. Para una temperatura de 20 grados centígrados, resolviendo el guarismo, tenemos una velocidad de 343,37 m/s.

Dada una temperatura y un grado de humedad en el aire, que es el medio más usual, es fácil saber para cada frecuencia cuál es la longitud de onda, no hay más que despejar ésta de la ecuación que la relaciona:

$$\lambda = \frac{V}{F} \quad \text{por esto a mayor frecuencia menor longitud de onda.}$$

Cuando una onda viaja en el aire y encuentra en su trayectoria un obstáculo que es otro

medio elástico diferente, parte de la onda se refleja, es decir, rebota, otra parte, dependiendo de la elasticidad del obstáculo, es absorbida por éste, y otra parte continúa después de haberlo atravesado, que es la llamada «onda refractada». De forma que la energía de la onda incidente es igual a la suma de la energía de la onda reflejada, la energía absorbida y la energía refractada, cumpliéndose de esta manera el principio de conservación de la energía.

Si una onda sonora es reflejada por una superficie, se sumará la onda incidente y la onda reflejada. Ahora bien, como ya se ha visto, en cada punto van sucediéndose máximos y mínimos, al sumarse dos ondas, la incidente y la reflejada, pueden coincidir en mayor o menor grado estos máximos y mínimos, obteniéndose en la suma puntos en el espacio de mayor o menor intensidad que la onda incidente. A este tipo de ondas se le denomina: ondas estacionarias.

Por razones que más adelante se indican, y por su relación con la fisiología de la audición, se emplea el sistema decibélico, en todas aquellas medidas que están relacionadas con la amplitud de la onda sonora y, de esta forma, no tener que usar números muy grandes, así como muy pequeños.

Sabemos que el decibelio es la décima parte del bel (B), se llama bel en honor del inglés Alexandre Graham Bell, inventor del audiómetro, pero más conocido por su invento del teléfono. Este sistema de notación, adoptado universalmente, permite realizar expansiones y compresiones de escalas en la forma necesaria, simplificando de gran manera los cálculos con grandes cantidades.

El sistema decibélico usa el logaritmo decimal como función matemática para realizar esta compresión y expansión de los números.

Veamos como funciona: si tomamos una cantidad de magnitud como referencia, por ejemplo 0,2 metros, podremos expresar cualquier otra magnitud referenciada o normalizada a esta primera, dividiendo la magnitud por 0,2 metros, que es la normalizada. Si con posterioridad aplicamos el logaritmo a esta magnitud, una vez normalizada, ésta tendrá una compresión-expansión.

Esta fue la idea de Bell para el Belio y, por tanto, en esto se basa el sistema decibélico.

Si tomamos la energía del sonido expresada en julios (J) y, tomando el julio como unidad de referencia, tendremos que una magnitud de energía se expresa en dB_{PWL} , realizando el logaritmo de la división de la magnitud por 1 julio, y multiplicando el resultado por 10 como indica la expresión:

$$E_{\text{dB}_{\text{PWL}}} = 10 \cdot \log \frac{E}{E_0}$$

donde E_0 será, para este caso: 1 julio.

En ocasiones, necesitaremos hablar de la presión del sonido, que es la medida habitual, que se emplea en el instrumento para medir la agudeza auditiva, es decir, el audiómetro. Para este caso, usaremos el dB_{SPL} y utilizaremos en lugar del 10 el 20 con el fin

de cuadrar la ecuación de dimensiones. La ecuación de conversión de presión en dB_{SPL} es:

$$P_{\text{dB SPL}} = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

donde:

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ dina/cm}^2$$

que es el umbral de audición.

De ahora en adelante, nos expresaremos en dB, entendiendo dB_{PWL} o dB_{SPL} , cuando hablemos de energía o de presión.

El oído

El órgano responsable de la recepción auditiva del sonido es el oído. Convencionalmente se divide en tres partes: externo, medio e interno. Este órgano también es el responsable del equilibrio, del que más adelante hablaremos.

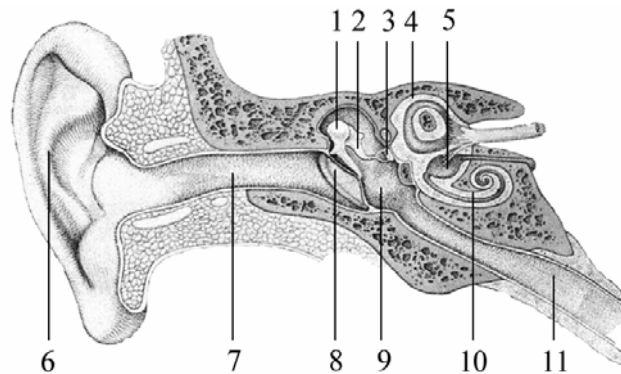


Fig. 1. Diagrama de una sección casi frontal del oído derecho. Son visibles, aunque no completamente, oído externo, oído medio con la trompa de Eustaquio, e oído interno. 1) *Martillo*. 2) *Yunque*. 3) *Estribo*. 4) *Conducto semicircular*. 5) *Sáculo*. 6) *Pabellón de la oreja*. 7) *Meato o conducto auditivo*. 8) *Membrana timpánica*. 9) *Caja timpánica*. 10) *Caracol o cóclea*. 11) *Trompa de Eustaquio o conducto faringotimpánico*.

Oído externo

El oído externo está formado por el pabellón de la oreja y el conducto auditivo externo.

El pabellón es una expansión laminar de esqueleto fibrocartilaginosa elástica revestido por piel, excepto el lóbulo, que no tiene cartílago. Tiene forma de concha con una anchura variable así como su altura, en términos generales, se podría cifrar su ancho en los 3 ó 4 cm y su alto en los 6 ó 7 cm. Está situado entre la articulación de la mandíbula (delante) y la mastoides (detrás). Presenta una cara o superficie interna convexa, que mira hacia la cabeza a la que está unida por su borde anterior, y otra cara o superficie externa cóncava, que presenta una serie de fosas o depresiones y salientes o relieves. El pabellón de la oreja tiene la misión específica de captar las vibraciones que circulan a su alrededor, con el objeto de conducir las, a través del conducto auditivo externo, a los órganos del oído medio e interno. También contribuye a localizar la procedencia de las vibraciones que son más intensas así como su dirección, determinando de esta forma el origen del sonido.

El conducto, también llamado meato auditivo externo, de una longitud comprendida entre los 2,5 y 3,5 cm, se inicia en la profundidad del pabellón auricular, para dirigirse mediante incurvaciones y oblicuamente hacia el oído medio, terminando en fondo de saco en la membrana timpánica. Tiene forma irregularmente cilíndrica, variando su diámetro según las zonas, con un máximo de 9 mm y un mínimo de 4,5 mm. El tercio medio externo de su pared es

cartilaginosa, siendo los dos tercios internos de estructura ósea. La piel que tapiza la porción cartilaginosa es gruesa y contiene finos vellos, glándulas sebáceas y glándulas ceruminosas, que producen el cerumen.

El conducto auditivo externo tiene dos finalidades, por una parte reunir hacia el oído medio las vibraciones sonoras que recoge el pabellón y, por la otra, proteger la delicada e importante membrana timpánica de los cuerpos extraños procedentes del exterior, dado que a unos 7 mm de esta membrana se forma una estrechez conocida como istmo, que impide o hace difícil la introducción de estos agentes extraños hasta el fondo del conducto en donde confluye con la membrana timpánica.

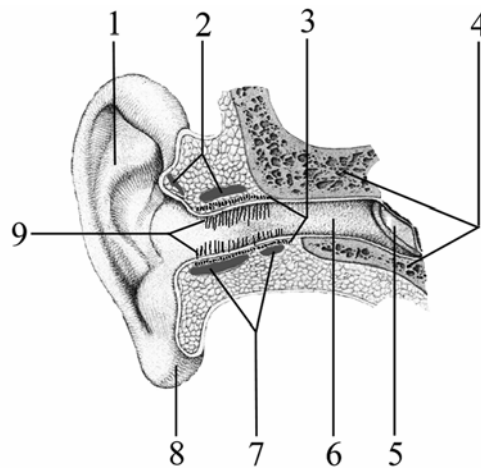


Fig. 2. Diagrama del oído externo en corte longitudinal. 1) *Pabellón de la oreja.* 2 y 7) *Cartílago elástico.* 3) *Glándulas ceruminosas.* 4) *Hueso temporal.* 5) *Membrana timpánica.* 6) *Meato o conducto auditivo externo.* 8) *Lóbulo de la oreja.* 9) *Glándulas sebáceas o folículos pilosebáceos.*

Oído medio o caja del tímpano

El oído medio, cavidad o caja timpánica, se compara con un tambor, cubierto por la tensa membrana timpánica, que hace la función de parche. Por esta causa, la palabra tímpano, sinónimo de caja timpánica, se refiere a la cavidad, en tanto que cuando se habla de la membrana, se refiere a la membrana timpánica.

El oído medio es una cavidad excavada en el espesor del hueso temporal, tapizada totalmente de mucosa. Es un espacio aproximadamente oblongo, es decir, como una lente bicóncava, que está situado en el fondo del conducto auditivo externo, y separado de éste por la membrana timpánica. Los espacios del oído medio forman un conjunto de sistemas huecos, rellenos de aire, llamado sistema neumático, que se ventila a través de la trompa de Eustaquio.

En una exposición del oído medio o caja del tímpano, aun siendo sucintamente, no es posible dejar de describir sus paredes, su revestimiento, las células mastoideas anejas, la trompa de Eustaquio, así como una serie de huesecillos contenidos en su espacio.

Sus paredes son de naturaleza ósea, excepto la externa o lateral. Son seis las paredes de la caja timpánica:

1. Pared externa o lateral.
2. Pared media o interna.
3. Pared superior.
4. Pared inferior.
5. Pared anterior.
6. Pared posterior.

Estas seis paredes, de cavidad irregularmente cúbica de la caja timpánica, están revestidas ininterrumpidamente por mucosa provista de epitelio pavimentoso, en ciertas zonas, y de epitelio cilíndrico, en otras.

1. **Pared externa o lateral**, formada por la membrana timpánica, tiene forma circular cuya superficie está hundida en forma de embudo, y su punta se dirige hacia el interior, es decir, hacia la cavidad de la caja timpánica, con un diámetro aproximado de un centímetro, siendo su espesor de apenas un milímetro. Se encuentra encajada en el anillo óseo, que la circunda. A pesar de su delgadez, es muy resistente y elástica debido a la disposición de un haz de fibras radiales y circulares concéntricas, dispuestas entre el revestimiento cutáneo de su superficie y el revestimiento mucoso de su superficie interna.

2. **Pared media o interna**, llamada también laberíntica, delimita el término entre el oído medio y el oído interno, también llamado laberinto. La porción que se haya directamente detrás de la membrana timpánica se denomina mesotímpano, y un espacio casi tan extenso como el mesotímpano, por arriba de éste, es llamado epitímpano o ático, donde están alojados los cuerpos del martillo y del yunque. Osículos éstos, que junto al denominado estribo, comentaremos en su conjunto más adelante.

Esta pared se encuentra situada directamente frente a la membrana timpánica, y en su parte central, hay una prominencia de la caja timpánica, con forma de cúpula aplanada, haciendo saliente hacia la cavidad, denominándose: promontorio, y corresponde a la primera vuelta de espiral del caracol. Por delante y arriba del promontorio se encuentra la ventana oval, que asegura la comunicación entre la cavidad del oído medio y la del oído interno. En esta cavidad oval embona el estribo. Por detrás y hacia abajo del promontorio, se halla el nicho de la ventana redonda, cerrada por una sutil membrana llamada: tímpano secundario.

3. **Pared superior**, llamada también «tegmen timpani», es decir, techo de la cavidad timpánica, está constituida por una fina lámina ósea, que separa la cavidad del oído medio de la fosa craneal media, situada por encima.

4. **Pared inferior**, llamada también pavimento de la caja timpánica, constituida por una laminilla ósea, en contacto inmediato con el hueco o golfo de la vena yugular interna, la cual se desliza por la parte lateral del cuello.

5. **Pared anterior**, llamada también carotídea por estar ubicada inmediatamente detrás del canal carotídeo, siendo este canal la entrada al cráneo de la arteria carótida interna.

Esta pared presenta el orificio que da origen a la trompa de Eustaquio o conducto faringotimpánico, de estructura esteofibromembranosa, que conecta la caja timpánica con la cavidad faríngea en la parte alta de la pared lateral. Tiene una longitud aproximada de 3 a 3,5 mm, su diámetro es mayor en la porción faríngea, estrechándose en el istmo, o lugar donde se unen las dos porciones.

La función de la trompa de Eustaquio es proporcionar una vía aérea desde la naso-faringe a la caja timpánica, para igualar las presiones en ambos lados del tímpano. Si la presión en el conducto auditivo externo es mayor que la del oído medio, el tímpano se distiende hacia dentro; si la presión en el oído medio es mayor que en el conducto auditivo externo, el tímpano se distiende hacia fuera.

6. **Pared posterior**, en su parte más elevada presenta el «aditus ad antrum» o umbral del antro, es decir, una fisura de entrada a pequeños espacios aéreos unidos entre sí, tapizados por una membrana mucosa, que continúa con la mucosa del oído medio, situados detrás del oído y llamados células mastoideas, al estar excavadas en el espesor de la apófisis mastoideas, que hace prominencia por detrás de la inserción del pabellón.

La primera y mayor de todas estas cavidades aéreas se denomina: antro mastoideo, y está en comunicación directa con el oído medio a través del «aditus ad antro». La función de estas células mastoideas es la de constituir un sistema neumático de reserva del oído medio.

Una vez comentadas las paredes del oído medio, hablaremos, como se ha dicho con anterioridad, de la importante cadena de huesecillos contenidos en el interior del oído medio o caja del tímpano.

En el interior de la caja del tímpano, hay una cadena de delicados huesecillos denominados: martillo, yunque y estribo, por la respectiva forma que tienen. Esta cadena de huesecillos está cubierta por mucosa de la caja, y son el medio normal de la transmisión del sonido a través del oído medio, y por ello están dispuestos en cadena en sentido láteromedio, es decir, desde la membrana del tímpano a la ventana oval.

El martillo está formado por cabeza, cuello y mango o manubrio, así como por una apófisis corta o gruesa y otra apófisis larga o anterior. El mango y las apófisis están dirigidos hacia el exterior, es decir, hacia las capas de la membrana timpánica con la que permanece comunicado. La cabeza y el cuello se extienden más allá del borde superior de la membrana timpánica, penetrando en el epitímpano o ático, articulándose la cabeza con el cuerpo del yunque. La articulación es una verdadera sinartrosis con su cápsula y sus ligamentos de sostén.

El yunque, que sigue al martillo, tiene dos ramas o apófisis, una larga o superior y otra corta o inferior. Esta última se dirige hacia atrás, descansando sobre la pared posterior ósea, actuando como palanca sobre la cual gira el yunque. La apófisis larga se angula hacia la pared interna, articulándose con la cabeza del estribo mediante su apófisis lenticular.

El estribo, que sucede al yunque en su dirección hacia dentro, posee una cabeza que articula, como se ha dicho, con el yunque por dos ramas, la anterior y la posterior que unen la cabeza a la base del estribo y por una base, platina o pie, que, insertándose en la ventana oval, la cierra completamente.

Con la articulación entre la cabeza del martillo y el cuerpo del yunque, la articulación entre el yunque y el estribo, así como la articulación mediante ligamento, entre la base del estribo y la ventana oval y los huesecillos, se consigue una continuidad ósea asegurada entre la pared externa del oído medio, y la pared interna del mismo.

Es importante tener presente que para mover esta cadena de huesecillos, existen dos diminutos músculos: músculo del martillo o tensor tímpani y el estribo, llamado también estapedio.

El tensor del tímpano, alojado en un canal óseo por encima de la trompa de Eustaquio, emerge en forma de tendón, que, doblándose en ángulo recto alrededor de la apófisis cocleiforme, también denominada pico de cuchara, se inserta en el cuello del martillo. Está innervado por una rama del quinto par craneal.

Al contraerse este pequeño músculo ejerce tracción sobre el mango del martillo, dirigiendo hacia dentro la membrana timpánica, al movilizar los tres huesecillos articulados entre sí, apretando el estribo contra la ventana oval, lo que provoca un aumento de la presión intralaberíntica, debido al líquido del oído interno llamado perilinfa.

Este músculo, que al parecer solamente se contrae cuando llegan al oído sonidos agudos, tiene una doble función; en efecto, al provocar la tensión de la membrana timpánica, disminuye, por una parte, la amplitud de los desplazamientos de esta membrana y, por otra parte, aumenta la

frecuencia vibratoria, haciéndola más idónea para la captación y transmisión de los sonidos agudos. Por lo tanto, cuando el oído no percibe sonidos, el músculo tensor del tímpano está totalmente relajado al igual que la membrana timpánica.

El músculo del estribo, llamado también estapedio, se proyecta fuera de la pirámide ósea situada en la pared posterior del oído medio, fijándose al cuello del estribo. Este músculo está inervado por una rama del facial.

Tiene una acción totalmente opuesta al músculo tensor del tímpano. Su acción consiste en que al contraerse, afloja o relaja la membrana timpánica, alejando la base del estribo de la ventana oval, determinando, de esta forma, una disminución de la presión intralaberíntica del oído interno. Se atribuye a este músculo la función de proteger el oído interno de los ruidos intensos demasiado súbitos, limitando la amplitud de las oscilaciones vibratorias de la ventana oval.

La función del oído medio es la transmisión al oído interno de las vibraciones sonoras recogidas por el pabellón, y reunidas en la membrana timpánica mediante el conducto auditivo externo, después de haberlas reforzado y amplificado. La amplificación y el refuerzo de las vibraciones se deben al hecho de que la transmisión se realiza desde la superficie de la membrana timpánica, la cual es 20 veces más amplia que la ventana oval, con lo que se consigue, en el ámbito de dicha ventana oval, una concentración de las vibraciones 20 veces mayor.

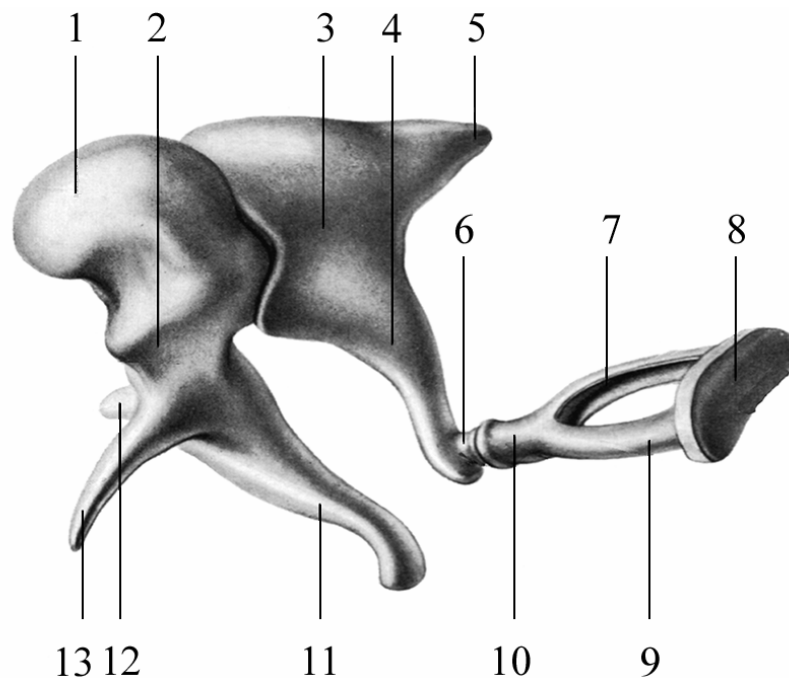


Fig. 3. Representación de los huesecillos del oído derecho. Tanto el martillo como el yunque y el estribo están articulados en su posición natural en el interior de la caja timpánica. Vista superointerna 1) Cabeza del martillo. 2) Cuello del martillo. 3) Cuerpo del yunque. 4) Rama inferior del yunque. 5) Rama superior del yunque. 6) Apófisis lenticular del yunque. 7) Rama posterior del estribo. 8) Base, platina o pie del estribo. 9) Rama anterior del estribo. 10) Cabeza del estribo. 11) Mango o manubrio del martillo. 12) Apófisis corta o gruesa del martillo. 13) Apófisis larga o anterior del martillo.

Oído interno o Laberinto

El oído interno o laberinto se encuentra excavado en el interior de la masa pétreo del hueso temporal de la calota craneal. Está situado entre el oído medio, por fuera, y la cavidad craneal, por dentro. La disposición de las cavidades y conductos que posee el oído interno, cruzándose de forma un tanto complicada, ha hecho que también sea llamado laberinto.

Está compuesto por los órganos receptores de la audición y del equilibrio, es decir, por el caracol y el laberinto. La cápsula ósea que rodea a estos órganos, llamada cápsula ótica, es el hueso más compacto que existe en el organismo, debido a ello, está protegido en un alto grado de

los choques mecánicos más que cualquier otra estructura orgánica.

Además, del hueso duro que rodea el caracol y el laberinto, los órganos terminales membranosos están rodeados por un líquido límpido e incoloro llamado perilinfa, y llenos con otro líquido también límpido e incoloro, que recibe el nombre de endolinfa. Este conjunto de líquidos es otra protección para estos órganos, al actuar como un cojín contra los movimientos bruscos de la cabeza. Se podría decir literalmente que el caracol membranoso y el laberinto flotan en los líquidos.

La endolinfa en el caracol, así como en el laberinto, forma un sistema continuo y cerrado sin drenaje. Los cambios del líquido dentro del sistema endolinfático, ocurren como resultado de transferencias osmóticas a través de las membranas semipermeables entre la endolinfa y la perilinfa. El líquido perilinfático, que rodea el oído interno membranoso, se continúa con los espacios subaracnoideos mediante el acueducto del caracol, que es un pequeño conducto que, atravesando el hueso, proporciona comunicación directa con el líquido cefalorraquídeo. Las alteraciones funcionales del sistema de regulación electrolítica dan lugar a una afección del oído interno, conocida con el nombre de síndrome de Ménière.

Así, como se ha visto con anterioridad, tanto el oído externo como el oído medio sólo tienen una función exclusivamente auditiva. El oído interno, que está formado por dos aparatos receptores funcionalmente distintos, tiene dos funciones. Una auditiva, que la constituye fundamentalmente la cóclea o caracol, situado en el laberinto anterior. La otra función, situada en el laberinto posterior, formado por el vestíbulo o aparato vestibular, preside junto con el cerebelo el sentido del equilibrio, y la posición del cuerpo en el espacio, tanto estando quieto como moviéndose, es decir, el equilibrio estático y el equilibrio dinámico.

Laberinto anterior

Seguidamente comentamos la constitución del laberinto anterior y más adelante lo haremos con el laberinto posterior. El laberinto anterior está formado, como se comentó, fundamentalmente por la cóclea; ésta no es más que un conductillo de unos 25 ó 30 mm, incluido en pleno espesor del hueso temporal, y está arrollado en forma de espiral, dando dos vueltas y media alrededor de una formación cónica llamada eje auditivo, de igual forma que un caracol, por lo que toma el nombre de este molusco. Descansa sobre un plano horizontal, siendo su base la porción del diámetro mayor, y como vimos, corresponde al promontorio de la pared interna del oído medio.

En el caracol o cóclea se puede apreciar las siguientes formaciones:

- La columella, que es el pilón o eje óseo central en el que se enrosca en forma de espiral el conducto del caracol.
- La lámina de los contornos, que es el conducto enrollado del caracol alrededor de la columella.

- La lámina espiral, que es la laminilla de formación ósea y membranosa, la cual divide parcialmente el conducto del caracol por su interior en dos compartimientos, escalas o rampas: una superior o vestibular, que comunica con la fosa oval, y otra inferior o timpánica, la cual corresponde a la ventana redonda.

En el interior de la cóclea o caracol óseo y moldeándose en el mismo, se encuentra la cóclea o caracol membranoso, el cual recibe igualmente el nombre de conducto coclear. Es un conductillo que contiene en su interior el líquido denominado endolinfa, y está enrollado en espiral en el interior del caracol óseo.

El órgano específico y responsable de la función auditiva es el órgano de Corti. Está situado dentro de la cóclea membranosa, extendiéndose por todo su largo, excepto en el helicotrema o hiato de Scarpa, es decir, el paso que conecta la rampa o escala del tímpano y la del vestíbulo, justamente en el vértice del caracol, y descansa sobre la llamada membrana basilar. Está constituido principalmente por dos columnas de tejido celular rígido que, congregándose en la parte superior, viene a formar una especie de galería; a ambos lados de estas dos columnas, se encuentran dispuestas en fila a lo largo del conducto coclear, las células sensoriales auditivas, las cuales tienen forma cilíndrica y están provistas de cilios o pelos auditivos.

Las células sensoriales, que son unas 24.000, terminan por un extremo en muchas prolongaciones delgadas similares a pestañas, llamadas pelos auditivos, y por el otro se apoyan en algunas células de sostén. Los pelos auditivos, que no son más que filamentos vibrátiles, están en contacto permanente con la membrana tectoria, esta membrana, más bien rígida y poco móvil, cubre el órgano de Corti. Las células de sostén, que sustentan las células sensoriales, gravitan en la membrana basilar, que a diferencia de la membrana tectoria, si se le exige, puede realizar oscilaciones más amplias. No obstante, es importante tener presente que ambas membranas pueden moverse con una determinada libertad en relación una con la otra.

De estas células auditivas de Corti parten fibras nerviosas sensoriales, que se dirigen hacia el ganglio espiral de Corti, situado también en el interior de la cóclea; de las células polares de estos ganglios parten fibras nerviosas que, reuniéndose en forma de haz, forman la porción coclear del octavo par craneal, es decir, el nervio auditivo, que se compone de dos partes: el nervio coclear y el nervio vestibular, que están en conexión con las células sensoriales. El nervio auditivo abandona la superficie posterior de la región petrosa del temporal a través del conducto auditivo interno y casi inmediatamente penetra en la protuberancia. La corteza auditiva se encuentra localizada en la circunvolución transversa anterior del lóbulo temporal.

Proceso de la audición

Una vez expuestas las premisas indispensables de física y de anatomía, con relación al sonido y el oído, y antes de recordar algunas de las diversas fases que comprende el proceso de la audición, es necesario extendernos nuevamente en el decibelio (dB), o decibel en la nomenclatura internacional, al ser éste la unidad de medida más generalizada al tratar una pérdida del sentido auditivo.

El sistema decibélico es un método logarítmico para la utilización cómoda de los números grandes. La extensión de la gama de sonidos que puede percibir el oído humano es tan grande que requiere la aplicación del método logarítmico. Para fines prácticos el sistema decibélico se emplea de la siguiente manera:

Presión	Energía	Relación
20 decibelios	10 decibelios	10 veces de aumento
40 decibelios	20 decibelios	100 veces de aumento
60 decibelios	30 decibelios	1.000 veces de aumento

120 decibelios	60 decibelios	1.000.000 de veces de aumento
240 decibelios	120 decibelios	1 billón de veces de aumento

Un movimiento infinitesimal de los cilios de las células sensoriales del órgano de Corti, es suficiente para proporcionar una débil sensación auditiva. No obstante, si se aumenta la energía que ha originado este movimiento infinitesimal un millón de veces, la sensación auditiva que se producirá es tolerable para el oído.

La intensidad fisiológica del sonido en diferentes circunstancias ambientales se muestra con aproximación en el siguiente cuadro, tomando como referencia 10^{-12} W/m².

dB	Circunstancia ambiental	Sensación percibida
0	Umbral de la audición.	Inaudible.
10	Caída de hojas.	
20	Susurro a 1 metro.	Silencio.
30	Ruido usual de la casa.	
40	Ruido calle tranquila.	Poco ruido.
50	Residencia suburbana.	
60	Conversación normal y ruido de tráfico.	
70	Conversación alta.	Ruido.
80	Ruido tráfico intenso.	
90	Ruido del tren.	
100	Taller industrial.	Mucho ruido.
110	Concierto de rock.	
120	Martillo neumático a 2 metros.	Umbral del dolor
130	Martillo neumático (operario).	
140	Avión a reacción a 30 metros.	Intolerable
150	Avión a reacción a 10 metros.	

Hay que recordar que una medida en decibelios no es un valor absoluto, sino una razón logarítmica matemática. La medida en decibelios expresa relaciones de presión sonora al comparar un sonido de una cierta presión sonora con la presión umbral de referencia. Cuando se dice que un sonido tiene un determinado número de decibelios, se está diciendo que se percibe con más intensidad que el valor de referencia, por el número de decibelios que se han nombrado.

Continuando ahora con la descripción del proceso de la audición, vemos que las ondas sonoras, en realidad cambios en la presión del aire, que se propagan en el ambiente exterior, son captadas por el oído externo y transmitidas mediante el canal auditivo exterior hacia el tímpano o caja timpánica. Esta energía mecánica, al incidir sobre la membrana timpánica, hace que ésta comience a vibrar y, dado que se encuentra íntimamente relacionada con la cadena de huesecillos, pone en movimiento el martillo, el yunque y el estribo. Como la base de este último osículo embona en la cavidad o ventana oval, en la que al moverse como un émbolo o pistón, las vibraciones de la membrana timpánica se transmiten desde el medio gaseoso, es decir, el aire, al líquido situado en el intersticio entre el caracol óseo y el membranoso, es decir, la perilinfa y después en el seno de la endolinfa, es decir, en el interior del caracol membranoso y, por lo tanto, en contacto inmediato y directo con las células auditivas de Corti.

Antes de continuar con esta descripción, también es conveniente recordar que, cuando se

transfieren las ondas sonoras de un medio gaseoso a un medio líquido, se realiza con una gran pérdida de energía, pues sólo penetran en el líquido el 0,1%. La razón es que el 99,9% de la energía es reflejada por la superficie del líquido. El trabajo del oído es transferir energía de un medio gaseoso a uno líquido sin excesivas pérdidas, lo que tendrá que hacer con un trabajo de alto rendimiento. La pérdida del 99,9% de energía corresponde a 30 decibelios, debido a que:

$$E_{dB} = 10 \log \frac{100}{0.1} = 10 \log 1000 = 10 \cdot 3 = 30 \text{ dB}$$

nivel alrededor del cual una persona empieza a quejarse de que tiene alguna dificultad auditiva.

Hay dos artificios mecánicos en el interior del oído medio, que contribuyen a restaurar la mayor pérdida de presión sonora que ocurre durante la transmisión: uno es el sistema de palancas y el otro es la relación del tímpano con la ventana oval.

La cadena de huesecillos actúa en el conjunto como una palanca de primer género o grado, en la cual el punto de apoyo o fulcro está representado por una línea que pasa a través del ligamento anterior del martillo y la apófisis corta del yunque; el brazo de potencia, es decir, la distancia que separa el fulcro del punto de aplicación de la fuerza, lo representa el mango del martillo, y el brazo de resistencia está formado por la apófisis larga del yunque.

En consecuencia, al ser el brazo de potencia más largo que el de resistencia, la palanca resulta ventajosa; por otra parte, la superficie de la membrana timpánica es mucho más amplia que la abertura de la ventana oval, en la que se articula el estribo, por lo que la transmisión de las ondas sonoras desde el medio gaseoso al medio líquido, se resuelve sin incurrir en una pérdida importante de energía durante la misma, como tendría que suceder dada la superior densidad del líquido con respecto al aire.

Aun siendo reiterativo, convendría aclarar que, con el sistema de palancas, la ganancia es mínima y restaura solamente de 2 a 3 decibelios de los 30 que se pierden. Bastante más importante que este sistema es la relación que hay entre la gran superficie de la membrana timpánica y la pequeña superficie de la platina del estribo. Esta razón se expresa con diferentes valores, Wever y Lawrence asignan una relación real o geométrica de las áreas de 21 a 1, pero la relación efectiva es de 14 a 1.

La diferencia entre estos dos valores se debe al hecho de que no todas las partes de la membrana timpánica son igualmente eficaces en la transmisión del sonido. La relación 14 a 1 corresponde a 23 decibelios. Esta diferencia de superficie multiplica la presión, por lo que:

$$P_{dB} = 20 \log \frac{14}{1} = 20 \cdot 1.146 = 22.92$$

De esta forma la acción transformadora del oído medio recobra de 25 a 27 de los 30 decibelios que se perdieron. Los 3 ó 5 decibelios restantes que se perdieron ya no se recuperan.

Al no ser los líquidos laberínticos comprimibles, y para que los movimientos del huesecillo estribo puedan tener lugar, la estructura representada por la membrana de la ventana redonda se abomba hacia fuera, en la misma medida en que la platina del estribo es introducida hacia dentro en el vestíbulo, y a la inversa. Los desplazamientos de volumen producidos por las vibraciones periódicas de la platina del estribo, determinan una inclinación de la membrana de separación, entre la escala superior vestibular y la escala inferior timpánica.

Como consecuencia de esta inclinación o desviación, surge un movimiento ondular, que recorre toda la estructura que separa las escalas o rampas, hasta el hiato de Scarpa o helicotrema. La longitud de onda va empequeñeciéndose a medida que se aproxima al helicotrema; la amplitud es, por el contrario, cada vez mayor. Esta onda migratoria alcanza su máximo en un punto determinado y, de inmediato, la amplitud cae a su valor 0; a partir de dicho punto desaparece todo movimiento ondular. La onda migratoria determina, en el punto de su máxima amplitud, un desplazamiento entre la membrana tectoria y la membrana basilar, produciéndose en este punto

una inflexión de los cilios de las células sensoriales por cizallamiento, lo que representa el estímulo adecuado para estos receptores de la energía mecánica de las ondas sonoras.

La formación del máximo de amplitud de cada onda migratoria viene determinada por la frecuencia, lo que a su vez condiciona sobre la membrana basilar un efecto excitante, directamente relacionado con la frecuencia y localizado en aquellas células sensoriales del órgano de Corti que se encuentran en la región donde se ha alcanzado dicho máximo de amplitud.

La desviación máxima producida por la onda migratoria ocurre para cada frecuencia en un punto distinto del órgano de Corti a lo largo de toda la membrana basilar, de tal forma que las frecuencias agudas se localizan en la espira basal de la cóclea, concretamente, en la vecindad de la platina del huesecillo estribo, en tanto que los tonos graves se proyectan en la proximidad del helicotrema, en el ámbito de la espira apical.

Esta disposición constituye la base morfológica de la organización tonotópica de la cóclea, es decir, de la unión punto a punto entre receptores de la señal sonora y neuronas centrales, elaboradoras de la señal del sistema auditivo.

La energía mecánica es transformada por células especializadas en el órgano de Corti en impulso nervioso y éste transmitido a las fibras nerviosas, con las cuales están ligadas, hasta alcanzar, por la vía descrita anteriormente, el sistema nervioso central, donde este impulso bioeléctrico será recompuesto, y oportunamente reelaborado para ser interpretado como sonido inteligible.

Laberinto posterior

Cualquier forma de alteración en el equilibrio no se considera una enfermedad como tal, sino la consecuencia de ciertos desórdenes subyacentes. El mantenimiento del equilibrio de nuestro cuerpo es el resultado de la actuación conjunta de una serie de mecanismos de regulación visual y cinestésica, presidido por el laberinto posterior. Estos mecanismos, en su conjunto, sirven para la orientación en el espacio, haciendo posible, por otra parte, la bipedestación y la marcha, mediante el control y regulación de numerosos grupos musculares, responsables de la estática y de la movilidad, haciendo frente a los influjos de la fuerza de gravedad y centrífuga.

Para la consecución de estas tareas el laberinto posterior, también llamado vestíbulo, cuya anatomía y fisiología detalladas son difíciles y, en gran parte, aún desconocidas incluso para los expertos, realiza dos funciones fundamentales. Una es mandar información al sistema nervioso central sobre la actuación de aceleraciones lineales y angulares, es decir, función de medida. La otra es coordinar los movimientos, gracias al control de la musculatura esquelética, integrando la información que le viene de los receptores sensoriales vestibulares, con la información procedente del sistema visual al servicio de la orientación espacial.

El vestíbulo está compuesto de una pequeña cavidad o vesiculilla, denominada utrículo, y de los tres conductos semicirculares, cuyos extremos desembocan en esta vesiculilla, que a la vez, está en comunicación con otra vesiculilla, llamada sáculo, la cual, a través de un delgado conducto de muy corta extensión, comunica directamente con el caracol.

Los conductos semicirculares se encuentran suspendidos en la perilinfa, la cual se asemeja al líquido cefalorraquídeo, mediante delicados filamentos de tejido fibroso. Son conocidos como conducto semicircular superior, posterior y lateral u horizontal, estando dispuestos perpendicularmente entre sí, en otras palabras, dispuestos según las tres direcciones del espacio, lo cual permite que los órganos sensoriales registren los movimientos que realiza la cabeza en cada uno de los tres planos del espacio: arriba y abajo, hacia delante y hacia atrás, y hacia la izquierda o hacia la derecha.

En uno de los dos extremos de cada conducto semicircular, cerca de su desembocadura en el utrículo, se aprecia una dilatación denominada ámpula o terminación ampular. En ella se encuentra una estructura en forma de silla de montar, llamada cresta de los conductos semicirculares o cresta ampular, sumergida en el fluido endolinfa, rico en potasio y pobre en sodio. Sobre la cresta se disponen células de sostén y células sensoriales ciliadas, cubiertas por una cápsula de sustancia gelatinosa, denominada normalmente cúpula, en la que hay delgadísimos conductos, que acogen a los cilios de estas células sensoriales. La cresta ampular sirve para detectar la aceleración angular.

En el interior del utrículo y del sáculo, existe una estructura en forma de lámina lisa de células sensoriales: son las máculas acústicas. La mácula utricular adopta una posición horizontal y la mácula sacular una disposición vertical, lo que es igual, están situadas aproximadamente en ángulo recto una respecto de la otra. Su estructura básica es análoga a la cresta ampular, es decir, que están constituidas igualmente por células de sostén y de células sensoriales ciliadas, cubiertas también por una capa gelatinosa compuesta de sulfomucopolisacáridos. Esta capa se denomina membrana otolítica, en cuya superficie, se encuentran grupos de cristales microscópicos de carbonato cálcico con aspecto romboidal, llamados otolitos. Las máculas son las detectoras de la aceleración lineal.

De la parte apical o extremo superior de cada una de estas células sensitivas, se proyecta un penacho de cerca de 60 cilios, llamados estereocilios que están en contacto directo con la endolinfa. Este penacho de cilios contiene, además, un cinocilio o quinocilio, siendo éste el de mayor prolongación. El quinocilio es un verdadero cilio no móvil, cuya típica estructura interna es la de un cilio verdadero, con una disposición nueve por dos de microtúbulos, que discurren a lo largo de su longitud. Como recordaremos, los microtúbulos son estructuras cilíndricas y huecas, compuestas de un gran número de moléculas de una proteína llamada tubulina, en la que aparecen unidas dos proteínas globulares, la α -tubulina y la β -tubulina. Cada microtúbulo está formado por trece hileras de monómeros de tubulina, dispuestos cilíndricamente. El quinocilio tiene una disposición, como se ha dicho, nueve por dos, es decir, nueve dobletes de microtúbulos externos y dos unidades solas centrales, que no giran.

El principio fisiológico de la actuación normal de los órganos sensoriales vestibulares radica en la diferencia de potencial entre las células sensoriales y el líquido extracelular. El potencial de membrana de estas células está próximo a -60 mV. Cuando los estereocilios son desplazados hacia el quinocilio (el lado externo), el potencial de membrana aumenta a cerca de -50 mV (por entrada de iones potasio); cuando se mueven en dirección opuesta, la membrana se

hiperpolariza. El desplazamiento de las prolongaciones en una dirección perpendicular no produce cambios en el potencial de membrana. Así pues, las prolongaciones ciliares proporcionan el mecanismo que genera los cambios en el potencial de membrana proporcionales (despolarización-hiperpolarización) a los desplazamientos.

Dicho de otra forma, las fibras nerviosas vestibulares presentan una serie constante de potenciales de acción, aun cuando el órgano sensorial periférico se encuentra en reposo. La inflexión o inclinación de los cilios de las células sensoriales, trae como consecuencia la modificación de esta actividad de reposo en el sentido de un aumento de la frecuencia espontánea de descarga de los potenciales de acción y una despolarización o, contrariamente, una inhibición de la actividad de reposo y una hiperpolarización. Pues bien, debido a este mecanismo de modulación de la actividad de reposo, nuestro cuerpo se encuentra en condiciones de captar los movimientos, tanto en una dirección como en la dirección opuesta, con un solo receptor.

A pesar de que las células sensoriales de las estructuras de las máculas y las de la cresta ampular son similares, el mecanismo de estimulación es diferente.

Veamos, cada mácula, como comentamos, está cubierta por la membrana otolítica y, en su interior, las células sensoriales están adheridas por su extremo basal a las estructuras subyacentes, o sea, al epitelio formado por células de sustentación. La aparición de fuerzas tangenciales de cizallamiento, trae como consecuencia variaciones en la presión de los otolitos, que se encuentran en la superficie de la membrana otolítica y, de esta forma, inclinaciones de los cilios de las células sensoriales, que representan el estímulo adecuado y desencadenan las reacciones sensoriales apropiadas, es decir, variación del potencial de reposo. Esta estimulación produce, por una parte, el mantenimiento de la posición estática de los globos oculares, o sea, los movimientos oculares compensadores y, por otra, la estabilidad de la postura corporal, ya que el aparato otolítico informa constantemente a los centros vestibulares sobre la posición de la cabeza en el espacio.

Examinemos ahora, la diferencia entre el mecanismo de estimulación de las células sensoriales de los conductos semicirculares, y el de las máculas.

Así como las máculas tienen la membrana otolítica, en los conductos semicirculares, como ya se comentó, existe la cápsula gelatinosa, la cual en su interior acoge los penachos de estereocilios verticalmente. Esta cápsula, llamada cúpula, se sitúa a horcajadas sobre la cresta ampular, y se extiende hasta el techo de la ámpula, en su estado natural, cerrándola herméticamente como si fuera un tabique movable (péndulo de torsión), impidiendo el paso de la endolinfa de una a otra parte del conducto semicircular.

Existen varias hipótesis sobre el funcionamiento de los conductos semicirculares. La mayor parte de ellas se basó en una anatomía incorrecta, surgida a partir de artefactos de reparación o experimentos no fisiológicos, utilizando estímulos supraumbrales. El mecanismo más probable, descrito por G. F. Dohmann (1981), es que durante la aceleración angular de la cabeza, la cresta ampular se mueve al unísono como si estuviera firmemente adherida al hueso subyacente por los nervios. Sin embargo, la endolinfa, debido a su inercia, tiende a permanecer inmóvil y es, por tanto, impelida a través del espacio entre la cúpula y la cresta ampular, dando lugar a la inclinación de los estereocilios y, con ello, provocando la modificación de potencial en la célula sensorial, que se propaga como impulso nervioso.

El ángulo de adhesión de los conductos semicirculares a la ámpula, así como la relación entre el tamaño del conducto semicircular y el espacio entre la cúpula y la cresta ampular, sirven para dirigir y mejorar el movimiento del fluido a través de la superficie de la cresta ampular, en respuesta a la máxima sensibilidad del sistema.

Cuando se alcanza una rotación constante, la endolinfa alcanza rápidamente un impulso, rotando, consecuentemente, a la misma velocidad que la cabeza y, por tanto, no hay posteriores estimaciones, mientras los estereocilios no restablezcan su posición de reposo. Con la deceleración, la endolinfa continúa moviéndose durante un brevísimo periodo de tiempo a causa

de su impulso recientemente adquirido, y origina la deflexión invertida de los estereocilios y, de esta manera, la respuesta de la célula sensorial a la inversa.

Como recordaremos, al estar los tres conductos semicirculares del oído en ángulo recto unos respecto de otros, realizan de forma efectiva un análisis vectorial de la rotación aplicada. Los tres conductos del otro oído tienen una posición complementaria. La respuesta combinada de los seis conductos de los vestíbulos del oído interno, permite analizar las aceleraciones y deceleraciones angulares.

Y para terminar esta descripción, señalar que tanto la cresta de los conductos semicirculares, como las máculas acústicas, son pequeños órganos de sentido que recuerdan por su constitución el órgano de Corti del oído. Puesto que son ingeniosos dispositivos adecuados para transformar determinados estímulos mecánicos, tales como las modificaciones de la posición de la cabeza en el espacio y movimientos rotatorios de ésta, en impulsos nerviosos. Estos impulsos, transmitidos por las fibras nerviosas, son transportados para su reelaboración e interpretados en sus respectivos núcleos cerebrales.

Del ganglio vestibular de Scarpa, que recibe los estímulos del utrículo, del sáculo y de los conductos semicirculares, parten fibras nerviosas que, reuniéndose en forma de haz, forman la porción vestibular del octavo par craneal, y terminan en un núcleo situado en la parte externa del piso del cuarto ventrículo, que está separado del núcleo coclear por el pedúnculo cerebeloso inferior. Este núcleo tiene varias subdivisiones, siendo la más importante el núcleo vestibular lateral de Deiters. Las fibras penetran luego en el bulbo dentro del cuerpo restiforme formando la raíz anterior del octavo par craneal.

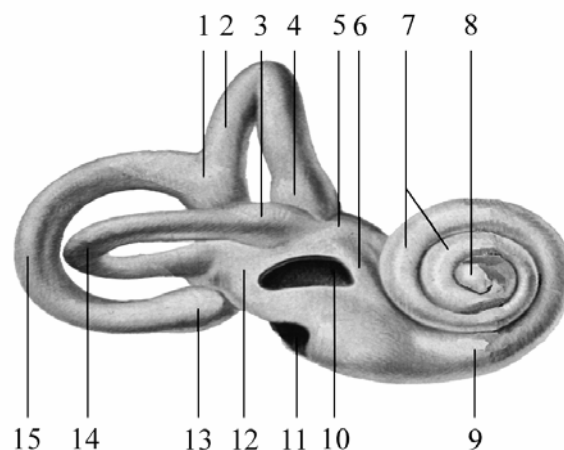


Fig. 4. Representación del laberinto óseo del oído derecho. Vista anteroexterna. 1) Rama común a los conductos semicirculares superior y posterior. 2) Conducto semicircular superior. 3) Ampolla del conducto semicircular externo. 4) Ampolla del conducto semicircular superior. 5) Fosita semiovoidea o utrículo. 6) Fosita hemisférica o sáculo. 7) Caracol o cóclea del laberinto anterior. 8) Cúpula del caracol. 9) Base del caracol. 10) Ventana oval. 11) Ventana redonda. 12) Laberinto posterior o vestíbulo. 13) Ampolla del conducto semicircular posterior. 14) Conducto semicircular externo. 15) Conducto semicircular posterior.

La capacidad auditiva

El sentido auditivo se puede perder parcial o totalmente como consecuencia de diversas causas. La pérdida puede corresponder a los tonos graves, a los medios o a los altos y a cualquier combinación de los anteriores. Este trastorno se conoce, generalmente, con el nombre de sordera o hipoacusia. Únicamente cuando la hipoacusia es total o muy cerca del total, es decir, más de 85 a 90 dB por debajo de lo normal, se podrá hablar de sordera.

Las hipoacusias implican una pérdida parcial de la función; solamente los oídos lesionados profundamente son incapaces de responder a la amplificación de los sonidos. Realmente, una persona principia a sentirse en sus relaciones sociales incapacitada por su sordera,

cuando su pérdida en ambos oídos alcanza o excede los 40 dB en las frecuencias del lenguaje, es decir, de 300 a 3.000 Hz (hercios o ciclos por segundo). La pérdida bilateral del oído de más de 40 dB en estas frecuencias, si no es posible corregirla por medios clínicos o quirúrgicos, aconseja el usar audífonos.

La hipoacusia presenta muy distintas características, base sobre la cual el médico establece posibles remedios. Los distintos tipos de sorderas dependen, ante todo, del lugar de la lesión o de la enfermedad: el oído externo, oído medio, oído interno, nervio acústico, vías acústicas cerebrales, etc. Hay hipoacusias que pueden tratarse y, por tanto, mejorarse, mientras que hay otras que son incurables.

Mediante el examen del oído se determina el tipo de hipoacusia, así como la gravedad de la lesión o enfermedad que la ha producido, si, además, se trata de una forma estable o reversible y, de esta manera, se puede aplicar los mejores tratamientos: médicos, físicos, quirúrgicos o de prótesis.

En la detección de las hipoacusias, por médico no audiólogo, por lo general, se emplean unas pruebas auditivas muy fáciles y eficaces, aun cuanto sus resultados son más bien cualitativos que cuantitativos. Éstas son: la prueba de voz cuchicheada, la prueba de voz normal, la prueba del reloj, la prueba de los diapasones, etc. Estas pruebas las describiremos a continuación, a excepción de la prueba de los diapasones, que merece, por su interés, ser descrito en otro apartado de este compendio.

Voz cuchicheada y voz normal

La prueba se realiza en una habitación tranquila lo más silenciosa posible, ocluyendo el oído que no se examina, y comprobando que la persona a examinar no puede leer en los labios de examinador. Consiste en aproximarse a 60 cm del oído de la persona a examinar, dirigiendo la voz hacia el oído. Si la persona examinada tiene una audición normal, puede repetir todo lo que se le dice. Si no puede entender la voz cuchicheada, se empleará una voz un poco más fuerte para terminar pudiendo usar un cuchicheo bastante más intenso.

En el caso de que al realizar lo indicado, no fuera suficientemente correcta la audición, se empleará la voz hablada, por lo general, con las mismas intensidades que se usaron con la voz cuchicheada. El examinador gradualmente aumentará la intensidad de la voz hasta que sea respondido correctamente.

Otro método consiste en mantener una intensidad de la voz constante, ya sea cuchicheada o hablada, pero variando la distancia, tomando nota de la intensidad de la voz y de la distancia.

Prueba del reloj

No hace muchos años numerosas personas se daban cuenta de su hipoacusia, cuando comprobaban que no eran capaces de percibir el tic tac de su reloj. El tic tac del reloj es un sonido cuyo tono es muy alto y es empleado para la comprobación de sordera para frecuencias muy altas.

Hay que tener en cuenta que éste método hoy en desuso era inadecuado para usarlo exclusivamente, ya que con él sólo se comprueba una pequeña porción de nuestro espectro auditivo. También se debe tener presente que, como el tic tac del reloj varía mucho de intensidad entre diversos relojes, los datos que proporciona este método no pueden ser comparados cuando el examinador emplea relojes diferentes.

Por lo dicho, se sobreentiende que, en caso de una persona marcadamente hipoacústica, es conveniente realizar una exploración del oído lo más precisa y exacta posible. Determinaciones cuantitativas de más calidad se hacen con un instrumento debidamente calibrado llamado audiómetro. Tal instrumento produce sonidos de intensidad conocida, ya sea en tonos puros en varias frecuencias o, incluso, si está preparado para ello, con la voz real, que es lo que se denomina: examen audiométrico con la voz viva.

En la consecución de un buen diagnóstico, se investigará y se estudiará la composición y

naturaleza del espectro auditivo de la persona, es decir, descubrir cuáles son las frecuencias que se oyen menos o, incluso, que no se oyen. Se tratará, según los casos, de las frecuencias bajas, medias o altas. Por tanto, se trata de fijar para cada frecuencia el valor de la pérdida auditiva, determinando lo que los fisiólogos llaman umbral auditivo, o sea, la menor intensidad acústica capaz de estimular el órgano del oído. Durante un examen del oído, realizado con el audiómetro, se determinan los umbrales de capacidad auditiva para cada una de las frecuencias.

La exploración se realiza en un ambiente de silencio, para que otros ruidos no influyan en la determinación del umbral auditivo. Se introduce a la persona a examinar en una cámara aislada acústicamente (similar a una cabina telefónica). Dentro de esta cámara se encuentran unos auriculares, que están conectados con el audiómetro, situado fuera de la cámara insonorizada, el cual produce tonos puros de varias frecuencias determinadas, que a través de los auriculares pueden ser escuchados. Una vez acoplados los auriculares a la persona a examinar, se envían, primero a un oído y luego al otro, los tonos puros producidos por el audiómetro, empezando por los más bajos 125 Hz, hasta los más altos 12.000 Hz, o más.

La persona examinada debe indicar para cada tono, apretando un pulsador o alzando la mano, según indicación del médico explorador, el nivel en que empieza a percibir estos tonos. La audición nunca es uniforme en todas las frecuencias y suele variar mucho con cada una de ellas. Las lecturas que se van obteniendo pueden ser transportadas a una gráfica para construir el denominado: audiograma.

El audiograma es un gráfico donde las abscisas muestran la intensidad y se exhibe en dB por debajo de lo normal, representado por el 0, que es el valor del umbral de audición. La escala desciende de 10 en 10 dB hasta los 100 dB, un nivel indicativo de sordera casi total.

Las ordenadas representan las frecuencias en Hz en una escala para cada oído, mostrando los Hz a los cuales se ha efectuado la exploración, e indican el nivel inferior normal para cada una de las frecuencias de forma independiente. La escala empieza en los 125 Hz seguida con 250, 500, 750, 1.000, 1.500, 2.000, 3.000, 4.000, 6.000 y 8.000 Hz.

Los valores liminares, es decir, en los límites de la audición, que se obtienen con la audiometría por vía aérea son representados en el audiograma, en general, mediante un trazado lineal de color rojo, para los del oído derecho o bien mediante un símbolo redondo (O), y delineando con color azul, los correspondientes al oído izquierdo o una cruz en aspa (X). La representación de la vía ósea en el audiograma es idénticamente igual, excepto que el trazado lineal se representa entrecortado, es decir, con pequeñas intermitencias.

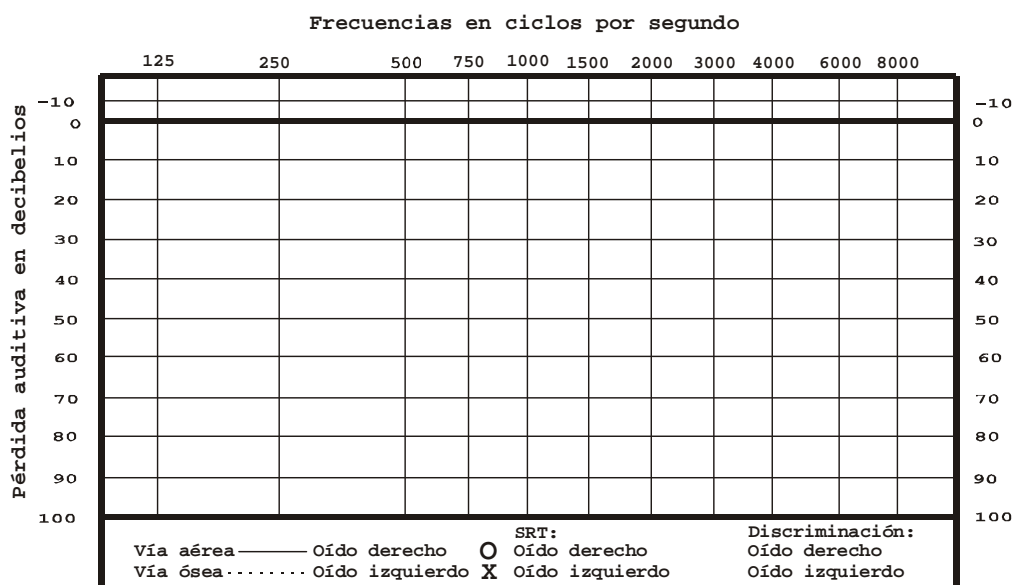


Fig. 5. Representación de un audiograma clásico.

Evaluar la pérdida de agudeza auditiva en porcentajes es poco satisfactoria, al no ser todas las señales con tonos puros que emplean en los exámenes audiométricos de igual importancia en la conversación o en situaciones en las que nos relacionamos con los sonidos. Los resultados de los valores numéricos obtenidos, de las pérdidas de audición para cada frecuencia, no deben emplearse para la deducción de un número porcentual, ya que tal proceder ocasiona engaño. Es mejor la expresión de pérdida de agudeza auditiva, anotando los valores en dB para cada frecuencia.

Mediante una serie de exploraciones del oído, en la que necesariamente está incluida la prueba audiométrica, el médico especialista, juzgando los resultados y las características de la curva auditiva obtenida, puede determinar si la sordera corresponde a la clasificación de uno de los dos grandes grupos en que ésta se divide: la sordera de transmisión o la sordera de percepción.

La sordera de transmisión, o conductiva, llamada también sordera de oído medio, se caracteriza, en general, por un descenso del tono para las frecuencias bajas, con buena conservación de las frecuencias altas. Se presenta en personas con afecciones del oído externo o del oído medio, tales como la otitis media, la otosclerosis y las perforaciones timpánicas. Son personas que tienen un oído interno normal; son duros de oído, a causa de un defecto en el mecanismo de conducción de las ondas sonoras hacia el oído interno y éstas no pueden alcanzar la cóclea o caracol. Tales personas oyen perfectamente, si el sonido se amplifica lo suficiente. Así pues, pueden usar audífonos con muy buenos resultados.

La sordera de percepción, también denominada hipoacusia neurosensorial, co-rresponde a las enfermedades de la cóclea, del nervio coclear o de los centros nerviosos auditivos. La causa puede ser la infección, el traumatismo, las sustancias tóxicas las enfermedades degenerativas o las anomalías congénitas.

Esta sordera raramente pueden tratarse y, así como para las de transmisión, el descenso del tono principal se encuentra en las frecuencias bajas. En estos casos, las primeras en descender son las frecuencias elevadas, por lo que un débil de oído de tipo perceptivo inicialmente puede oír bien la voz de conversación, comprendida en valores de frecuencia que no superen los 1.500 Hz, y no darse cuenta así del comienzo de la hipoacusia. En esta hipoacusia de percepción y, especialmente, en aquéllas causadas por enfermedades del órgano de Corti, cuando se usan audífonos, los resultados no son muy buenos.

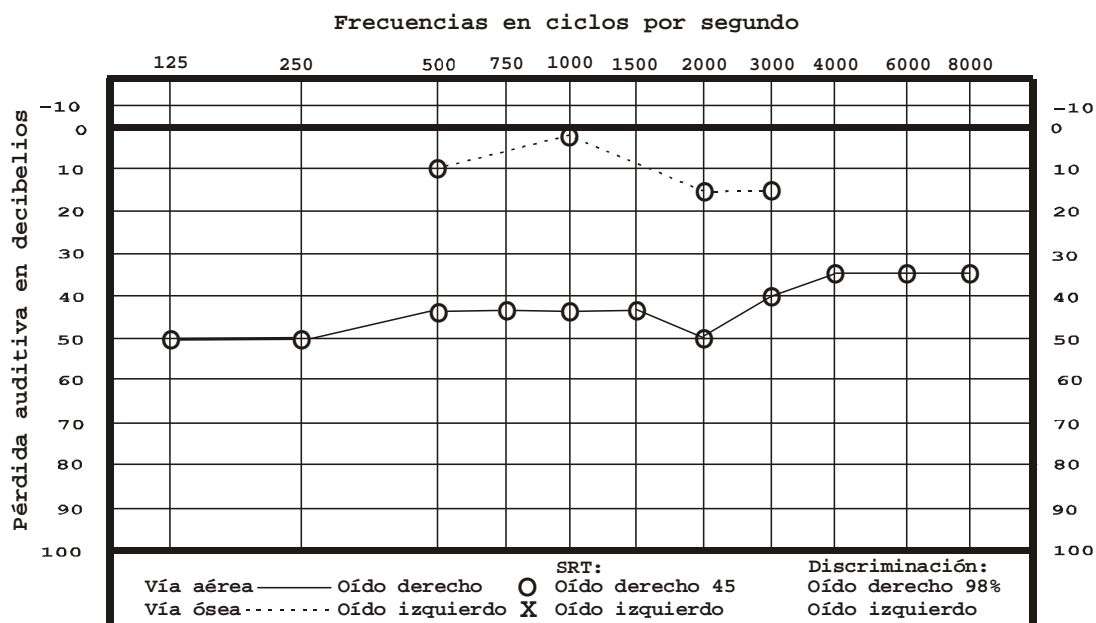


Fig. 6. Audiograma de una persona con otosclerosis en el oído derecho. Se puede observar que la respuesta normal de conducción ósea indica una función coclear excelente, reforzada por una discriminación normal. En este caso la cirugía correctora, es decir, una estapedectomía, o un audífono adaptado correctamente pueden proporcionar una audición excelente.

El audífono

Cuando no se puede suprimir una hipoacusia, o mejorarla por medios médicos, entonces debe recurrirse a la adaptación protésica. Se trata de una prótesis funcional que siempre debe ser indicada por el médico especialista en otorrinolaringología, mediante una completa y exacta investigación audiométrica. Ésta comprende entre otras, la determinación del audiograma tonal y verbal. La primera suministra el umbral de audición por vía aérea y por vía ósea dentro del campo de las frecuencias verbales, y la segunda informa sobre la comprensión verbal y la capacidad de discriminación.

Las prótesis auditivas, es decir, los audífonos utilizan componentes similares a los sistemas de megafonía, pero miniaturizados. Los distintos elementos que constituyen un audífono tales como el micrófono, el amplificador, el auricular, la fuente de alimentación, que generalmente es una batería recargable, y otros elementos, como circuitos electrónicos integrados, están dentro de un chasis o cubierta, que se coloca detrás del pabellón del oído, en su interior o en las patillas de gafas convencionales.

Los avances tecnológicos sobre audífonos han permitido la aparición de un nuevo tipo de adaptación audioprotésica: CIC (Completamente Insertado en el Canal). Este tipo de prótesis auditiva consiste en un audífono analógico de programación digital de un tamaño sumamente reducido, tan sólo 9 mm² (3 x 3), que permite insertarlo entre la segunda curva del conducto auditivo y la eminencia cartilaginosa delante del orificio del conducto auditivo externo, es decir, el trago, haciéndolo prácticamente invisible y permitiendo aprovechar de forma óptima las características físico-acústicas del oído.

Estos audífonos consisten en un innovador microcontrolador, que incorpora diversos programas informáticos. Estos programas realizan funciones como el *Realce de Habla*, que se activa cuando el ruido ambiental puede ser perjudicial para la inteligibilidad, el *Mapeo de la Sensación de Intensidad*, que compensa el reclutamiento presente en las pérdidas de percepción, y el *Volumen automático*, que modifica la magnitud de las ondas sonoras, en función de la intensidad de los sonidos ambientales y la pérdida del usuario.

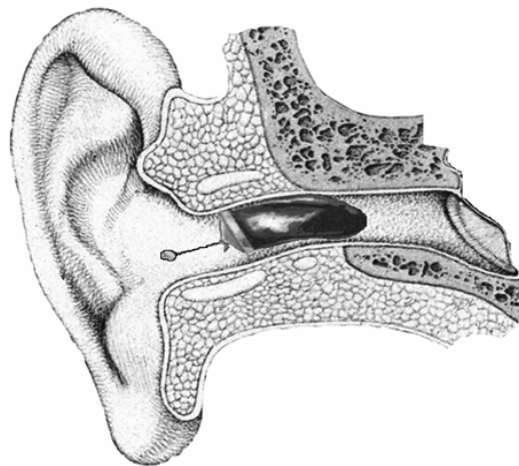


Fig. 7. Audífono intracanal insertado entre la segunda curva del conducto auditivo y el trago, haciéndolo prácticamente invisible.

EL AUDIÓMETRO

El audiómetro es el aparato empleado para medir la sensibilidad auditiva de un individuo, es decir, el instrumento con el cual se realizan las audiometrías. Consta, en términos generales, de un oscilador de ondas sinusoidales, regulable a unas determinadas frecuencias comprendidas dentro del campo de percepción del oído humano, dotado de un amplificador, que cuenta con atenuadores de nivel y un par de auriculares de salida de los tonos generados por el oscilador. Los

audiómetros se fabrican en una amplia gama de formas y tamaños, desde instrumentos portátiles, prácticamente casi de bolsillo, hasta grandes máquinas, que requieren soportes especiales. Todos están equipados con botones u otros tipos de mecanismos para variar las frecuencias y las amplitudes y con algún tipo de indicadores que muestran su posición.

Algunos audiómetros disponen de una salida para introducir y fijar la conexión de vibradores para realizar el examen de la audición por vía ósea. Los vibradores están recubiertos de caucho blando para hacer presión, sin causar molestias, contra la mastoidea o apófisis del hueso temporal, situada por detrás y debajo de la oreja. Estos dispositivos producen vibraciones en un rango de frecuencias similar a las reproducidas por los auriculares. También suelen estar preparados para poder llevar a cabo la audiometría vocal, para ello se completan con micrófono y circuito microfónico. La audiometría vocal está orientada a la determinación de curvas de inteligibilidad de la palabra.

Siendo este un compendio pensado para los Centros de Reconocimiento de Conductores, se va a describir las peculiaridades principales de las que este instrumento debe disponer en la verificación o exploración del umbral de audición de los conductores, portadores de armas, o vigilantes de seguridad privada.

Para que el audiómetro se considere adecuado para los Centros de Reconocimiento de Conductores, las características mínimas que debe tener, son: que las frecuencias que emita sean al menos de: 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz. Éstas deben ser claramente legibles por algún sistema eléctrico-mecánico, como podría ser un conmutador. También por un sistema de teclas, pero en cualquier caso, el examinador debe saber con claridad y exactitud, en cada momento, la frecuencia de la señal eléctrica que está mandando el aparato a los auriculares, algo que no se podría saber con otros sistemas que incorporan un potenciómetro, el cual no indica esta exactitud. A la vez, se deberá saber, con la misma exactitud, los niveles de presión sonora de los tonos del oscilador, los cuales deben estar claramente indicados, al menos, de cinco en cinco decibelios.

Solamente de esta manera y con esta exactitud, mediante unos sencillos cálculos, que comentaremos posteriormente, se podrá conocer la pérdida combinada entre los dos oídos, obteniendo el índice de esta pérdida auditiva, la cual está indicada en el **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, en su ANEXO IV, punto 2. CAPACIDAD AUDITIVA, apartado 2.1, Agudeza auditiva. Esta pérdida binaural combinada también la recoge el **Real Decreto 2487/1998, de 20 de noviembre**, en su APARTADO II, correspondiente a la CAPACIDAD AUDITIVA y el **Real Decreto 2272/85, de 4 de diciembre**, en su ANEXO 1, punto II SENTIDO DEL OÍDO, apartado A) Agudeza auditiva.

Después de todo lo indicado con relación al audiómetro, hay que hacer hincapié en que no todos los auriculares están indicados para estas mediciones. Los auriculares, necesariamente, tendrán una calibración determinada. Si no la poseen, no se puede saber la cantidad de dB que se están emitiendo, ni siquiera se puede saber si se está produciendo el sonido tonal en una frecuencia o si se produce en varias. Llamando a esta deformación, que afecta tanto a la amplitud de onda como a la frecuencia: distorsión.

Por lo tanto, las características de los auriculares son de gran importancia. Éstas deben cumplir inexcusablemente unas normas, desarrolladas atendiendo a los criterios de estandarización de Instituciones Nacionales U.N.E., o de Instituciones Europeas E.N., o Internacionales C.E.I., I.S.O., etc.

Como orientación, se indica que existen en el mercado varios tipos de auriculares que cumplen dichas normas, de entre los que se ha elegido dos de ellos, sin discriminar al resto, como ejemplo en la descripción de las especificaciones que deben disponer estos auriculares.

AURICULAR: BELLER DT 48	AURICULAR: TELEPHONICS THD 39
-------------------------	-------------------------------

Frecuencia Hz	Nivel de referencia dB	Equivalente (Referencia 20 μ Pa DB)
125	47,5	45,0
250	28,5	25,5
500	14,5	11,5
1.000	8,0	7,0
1.500	7,5	6,5
2.000	8,0	9,0
3.000	6,0	10,0
4.000	5,5	9,5
6.000	8,0	15,5
8.000	14,5	13,0

Resumiendo las características indispensables de este instrumento son:

- Indicación visual de los dB que emita el audiómetro con exactitud y, de forma claramente legible, al igual que los Hz. (Por lo menos: 500 Hz 1.000 Hz 2.000 Hz y 4.000 Hz).
- Los auriculares estarán calibrados atendiendo a los criterios de la norma U.N.E. (Nacionales), o E.N. (Europeas), o C.E.I., I.S.O., etc. (Internacionales).



Fig. 8. Audiómetro con auriculares.

Cálculo de la Pérdida Combinada:

Ejemplo:

	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	Total
OD	25 dB	20 dB	30 dB	25 dB	100
OI	35 dB	25 dB	20 dB	30 dB	110

$$OD \rightarrow \frac{100}{4} = 25 \quad OI \rightarrow \frac{110}{4} = 27,5$$

Fórmula:

$$\frac{7 \times \text{mejor oído} + \text{peor oído}}{8} = \text{Pérdida combinada}, \text{ es decir, } \frac{(7 \times 25 + 27,5)}{8} = 25,3$$

LA CÁMARA INSONORIZADA

Como se ha comentado, cuando se realiza una audiometría tonal, se introduce a la persona a examinar en un compartimiento llamado: cámara insonorizada. Su misión es atenuar los ruidos procedentes del exterior para que éstos no se transmitan al interior y tampoco existan reverberaciones. De esta forma, los ruidos no pueden interferir los tonos que se emiten por el audiómetro, que, a su vez, son transmitidos por los auriculares.

En el interior de esta cámara insonorizada se encuentran los auriculares, que están conectados al audiómetro, situado en el exterior de la cámara. Así mismo dispondrá de un asiento, lo más confortable posible, para la persona a explorar. Es imprescindible que la persona se encuentre cómoda y relajada, con ello prestará la mejor atención a la prueba e indicaciones que reciba del médico explorador. También es conveniente que la persona explorada no vea las manipulaciones del médico durante la exploración.

La cámara insonorizada deberá tener unas dimensiones adecuadas en su interior. Como orientación, podría ser al menos de 1,85 x 0,80 x 0,60 metros, y disponer de una iluminación discreta en su interior, la cual disminuirá el estado de tensión de la persona a explorar. En uno de sus lados, frontal o lateral, tendrá una ventana con un doble cristal que permita una cámara de aire para mejor paliación de los sonidos procedentes del exterior. A la vez esta ventana sirve para que la persona esté visible y, de esta manera, se pueda ser controlada por el médico que está realizando la exploración audiométrica. Por supuesto, esta ventana evita en algunas personas el temor a permanecer en lugares cerrados (claustrofobia).

La cámara insonorizada estará emplazada en la sala más silenciosa del Centro de Reconocimientos de Conductores, y siendo éste un lugar normal, los órdenes de atenuación sonora, adecuados al nivel de ruidos del exterior, bien podrían ser para frecuencias de:

125 Hz	9 dB	250 Hz	13 dB	500 Hz	27 dB
1.000 Hz	36 dB	2.000 Hz	33 dB	3.000 Hz	38 dB

Por supuesto, todas estas mediciones, que se han detallado de la cámara insonorizada, o aquellas que pudiera tener, deben ser garantizadas por el fabricante responsable de su insonorización.



Fig. 9. Cámara insonorizada con soporte para el audiómetro.

ACOPLAMIENTO DE AUDIÓMETRO

La legislación vigente, es decir, el **Real Decreto 2272/85, de 4 de diciembre**, el **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, y el **Real Decreto 2487/1998, de 20 de noviembre**, en sus apartados relacionados con la capacidad auditiva, indica que las hipoacusias, con o sin audífono, deben tener una capacidad auditiva determinada, es decir, usando prótesis o no. El audiómetro que se ha descrito no sirve para medir la audición de un individuo que use algún tipo de audífono, que, como sabemos, es un aparato electrónico, el cual consta de un micrófono y un altavoz, entre otros componentes. Se utiliza, como se comentó, para facilitar la audición en algunos tipos de hipoacusia o sordera, generalmente, las de transmisión o del oído medio. Se coloca en el pabellón auricular, rodeando el conducto auditivo externo.

Como se ha comentado, a una persona que use audífono no se le puede realizar la misma audiometría tonal con el audiómetro, que a otra que no emplee este tipo de prótesis. Esto es, debido al efecto Larsen, recordemos que el efecto Larsen es un fenómeno por el que el receptor de un microteléfono capta el sonido transmitido por su propio emisor.

Por consiguiente, cuando se colocan los auriculares del audiómetro a la persona que use audífono, los niveles de presión sonora de los tonos emitidos por el audiómetro realizan un acoplamiento de sonido. Esto se produce a una o varias determinadas frecuencias, que es la llamada frecuencia de acoplamiento, oyéndose un pitido continuo, que es el resultado de un sistema acoplado. Esta manifestación sonora se produce por sí misma, debido a que el más insignificante ruido es amplificado por el sistema del audífono, que como sabemos posee un micrófono y un pequeño auricular. Al estar el auricular del audiómetro próximo al audífono, reflejan las ondas del ruido ya amplificadas y vuelven a ser captadas por el micrófono del audífono, produciéndose en aquellas frecuencias que se suman, una realimentación positiva, de tal manera que esta o estas frecuencias son extremadamente amplificadas hasta llegar a la saturación. En otras ocasiones, cuando la señal emitida por el audiómetro a los auriculares es interferida por

el reflejo de dicha señal, al rebotar en las paredes de dichos auriculares del audiómetro. Al ser el recorrido del sonido muy pequeño en la reflexión, se atenúa muy poco, y el micrófono del audífono recibe el mismo sonido que está emitiendo, el cual a la vez se amplifica más, produciéndose, como se ha dicho, el pitido continuo.

Cuando se hacen exploraciones audiométricas a personas que usan audífono, se tienen que realizar con un acoplamiento de audiómetro para campo abierto, o bien, con un audiómetro que disponga de este acoplamiento y así poder llevar a la práctica las mediciones audiométricas con toda garantía.

Estos audiómetros en lugar de auriculares llevan un amplificador de potencia y un altavoz. Los amplificadores de los auriculares son para muy poca potencia, tienen tan sólo 100 mW., como máximo, siendo esto a toda potencia. Para este instrumento no existe ninguna norma, ni nacional ni internacional, sin embargo, lógicamente, el fabricante como responsable debe disponer firmado, por técnico competente, del certificado con las características esenciales de estos aparatos, así como de la calibración de los aparatos en cuestión. El técnico puede ser un ingeniero especializado en acústica o bien un físico también especializado. En España no existe la especialidad universitaria de acústica, pero sí existen estos técnicos, que tienen una valía demostrada por sus años de experiencia en este campo.

Por otra parte, indicar que esta prueba no se puede realizar en un lugar donde el ambiente sea reverberante, es decir, donde existan muchas reflexiones, puesto que daría lugar a la persistencia del sonido cuando ya ha cesado la fuente emisora, debido a las reflexiones múltiples del sonido en las paredes.

Extendiéndonos más en este tema por su interés, y queriendo dejar constancia de su importancia, esta prueba solamente se debe realizar en lo que se denomina un ambiente anecoico. Es lo más parecido a un campo abierto y, como bien sabemos, es aquél en el cual no existe ningún obstáculo, por lo tanto, no hay reflexiones del sonido. Cualquier espacio cerrado tiene cierta reverberación, se puede obtener ambientes poco reverberantes, utilizando materiales de revestimiento muy absorbentes, en el interior del lugar, consiguiendo así lo que se denomina ambiente anecoico.

LA CÁMARA ANECOICA

Es un recinto en el que no existen sonidos reflejados, es decir, en el que todas las superficies que lo constituyen son superficies absorbentes o, al menos, con coeficientes de absorción muy altos por la colocación de una serie de paneles, con unas características muy determinadas, que absorben las reflexiones. Es decir, cuando llega un sonido lo absorben e impiden que se refleje, por lo que el tiempo de reverberación es muy corto.

Si en una cámara no anecoica producimos un sonido, se escucha todo lo que está mandando el emisor del sonido más todas las ondas reflejadas por las paredes, con el resultado de que éstas se sumaran a las ondas directas. Ocurre que si el altavoz emite una presión sonora de 35 dB, a éstos se anexionan los de reflexión, siendo el resultado de la suma de ambos lo que se percibirá. Esto hace que, en las audiometrías que se realizan a las personas que emplean audífono, se tengan que realizar, necesariamente, en lo que se denomina campo abierto.

En el campo abierto se tiene el cero absoluto de reflexiones. En un ambiente anecoico no se puede obtener el cero absoluto, siendo este estado una idealización. Hay que simular el campo abierto, creando un ambiente libre de reverberaciones, siendo éste lo más similar al campo abierto. Para ello es suficiente un tiempo de reverberación en el interior de la cámara a las frecuencias de medición inferiores a 2 milisegundos.

Esta cámara anecoica tiene las dimensiones normales, semejantes a la cámara

insonorizada que se ha descrito anteriormente. Toda su superficie interna está revestida con paneles o forros de materiales muy absorbentes. Se suele usar para este recubrimiento goma espuma de alta densidad, con determinadas formas geométricas, las cuales son atenuantes de las ondas sonoras. La mejor disposición interna de esta estructura de envoltura de la cámara será la ondulada.

En el interior se encuentra instalado el altavoz, que deberá estar calibrado junto con el amplificador, constituyendo los dos el acoplamiento del audiómetro.

Por todo lo dicho, y sin querer extendernos más en el tema, se puede vislumbrar, que al no ser reflectantes las superficies en este tipo cámara, el sonido que llega a través de altavoz es directo, como correspondería a un campo abierto.

Tengamos en cuenta, por último, que como bien sabemos, el coeficiente de absorción es el factor que mide la calidad del material que impide la reverberación, en función de las frecuencias.

Por tanto, es lógico que sólo los técnicos especializados en acústica sean los que determinen si el ambiente anecoico de la cámara es correcto o, por el contrario, no lo es, emitiendo los informes y certificados que pudieran corresponder.

EL DIAPASÓN

Audición por la vía ósea

El diapasón es un instrumento empleado en medicina para el diagnóstico de las enfermedades de la audición, sin menos cabo de las múltiples aplicaciones que tiene en estudios físicos y acústicos.

Recordemos que la energía sonora no llega exclusivamente al oído interno por medio del aparato de conducción sonora del oído, es decir, por vía aérea, sino que simultáneamente el sonido también puede alcanzar la cóclea a través de la cápsula laberíntica, dado que los huesos del cráneo en su conjunto entran en vibración cuando quedan incluidos dentro de un campo sonoro. Esta conducción de la energía sonora a la cóclea se la denomina vía o conducción ósea. Por eso mismo, en el estudio de las hipoacusias se debe determinar el umbral de audición tanto por la vía aérea como por la vía ósea.

Como se comentó en el apartado dedicado al audiómetro, con este instrumento, mediante un sistema de vibraciones en un rango de frecuencias similar a las obtenidas para la vía aérea, se puede realizar el examen de la audición por la vía ósea. De igual modo, las pruebas con los diapasones también son determinantes de la agudeza auditiva, siendo en la actualidad una parte importante del examen otológico funcional, siempre y cuando se usen los diapasones adecuados y se empleen las técnicas de aplicación correctas para cada una de las pruebas.

Un error muy común es usar un diapasón incorrecto. Por ejemplo, los diapasones de baja frecuencia, es decir, de 128 Hz o vibraciones por segundo, y en algunas ocasiones los de 256 Hz, no son realmente apropiados, pues su empleo sólo está indicado para estimular los receptores de vibración. Cuando se usan los diapasones de esas frecuencias, se tiene dificultad en discriminar entre la sensación vibratoria y la percepción propiamente auditiva, obteniéndose resultados inadecuados por no tener en cuenta dichas causas. En lugar de estos diapasones se utilizarán, para probar el oído, los de frecuencias vibratorias de 512 Hz a 1.024 Hz, y para determinadas pruebas un diapasón que vibre a 2.048 Hz.

La exploración con el diapasón

El estudio del oído con el diapasón requiere recordar algunos puntos, que por su importancia y por el interés de las propias pruebas puede ser oportuno comentar. Algunos de los más significativos son:

- Explicar la naturaleza de la prueba a la persona a reconocer, conviniendo las respuestas más adecuadas durante el curso de la exploración.
- Usar el diapasón adecuado, preferiblemente las frecuencias indicadas anteriormente.
- Colocar el diapasón en la región adecuada de la mastoides, ya que no todas las partes de la misma son apropiadas para realizar la prueba. Los tanteos y los errores son precisos en la determinación del lugar más idóneo para aplicar el diapasón.
- Realizar la aplicación del diapasón de forma intermitente, más que continua.
- Dirigir las puntas del diapasón hacia el oído, evitando la posición oblicua con respecto al mismo.
- Hacer que el diapasón vibre ligeramente, ya que el objeto de las pruebas no

es determinar en qué grado puede soportarse un sonido intenso, sino todo lo contrario, qué sonido mínimo se puede oír. Provocar la vibración del diapasón, comprimiendo sus puntas entre los dedos pulgar e índice y soltándolo bruscamente. Nunca hay que hacerlo vibrar golpeándolo sobre una superficie demasiado dura, puesto que produciría sobretonos y sonidos demasiado intensos.

- Realizar las pruebas cerca del umbral, puesto que la persona a la que se está examinado se fatiga si debe esperar mucho tiempo para responder, mientras aguarda que el diapasón, demasiado activado, vaya extinguiéndose lentamente.
- Explorar cada oído por separado, comenzando con el que esté mejor, ensordeciendo el oído contralateral con algodón humedecido, colocándolo en el conducto auditivo externo.
- Repetir tantas veces como sea necesario las pruebas con resultado dudoso o que no concuerden.
- Aunque no necesariamente hace falta para realizar estas pruebas una cámara insonorizada, por lo menos utilizar un espacio o habitación lo más tranquila posible y sin fenómenos de eco, que alteran los resultados.

Respuestas normales

Si un diapasón en vibración es colocado sobre los dientes incisivos superiores o en cualquier porción de la línea media del cráneo, las ondas sonoras viajan a través del cráneo, activando los líquidos de la cóclea y producen sensación auditiva. Cuando ambos oídos son normales, el sonido se percibe con la misma intensidad en los dos oídos. Si se coloca sobre una apófisis mastoideas, se percibe en ese lugar durante un cierto tiempo, antes de que gradualmente desaparezca el sonido. Inmediatamente después de que no se perciba el sonido, y sin activar de nuevo el diapasón, se coloca enfrente del conducto auditivo del mismo oído; el sonido es percibido nuevamente hasta desaparecer con lentitud. Por lo general, un diapasón se oye el doble de tiempo por vía aérea que por vía ósea, dicho de otra forma, la estimulación de la cóclea produce sensación auditiva, independientemente de las vías por las que llegan las vibraciones. Como la vía del oído medio es más eficaz, un oído normal percibe el sonido conducido por vía aérea durante más tiempo que si es conducido por vía ósea.

La prueba de Weber

Se coloca el diapasón en vibración en medio de la frente o bien en cualquier porción de la línea media del cráneo, algunos audiólogos también prefieren en el centro, justamente en la línea del pelo. En caso de hipoacusia de conducción unilateral por lesión del oído medio, el sonido se percibe mejor en el oído enfermo, suponiendo que es normal el oído en el lado opuesto. Este resultado de la prueba se denomina: Weber lateralizado. Si la hipoacusia es de percepción o neurosensorial, es decir, de oído interno, el sonido se percibe mejor en el oído sano. Si la audición es normal o simétricamente pobre, entonces el sonido se percibe probablemente por el medio. Si la persona examinada no puede oír nada, se coloca la base del diapasón sobre los dientes incisivos superiores, lo cual hace más sensible la prueba.

Mediante esta prueba se puede determinar si la hipoacusia unilateral es conductiva o neurosensorial. Las diversas combinaciones de la prueba pueden hacerla confusa, por eso se realiza la prueba de Rinne para separar los problemas más difíciles o confirmar los más simples.

Prueba de Rinne

Se coloca de forma alternativa un diapasón que vibra delante del conducto auditivo externo y sobre la apófisis mastoideas del mismo oído. Esta prueba se basa en el principio de que el oído normal oye mejor un diapasón en vibración aproximadamente un tiempo doble por

conducción aérea que por conducción ósea.

En las pérdidas bastante avanzadas de audición conductiva ocurre lo contrario, se invierte, siendo mejor la conducción ósea que la conducción aérea. En las pérdidas conductivas menos intensas la relación aérea-ósea no puede invertirse completamente, pero la razón se altera de tal modo que el sonido por conducción ósea se oye relativamente más tiempo y la relación se expresa aproximadamente a razón de 1:1, es decir, que se oye tanto o aún más por conducción ósea que por conducción aérea. Por otra parte, las personas con hipoacusia perceptiva oyen mejor por conducción aérea que por conducción ósea y mantienen la relación normal de 2:1, aunque la audición está reducida en ambos términos de la razón.

Se dice que se tiene un Rinne positivo, cuando se oye más por la vía aérea que por la vía ósea, y un Rinne negativo cuando ocurre lo contrario.

Prueba de Schwabach

Esta prueba consiste en que el examinador compare su propio oído normal por conducción ósea con la conducción ósea de la persona explorada, aplicando el diapasón sobre las apófisis mastoides.

Para descartar una simulación de la sordera se recurre al siguiente artificio: se produce un fuerte e inesperado ruido y se observa si la persona explorada parpadea, es decir, tiene reflejo cocleopalpebral.

En la actualidad la prueba de Schwabach se lleva a cabo en muy pocas ocasiones, puesto que, ante la sospecha de una hipoacusia de percepción, debe realizarse siempre y en cualquier circunstancia una audiometría.

EL DIAPASÓN

Es una estructura metálica, similar a una horquilla agrícola de dos puntas, y como ésta, su extremo superior está configurado en forma de pinza, o la representación gráfica de la letra vocal U de nuestro alfabeto. Se fabrica con una aleación de cromo, níquel y acero. El diapasón no es más que un sistema resonante, cuya frecuencia de resonancia depende de su construcción. Al ser altamente resonante, tiene un coeficiente de amortiguamiento alto, de forma que cualquier energía que se le comunica, la acumula para posteriormente ponerse a vibrar en su frecuencia de resonancia, manteniéndose durante un largo periodo de tiempo su oscilación.

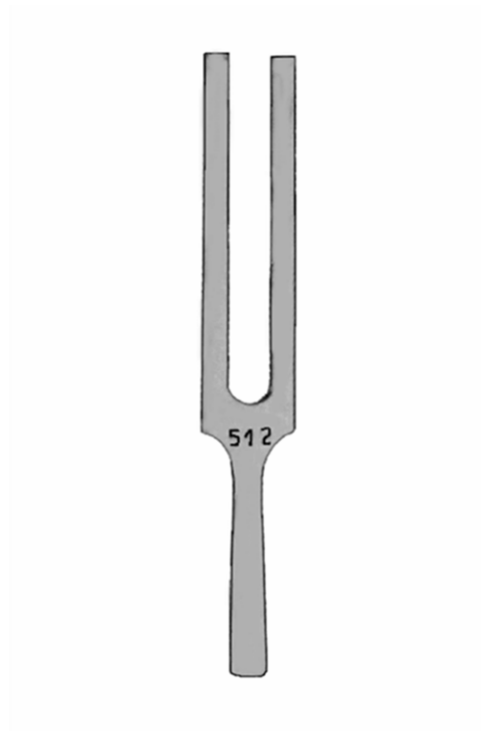


Fig. 1. Diapasón Hartman.

El diapasón fue inventado en 1711 por el trompetista y lautista inglés John Shore, que observó que al ser golpeada la parte superior u horquilla, ésta vibra produciendo un sonido o tono puro, prácticamente sin armónicos, que no varía con los cambios de temperatura y, por ello, lo empleó para templar o afinar los instrumentos musicales.

EL OTOSCOPIO

La otoscopia

La otoscopia es la exploración visual del conducto auditivo externo y de la membrana timpánica, situada en el fondo del mismo, en contacto inmediato con el oído medio. El instrumento con que se realiza esta exploración se denomina: otoscopio.

La otoscopia está indicada para descubrir la presencia de eventuales cuerpos extraños o de tapones de cerumen en el fondo del conducto auditivo, así como también la observación de las condiciones de las paredes del conducto y de la membrana timpánica. El cerumen es una secreción de las glándulas ceruminosas del conducto auditivo externo, de consistencia blanduzca y untosa y de aspecto amarillento, que contiene agua, estearina, jabón de potasa, sustancias orgánicas, calcio e indicios de sodio.

Cuando este cerumen se hace muy abundante forma una masa que, adherida en la porción más interna del conducto auditivo, lo obstruye, advirtiéndose una notable disminución de la capacidad auditiva acompañada, por lo general, de otras molestias como dolor, zumbido de oídos, etc. Si se hincha el tapón de cerumen, por ejemplo, en caso de entrada de agua en el oído, al estar dicho tapón reposando sobre el tímpano, éste puede deformarse, así como la cadena de huesecillos, al transferirse de esta forma un cambio de presión al oído interno, pudiéndose producir, además, inestabilidad e, incluso, ataques de vértigo. Otra de las causas de hipoacusia por obstrucción del conducto auditivo externo, es por inflamación de sus paredes durante la otitis externa.

Por todo lo dicho, y hasta eliminar el cerumen mediante un lavado de oído, no es posible la exploración de la membrana timpánica, con lo cual no se puede observar modificaciones de color y forma, tan importante para el diagnóstico adecuado.

Los otoscopios

La práctica de la otoscopia se realiza introduciendo en el conducto auditivo externo un pequeño embudito metálico o plástico endurecido, concretamente de polipropileno, denominado espéculo auricular, pudiendo ser reutilizable o de un solo uso. Está destinado a dilatar el conducto auditivo mediante la separación de sus paredes, con objeto de examinar óptimamente su interior. Con la ayuda de un espejo frontal reflector, es decir, un fotóforo, el cual puede ser eléctrico, se proyecta un haz de luz en el interior del espéculo auricular que, conducido por éste, ilumina las paredes del conducto auditivo y la superficie externa de la membrana timpánica, lo cual permite su observación. Este método de exploración entraña dificultades técnicas, que hacen difícil su práctica con aprovechamiento para los médicos no especialistas, puesto que la iluminación correcta y el centrado del espejo frontal exigen tiempo y hábito.

Muchos médicos especialistas en otología emplean el clásico instrumento de iluminación indirecta con espejo frontal ya descrito, pero otros emplean el otoscopio eléctrico. Este otoscopio, también llamado auriscopio, se ha difundido enormemente, puesto que su manejo es mucho más fácil.

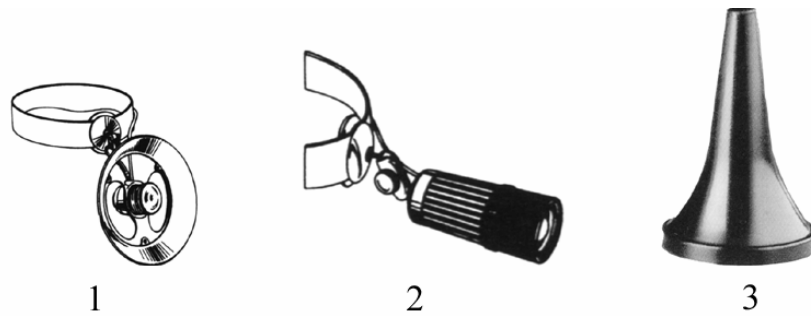


Fig. 1. Instrumentos de exploración otológica. 1) *Fotóforo de espejo frontal.* 2) *Fotóforo frontal eléctrico.* 3) *Espéculo.*

Está constituido por una combinación de espéculos intercambiables de distintas dimensiones. Los espéculos están montados sobre un mango, cuyo interior está formado por un sistema de energía eléctrica. Generalmente se trata de una batería recargable o una pila, que suministra la energía eléctrica a una pequeña lamparilla de iluminación de bajo voltaje, que produce un haz luminoso muy intenso, y lo proyecta directamente al interior del es-péculo auricular. Delante del orificio, a través del cual mira el médico explorador, se encuentra acoplado el sistema movable de ampliación de Brünings, compuesto por un anillo que abraza en su interior una lupa otológica de aumento entre 1,5 a 2 dioptrías.



Fig. 2. Otoscopio o auriscopio eléctrico.

En la parte superior y, concretamente, donde se intercalan los espéculos intercambiables, por debajo de la lupa otológica, conecta un pequeño tubo de caucho de corta longitud, cuyo extremo opuesto está unido a una pequeña bomba neumática en forma de pera adaptable a la mano, que mediante un pequeño bombeo permite comprimir aire en el conducto auditivo. A través de este procedimiento, la presión ejercida desplaza el tímpano hacia la caja timpánica y el conducto auditivo externo alternativamente, a medida que se aprieta o afloja la pera neumática. De esta forma, se puede observar si el tímpano se mueve, lo que sería una respuesta normal. Este conjunto en el otoscopio es denominado: sistema neumático de Siegle.

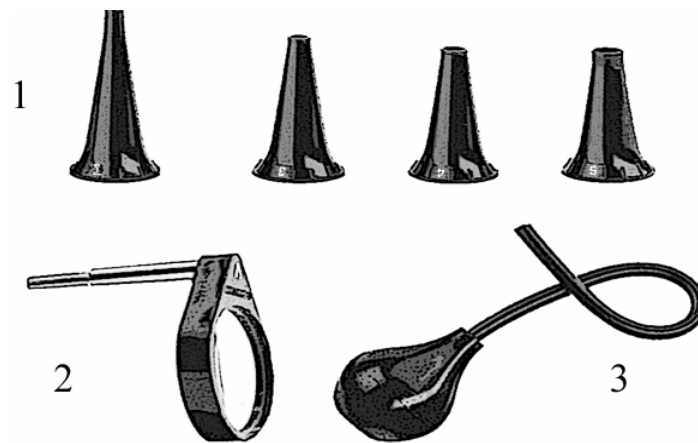


Fig. 3. Elementos acoplables al otoscopio. 1) *Espéculos intercambiables de distintas dimensiones.* 2) *Lupa otológica de Brünings y su sistema de acoplamiento al otoscopio.* 3) *Sistema neumático de Siegle con el tubo de conexión al otoscopio.*

Otro tipo de otoscopio es aquél que siendo idénticamente igual al anterior, carece del sistema neumático de Siegle y la lupa otológica de Brünings, estando indicado para exploraciones menos exhaustivas.

Examen con el otoscopio

Los principios del examen que se va a describir son exactamente iguales para el uso de cualquier otoscopio.

Para mirar dentro del conducto auditivo en el adulto, es preciso enderezar sus incurvaciones cartilagosas. Esto se realiza mediante una suave tracción del pabellón de la oreja hacia atrás y hacia arriba, al propio tiempo que se introduce el espéculo por el meato auditivo externo, que ayudará a mantener enderezado dicho conducto y dilatará ligeramente sus paredes. Estas maniobras se deben realizar con gran escrupulosidad para que no sea dolorosa, considerando que cuando termina la porción cartilaginosa la pared se convierte en pared ósea, la cual está tapizada por un epitelio exquisitamente sensitivo, siendo por ello una región dolorosa si se presiona por medio del espéculo. El otoscopio debe mantenerse lo más inmóvil que pueda permitir la exploración, para que el espéculo incorporado no forme ángulos bruscos en su extremo, puesto que es relativamente cortante y puede ocasionar lesiones en el conducto auditivo externo.

Durante la práctica de la otoscopia el instrumento se mantiene con la mano izquierda, mientras que la mano derecha al estar libre puede utilizarse en el manejo de diversos instrumentos, en caso de que pudieran ser necesarios, como: porta-algodones, ganchitos otológicos, aspirador, pincitas de oído, etc.

Como el tímpano, generalmente, no puede verse en toda su extensión al mismo tiempo, se toma un punto de referencia que permita orientarse o guiarse durante la exploración. Esta referencia la proporciona la apófisis corta del martillo, que al dirigirse hacia fuera forma un pequeño abultamiento.

Durante la otoscopia la posición de la cabeza de la persona a explorar tiene gran importancia. La cabeza nunca deberá ponerse perfectamente vertical, puesto que de esta forma sólo se podrá ver la pared posterior del conducto auditivo. A causa de la dirección oblicua del conducto auditivo externo, la cabeza debe inclinarse hacia el hombro opuesto al oído que se va a explorar, para facilitar su examen. Además, la cabeza debe moverse moderadamente diversas veces, con objeto de observar todas las partes de la membrana timpánica.

EL ELECTROCARDIOGRAFO

El miocardio

El corazón está situado en el mediastino anterior, entre los dos pulmones. Se apoya encima del diafragma y, por detrás, en el esternón. En su posición sobre el diafragma, la punta o ápex mira hacia delante y a la izquierda y la base hacia atrás y a la derecha.

Una membrana serosa resistente, llamada pericardio, a modo de saco, reviste y protege el corazón. El pericardio, además, de proteger y permitir que el corazón se mueva con libertad, impide la dilatación excesiva cuando se produce un llenado desproporcionado de sangre procedente de las venas. Mediante una lámina, formada de epitelio pavimentoso simple, y de corium conectivo elástico, denominada epicardio, que no es más que una membrana, el pericardio seroso se repliega sobre el corazón, adhiriéndose más íntimamente a la superficie interna de su masa muscular. Por el epicardio discurren las arterias y venas coronarias, que irrigan el músculo cardiaco, así como las ramas nerviosas del sistema nervioso simpático y parasimpático.

Dentro de la cavidad formada por este tapiz de doble capa de membrana serosa, además, del corazón, hay aproximadamente de 30 a 50 cm³ de un líquido claro denominado líquido pericárdico, que lubrica la superficie e impide la fricción durante las contracciones del corazón. Esta cavidad es también llamada cavidad pericárdica.

El endocardio es una membrana transparente y sutil que reviste, por su parte interior, al músculo cardiaco. El endocardio está formado por células planas, similar al endotelio vascular, y permanece en contacto directo con la sangre contenida en las cavidades cardiacas, así como con las propias válvulas cardiacas, que no son más que repliegues suyos.

La capa más importante del corazón es el miocardio y forma la casi totalidad del espesor de la pared cardiaca, si se tiene en cuenta que el epicardio, así como el endocardio, no son más que dos delicadas y tenues membranas que revisten la superficie externa e interna de la masa carnosa del corazón, constituida por el miocardio. El miocardio no es más que un tejido muscular estriado, de cuya capacidad contráctil depende la motilidad del corazón.

La unidad estructural y funcional por la que está formado el miocardio se denomina miocito y tiene, aproximadamente, el mismo tamaño y forma que la de los músculos esqueléticos. El miocito contiene miofibrillas, que son las proteínas contráctiles: actina y miosina, dispuestas en paralelo, formando filamentos finos (la actina) y gruesos (la miosina), igual que en el músculo esquelético. Estos filamentos así dispuestos se repiten sucesivamente y cada grupo es llamado sarcómero y constituye el 50% del volumen del miocito. Otra organización estructural muy importante del miocito son las mitocondrias, dado el gran consumo energético que tienen de Adenosintrifosfato (ATP) durante la contracción y relajación cardiacas, ocupando el 33% del volumen, y el retículo endoplasmático, que aquí se denomina sarcoplasma, que libera calcio durante la contracción y lo capta de nuevo durante la relajación de las miofibrillas, y ocupa el 3%. La membrana del miocito se denomina sarcolema, tiene forma cilíndrica y es continua, excepto en las bases, donde toma el nombre de discos intercalares, al dejar hendiduras que comunican un miocito con el siguiente. Los discos intercalares son de suma importancia en la transmisión del estímulo entre célula y célula, de forma que la tracción de una unidad contráctil pueda transmitirse, a lo largo de su eje, a la siguiente.

El miocardio forma una estructura sincitial sólida, es decir, que sus células se ramifican e interconectan, es decir, se anastomosan para constituir un plexo o red. El miocardio es un músculo involuntario. Posee automatismo, ya que el estímulo contráctil rítmico es generado por el propio músculo; los nervios que llegan a él pueden modificar la contracción, pero no iniciarla. La disposición sincitial permite a todas las células o fibras cardiacas contraerse simultáneamente

como una unidad.

El miocardio está constituido por tres tipos distintos de tejido: el tejido miocárdico auricular, que es más laxo, ya que tiene que soportar presiones bajas; el tejido ventricular, que es compacto, dispuesto formando haces musculares desde la base del corazón hacia la punta; y el tejido de conducción, que transmite el estímulo desde las aurículas a los ventrículos, formado por células especializadas tanto en iniciar como en transmitir el estímulo preciso, tan necesario para la contracción auricular y ventricular.

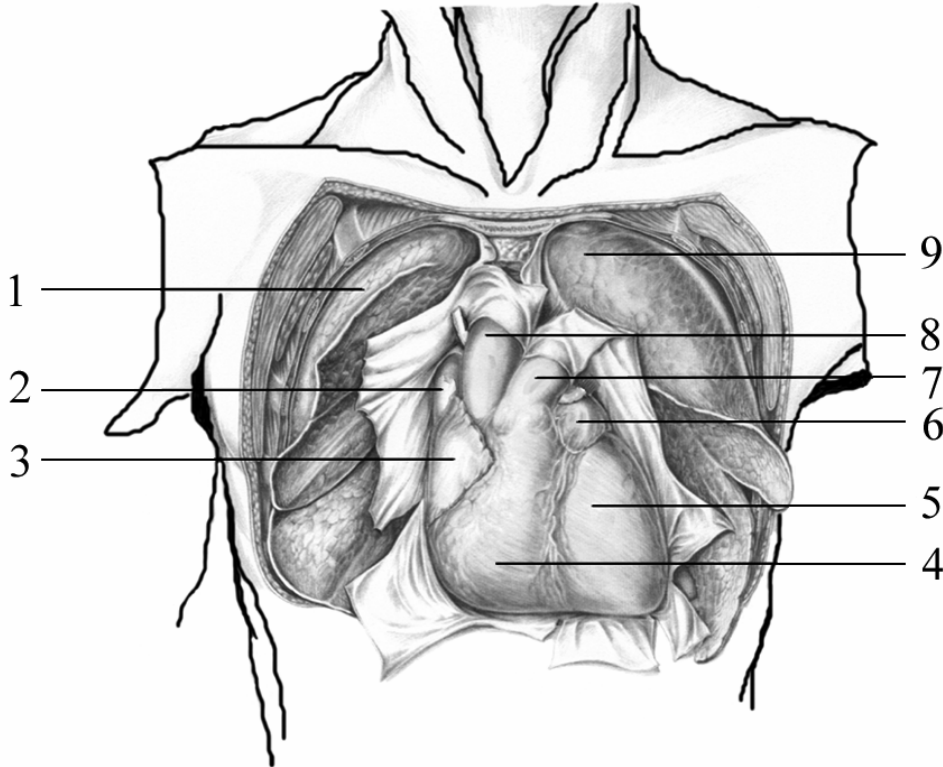


Fig. 1. Aspecto del corazón visto por su cara esterno-pericárdica tras la abertura del pericardio. 1) Pulmón derecho. 2) Vena cava superior. 3) Aurícula derecha. 4) Ventrículo derecho. 5) Ventrículo izquierdo. 6) Aurícula izquierda. 7) Arteria pulmonar. 8) Aorta ascendente. 9) Pulmón izquierdo.

El sistema de conducción

Se ha dicho que las células miocárdicas, que generan el estímulo y lo transmiten a todo el miocardio auricular y ventricular, es el tejido de conducción. Este tejido está formado por el nódulo sinusal o sinoauricular (SA), también llamado de Keith-Flack, el nódulo auriculoventricular (AV) o de Aschoff-Tawara, el haz de His (H) con sus ramas derecha (Rd) e izquierda (Ri) con el fascículo anterior (Fa) y fascículo posterior (Fp), y las fibras de Purkinje (FP). Las células que forman todo el tejido de conducción cuanto apenas tienen proteínas contráctiles, es decir, actina y miosina, por el contrario, tienen glucógeno y están profusamente inervadas por el sistema nervioso simpático y parasimpático. Con el fin de facilitar la transmisión del estímulo en todas direcciones, los discos intercalares entre sus células son muy abundantes.

El nódulo sinoauricular es una estructura con forma ovalada, situada en la pared de la aurícula derecha en posición lateral, cerca de la desembocadura de la vena cava superior, a nivel del llamado *sulcus terminalis*, es decir, donde vierten las venas coronarias. El estímulo que determina la frecuencia del corazón se origina en este nódulo, por ello está considerado como el marcapasos normal y principal del corazón. Las células que forman el marcapasos normal, también llamado fisiológico, en el idioma inglés se denominan: *pacemaker*, y, por tanto, en la terminología médica son designadas: células P. La frecuencia de descarga de latidos es de 60 a 100 por minuto, siendo superior a la descarga del resto de los

grupos celulares automáticos, que se denominan, por tanto: marcapasos subsidiarios.

Los marcapasos subsidiarios se ponen de manifiesto, dando lugar a ritmos de escape, cuando el nódulo sinoauricular sufre perturbaciones en la formación de los impulsos, así como en su conducción a los ventrículos. Las fibras de Purkinje de la unión auriculoventricular, probablemente en el enlace con el haz de His, tienen frecuencias normales de descarga de unos 45 latidos por minuto, pero estas fibras de Purkinje del sistema de conducción intraventricular más distales tienen frecuencias de descarga aún más bajas, unos 35 latidos por minuto, por lo que su funcionamiento como marcapaso subsidiario no es tan consistente.

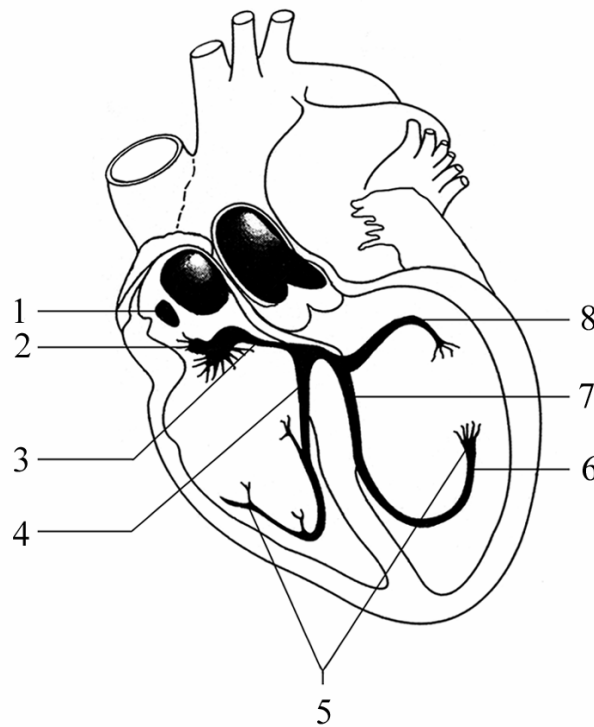


Fig. 2. Sistema de conducción del corazón. 1) *Nódulo sinoauricular.* 2) *Nódulo auriculoventricular.* 3) *Haz de His.* 4) *Rama derecha del haz de His.* 5) *Fibras de Purkinje.* 6) *Fascículo anterior del haz de His.* 7) *Rama izquierda con el fascículo anterior del haz de His.* 8) *Fascículo posterior del haz de His*

El nódulo auriculoventricular es una estructura situada en la parte inferior de la pared de la aurícula derecha, por encima de la inserción de la válvula tricúspide, prolongándose hacia la parte alta del tabique interventricular, formando el haz de His. Ésta es la única posibilidad del paso del estímulo desde las aurículas a los ventrículos.

El haz de His, como se ha dicho, nace del nódulo auriculoventricular, descendiendo por el espesor del tabique interventricular. Se divide en una rama derecha y en otra rama izquierda, siguiendo hasta la punta del corazón, dando lugar a una red que llega hasta cada una de las fibras musculares que componen las paredes de los ventrículos.

Las fibras de Purkinje son las ramas del haz de His en sus porciones más distales. Terminan constituyendo una intrincada red, ramificándose subendocárdicamente en el tercio interno del miocardio. Los dos tercios externos del miocardio, en el género humano, carecen de red de Purkinje.

Una vez que se ha generado el estímulo en el nódulo sinoauricular, es conducido a través de la musculatura auricular, y alcanza el nódulo auriculoventricular; de aquí pasa al haz de His, y luego a sus ramas derecha e izquierda, hasta las pequeñas ramificaciones últimas que se introducen en el miocardio, es decir, la red de Purkinje. De ésta el estímulo se propaga al músculo excitándolo, siendo en este mismo instante en el que el músculo estimulado se contrae.

Cada una de las células individuales del músculo cardíaco (miocito), está polarizada en reposo, es decir, que a uno y otro lado de la membrana celular (sarcolema), existen cargas de distinto signo: las del exterior son positivas, siendo las interiores negativas, favoreciendo con esta disposición la existencia de una diferencia de potencial de membrana en reposo de casi -90 milivoltios, conocido como: potencial de reposo transmembrana. El potencial de acción del miocito es debido a movimientos pasivos de iones a través de la membrana celular, que son inducidos por el estímulo que se transmite desde el nódulo sinoauricular. El mecanismo, como hemos visto, es similar al que se produce en la célula muscular o nerviosa.

Los cambios eléctricos del potencial de acción transmembrana, se deben a cambios estructurales de proteínas de la membrana, que forman canales y que controlan los flujos de iones a través de la membrana del miocito. Los iones, como están cargados positiva o negativamente (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^-), originan una corriente eléctrica positiva o negativa cuando atraviesan la membrana celular.

Los canales de la membrana celular, con un diámetro de 9 millonésimas de milímetro, constituidos por proteínas, se abren o se cierran, debido a las alteraciones de los cambios eléctricos del potencial de membrana (de más negativo a menos negativo, de negativo a neutro, de neutro a negativo, etc.), en esta circunstancia modificativa son llamados: canales voltaje dependientes. Otros canales se abren o se cierran un tiempo después de originarse un cambio en el potencial de membrana denominándose: canales dependientes de tiempo. Otra peculiaridad de estos canales es que son muy específicos para cada ion (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^-). En reposo, los canales permanecen cerrados, no habiendo cambios relevantes de iones, sin tener en cuenta los provocados por la bomba Na^+/K^+ , llamada también bomba de sodio o de potasio, que bombea expulsando de la célula tres átomos de Na, a cambio de ingresar dos de K, requiriendo para su funcionamiento el consumo de energía, proporcionándosela el Adenosintrifosfato. Según el gradiente de concentración, cuando los canales se abren, los iones pasan libremente desde el lugar de mayor concentración al de menor concentración, generando en el transvase una corriente eléctrica positiva o negativa.

En el líquido intersticial, es decir, en el exterior de la célula, el Ca^{++} está más concentrado. Cuando los canales de Ca^{++} de la célula se abren, penetran estos iones en su interior, influyendo a su despolarización. Al contrario que los canales de Na^+ , que son rápidos, los canales de Ca^{++} son lentos y necesitan, por tanto, estar más tiempo para que entre una cantidad significativa de Ca^{++} en el interior de la célula.

Fases del potencial de acción

Las fases del potencial de acción del miocito son: fase 0, de despolarización rápida; fase 1, de repolarización precoz; fase 2, de meseta; fase 3, de repolarización final y fase 4, de reposo.

La fase 0, de despolarización rápida, llamada también inicial, invierte el potencial transmembrana. Esto se debe al aumento repentino de la permeabilidad de la membrana del miocito, es decir, la introducción de Na^+ provocada por un estímulo de intensidad suficiente. La entrada rápida de Na^+ en la célula hace que la diferencia de potencial entre el interior y el exterior disminuya rápidamente, al neutralizarse las cargas negativas intracelulares, cambiando bruscamente este potencial de -90, hasta llegar momentáneamente a +30 milivoltios (potencial de inversión). Cuando un estímulo externo provoca un aumento inicial del potencial intracelular hasta -70 milivoltios (potencial umbral o de disparo), los canales Na^+ que son voltaje dependientes se abren, disparándose el potencial de acción.

Así pues, en esta fase, se origina la entrada rápida de Na^+ en el miocito; se origina la entrada más pausada y tardía de Ca^{++} ; los canales de Na^+ se cierran y permanecen inactivos cuando el potencial alcanza los -40 milivoltios y no pueden volver a abrirse hasta llegar a la fase 3 después de 100 milisegundos.

La fase 1, de repolarización precoz. Con la membrana despolarizada, el flujo de Na^+ hacia

la célula va disminuyendo hasta cesar por completo. Por otra parte, los canales de Cl^- y de K^+ se abren y el miocito empieza a perder cargas positivas al ir saliendo K^+ , ganando cargas negativas al entrar Cl^- . Con cada uno de estos cambios, la diferencia de potencial se anula tanto dentro como fuera de la célula.

En esta fase se produce la salida de K^+ del miocito y la entrada de Cl^- .

La fase 2, de meseta. Durante algunos milisegundos la diferencia de potencial se mantiene a 0, dando lugar a una meseta en el registro de potencial de acción. Esta situación es debida a la entrada en la célula de Ca^{++} y Na^+ , mediante los canales lentos, que mantiene el potencial de acción estable en torno a 0 milivoltios. La entrada de Ca^{++} en la célula es causante del retraso en la repolarización. Un aspecto de interés fisiológico, sobre el paso de Ca^{++} al interior de la célula, es que dicho catión permanece disponible para el acoplamiento excitación-contracción.

Esta fase se caracteriza por la apertura de canales lentos y con ello la entrada de Ca^{++} y Na^+ en el interior del miocito de forma muy lenta hasta el final de la fase, momento en que se cierran estos canales. También por el aumento de la corriente de salida de K^+ .

La fase 3, de repolarización final. La acción progresiva del cierre de los canales lentos de Ca^{++} y Na^+ , hace que la célula retorne a cargarse negativamente por la salida de K^+ a través de los diversos canales de K^+ al aumentar su permeabilidad. Con esto la célula se va repolarizando, haciendo que cada vez sea más negativa por la acción de pérdida de cargas positivas.

Hasta que el potencial de membrana alcanza aproximadamente -50 milivoltios durante la repolarización, el músculo cardiaco no puede volver a excitarse; y se dice que se encuentra en su periodo refractario absoluto. Razón por la que en este periodo no puede producirse un tétanos del tipo que se observa en el músculo esquelético. La tetanización del músculo cardiaco, en cualquier periodo de tiempo, tendría consecuencias letales y, en este sentido, el hecho de que el músculo cardiaco no pueda tetanizarse es una característica de seguridad. Se dice que el músculo ventricular se encuentra en periodo vulnerable justo al final del potencial de acción, debido a que en este instante una estimulación iniciará en algunos casos una fibrilación ventricular.

Así pues, en esta fase se determina la salida de K^+ del miocito y la activación de los canales de Na^+ , que se preparan para recibir un nuevo estímulo.

La fase 4, de reposo. El potencial llega a alcanzar -90 milivoltios, que es el potencial de reposo transmembrana. Durante el reposo, el Ca^{++} sale de la célula debido a la acción de una bomba específica y, además, se produce un intercambio de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, haciendo que entre Ca^{++} y salga Na^+ . La bomba Na^+/K^+ restaura las concentraciones intracelulares de K^+ , Na^+ y Ca^{++} , al funcionar durante todo el ciclo del potencial de acción.

Se produce en esta fase el cierre de todos los canales pasivos del miocito: bombas de Na^+/K^+ , $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, y de Ca^{++} . Se mantiene estable el potencial de membrana hasta que un nuevo estímulo pueda ser capaz de desencadenar una respuesta.

El potencial de reposo fundamentalmente se mantiene por tres factores:

- Los gradientes de concentración a través de la membrana.
- Las fuerzas electrostáticas celulares.
- La propia membrana celular.

La electrocardiografía

La electrocardiografía representa una ayuda de muchísimo interés para el diagnóstico de cardiopatías en sus distintas variedades anatomoclínicas, así como para la valoración de las distintas arritmias. Es decir, este estudio aporta datos importantes, en ocasiones patognomónicas, para el análisis y evaluación de más del 80% de las cardiopatías.

Su estudio se realiza mediante el análisis del registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón. Registro gráfico que se obtiene mediante aparatos especiales, denominados electrocardiógrafos.

Las corrientes de acción del corazón son transmitidas a la superficie corporal por los diferentes tejidos. Desde la piel, y en puntos muy concretos, estas corrientes crean unas diferencias de potencial que son recogidas mediante unos electrodos y conducidas hasta el aparato de registro, que como se ha dicho es el electrocardiógrafo, donde estas diferencias de potencial en función del tiempo son representadas gráficamente en forma de ondas, por medio de un trazado en una tira móvil de papel especial, denominado electrocardiograma, que se desplaza a una velocidad determinada y constituye un registro permanente de la actividad cardiaca. No sólo se registran los impulsos eléctricos, que representan las distintas etapas de la estimulación del corazón y que producen su contracción, sino que también suministra información útil acerca de éste durante las fases de reposo y recuperación.

Se ha dicho que el papel de registro del electrocardiograma es especial, ya que presenta una cuadrícula estándar, cuyas líneas divisorias con un trazado delgado están separadas por 1 mm, y las de trazado grueso, separadas por 5 mm, es decir, que entre las divisiones con trazado grueso se encuentran 5 cuadrados de 1 mm.

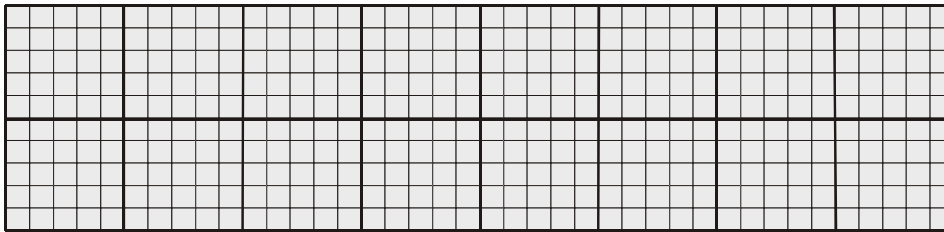


Fig. 3. Papel de registro del electrocardiograma.

La velocidad de desplazamiento y de registro del papel del electrocardiograma es de 25, 50 ó 100 mm/seg. La velocidad más habitual es de 25 mm/seg, por ello, cada espacio horizontal entre dos líneas verticales consecutivas finas, representa un intervalo de tiempo de 0,04 segundos, así como el tiempo marcado por la distancia entre dos líneas verticales consecutivas de trazado grueso corresponde a 0,1 segundos.

Las distintas ondas, segmentos o intervalos del electrocardiograma, gracias a la milimétrica del papel y en función de la velocidad del registro, se pueden medir en segundos y milímetros o milivoltios. El voltaje de las ondas se mide en sentido vertical, en milivoltios, en la estandarización normal del electrocardiograma un milivoltio se corresponde a un centímetro, es decir, que la introducción de un milivoltio en el circuito del electrocardiógrafo provocaría una curva llamada estándar, de una amplitud de 10 mm. La duración de cada una de las ondas del electrocardiograma, se mide en sentido horizontal en unidades de tiempo. El tiempo está marcado en el electrocardiograma con los trazos verticales.

Cuando en el electrocardiógrafo no circula ninguna corriente, éste lo indica mediante la inscripción en el electrocardiograma de un trazado de una línea horizontal, llamada línea isoelectrica o basal. Las inscripciones de las ondas por encima del trazado de esta línea isoelectrica medidas hasta la cúspide, se denominan ondas positivas y por debajo de esta línea, las ondas medidas hasta el punto más bajo se denominan ondas negativas.

Las derivaciones

Los potenciales eléctricos del corazón, como se ha dicho, pueden ser recogidos de la superficie corporal por medio de dos electrodos, conectando uno de ellos al polo positivo y el otro al polo negativo del electrocardiógrafo. En general, en electrocardiografía el electrodo positivo es llamado activo o explorador y el negativo denominado indiferente.

La distribución de los electrodos en la superficie corporal está determinada

específicamente, recibiendo el nombre de: derivación. Se emplean más de cuarenta derivaciones distintas en los registros electrocardiográficos, pero habitualmente son doce las que más se usan. Las derivaciones son registradas mediante el empleo de un electrodo activo o explorador y un electrodo indiferente en potencial 0, conectados a las derivaciones a medir, lográndose de este modo, un registro unipolar, o mediante el empleo de dos electrodos activos obteniendo de esta forma un registro bipolar.

En el momento que la señal eléctrica se aproxima al electrodo positivo o explorador, en el electrocardiograma se inscribe una onda positiva, y cuando la señal se aleja de este electrodo positivo se registra una onda invertida.

Cuando los electrodos están colocados lejos del corazón, es decir, en la periferia del cuerpo son representadas como derivaciones periféricas, distinguiéndose dos tipos: las derivaciones estándar y las derivaciones unipolares de los miembros.

Las derivaciones estándar o clásicas, introducidas por Guillermo Einthoven, —fisiólogo holandés a quien se le otorgó el premio Nobel de Medicina en 1924—, se obtienen midiendo la diferencia de potencial entre dos miembros. Son derivaciones bipolares porque las variaciones de potencial de los dos electrodos son del mismo orden de magnitud y por otra parte, son alejadas porque los dos electrodos son colocados lejos de la superficie del corazón. Estas derivaciones bipolares de los miembros son tres y se consiguen disponiendo los electrodos de la siguiente manera:

D I: brazo izquierdo (+) y brazo derecho (-).

D II: pierna izquierda (+) y brazo derecho (-).

D III: pierna izquierda (+) y brazo izquierdo (-).

La disposición de estas tres derivaciones constituye los lados de un triángulo equilátero que lleva el nombre del mencionado autor. El centro de este triángulo corresponde al centro eléctrico del corazón, en tanto que el lado superior corresponde a la primera derivación (D1); el lado derecho a la segunda derivación (D2); y el lado izquierdo (D3) a la tercera derivación.

Las derivaciones unipolares de los miembros representan las variaciones de potencial de cada miembro por separado. La obtención de estas derivaciones se lleva a cabo mediante un electrodo indiferente, el cual permanece en un potencial prácticamente constante, y un electrodo explorador, que se aplica sucesivamente a cada miembro. Son derivaciones unipolares, porque las variaciones de potencial del electrodo explorador son mucho más importantes que las del electrodo indiferente. Estas derivaciones unipolares de los miembros, por las mismas razones que las estándar son derivaciones alejadas.

Frank N. Wilson descubrió que, para la lectura de las derivaciones de este tipo, era preciso aumentar el voltaje del aparato electrocardiógrafo y, de esta manera, obtener un trazado en el electrocardiograma de la misma amplitud que en las derivaciones estándar, dando a conocerlas como: derivaciones aumentadas, por tener, como se ha indicado, un voltaje mayor que las derivaciones estándar. Las llamó: aVR, aVL, y aVF. La formación de estas abreviaturas o siglas corresponde: a = aumentado, V = voltaje, R = (del inglés Right) derecho, L = (del inglés Left) izquierdo y F = (del inglés Foot) pie.

El polo positivo del electrocardiógrafo conectado al electrodo explorador está unido sucesivamente al brazo derecho (aVR), al brazo izquierdo (aVL), y a la pierna izquierda (aVF). El polo negativo del electrocardiógrafo está conectado al electrodo correspondiente en la central terminal de Goldberger (CTg). Esta central se constituye al unir mediante resistencias, en este caso de 5.000 Ohm, las otras dos derivaciones de los miembros. Por tanto, cada derivación unipolar registra una diferencia de potencial entre el miembro explorado y el potencial promedio de los otros dos miembros.

Por lo expuesto, las tres derivaciones unipolares de los miembros se obtienen con la siguiente colocación de los electrodos:

aVR: brazo derecho (+) y la CTg (-).

aVL: brazo izquierdo (+) y la CTg (-).

aVF: pie izquierdo (+) y la CTg (-).

Las derivaciones periféricas, las tres estándar bipolares y las tres unipolares de los miembros, exploran el mismo fenómeno eléctrico de corazón. Todas las líneas de derivación se encuentran en el mismo plano frontal y forman entre sí ángulos de 30°. En su conjunto, las derivaciones periféricas definen el electrocardiograma en el plano frontal.

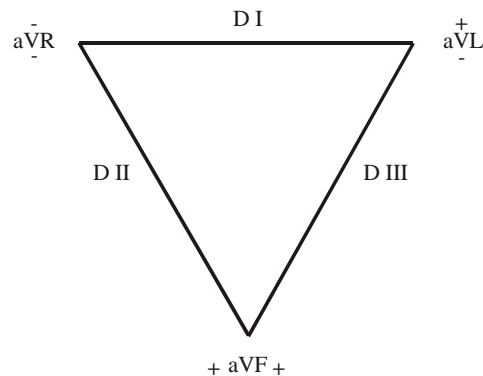


Fig. 4. Triángulo de Einthoven. Derivaciones electrocardiográficas en el plano frontal.

Las derivaciones precordiales unipolares son derivaciones semidirectas porque los trazados que se obtienen en el electrocardiograma, en el animal de laboratorio en derivación directa, esto es, aplicando los electrodos sobre el epicardio, son semejantes a las registradas en el hombre, cuando se colocan éstos en la superficie del tórax cerca del corazón.

Estas derivaciones precordiales las ideó Frank N. Wilson para conseguir el estudio del electrocardiograma en el plano horizontal. Son unipolares porque el electrodo explorador está sometido a importantes variaciones de potencial, y que saliendo del polo positivo del electrocardiógrafo, se aplica sucesivamente en puntos cercanos al corazón, así como el electrodo indiferente de la central terminal de Wilson (CTw), la cual sale del polo negativo del electrocardiógrafo y está unida a los brazos derecho e izquierdo y a la pierna izquierda. La central terminal de Wilson está constituida, al permanecer unidos los tres miembros, por resistencias de 5.000 Ohm, de forma que su potencial combinado resulte siempre igual a 0. Por tanto, cada derivación precordial registra en el electrocardiograma la diferencia de potencial eléctrico que se va presentando en el punto explorado. Hay seis derivaciones precordiales, designadas de la V_1 a la V_6 , cuyos puntos de obtención son los siguientes:

V_1 : cuarto espacio intercostal, en el extremo derecho del esternón (+) y CTw (-).

V_2 : cuarto espacio intercostal, en el extremo izquierdo del esternón (+) y CTw (-).

V_3 : situado en el punto medio de la línea que une V_2 y V_4 (+) y CTw (-).

V_4 : quinto espacio intercostal, situado en la intersección de la línea medioclavicular izquierda (+) y CTw (-).

V_5 : quinto espacio intercostal, situado en la intersección de la línea axilar anterior izquierda y la línea horizontal que pasa por V_4 (+) y CTw (-).

V_6 : quinto espacio intercostal, situado en la intersección de la línea medioaxilar izquierda y la línea horizontal que pasa por V_4 (+) y CTw (-).

En la realización del electrocardiograma, en realidad, también se coloca un electrodo en la pierna derecha. Esto ayuda a obtener un trazado más estable al poner el cuerpo a potencial 0, y de esta forma, evitar ruidos parásitos, que serían registrados por el electrocardiógrafo como

distorsión del electrocardiograma real. Este electrodo que se coloca en la pierna derecha no se conecta al electrocardiógrafo mientras se inscriben las derivaciones aumentadas, es decir, aVR, aVL y aVF.

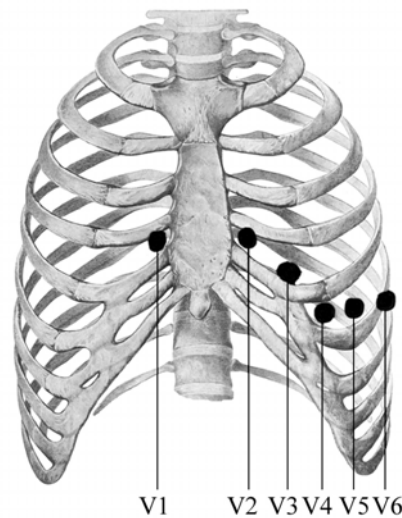


Fig. 5. Situación esquemática de las derivaciones electrocardiográficas precordiales.

Vectores cardiacos

El dipolo cardiaco tiene una determinada amplitud y orientación en la cavidad del tórax, y puede ser representado gráficamente como un vector, y como todo vector, se caracteriza por su dirección, sentido y amplitud. La longitud de este vector cardiaco representa su amplitud y la flecha indica su dirección y sentido.

El vector cardiaco se sitúa en un espacio de tres dimensiones, que es el tórax, y tanto su amplitud como su dirección varían frecuentemente durante el ciclo cardiaco. Aplicando las 12 derivaciones, lo que se está recogiendo en el electrocardiograma es el registro de las distintas proyecciones del mismo vector espacial del corazón, puesto que cualquiera de las ondas electrocardiográficas puede ser considerada como una proyección geométrica del vector cardiaco sobre el eje de una derivación dada, siendo esta última la línea que une los dos electrodos.

El eje de cada derivación bipolar, es decir, estándar, de los miembros es mostrado por el lado del triángulo de Einthoven, en que sus vértices son constituidos por los tres electrodos. El punto medio de cada eje de derivación bipolar divide el eje en cuestión en dos mitades, una positiva y otra negativa. El eje de cada derivación unipolar de los miembros es representado por una línea que une el centro del triángulo de Einthoven con el vértice correspondiente. El punto de intersección, que es el centro de este triángulo, separa igualmente el eje de cada derivación unipolar en dos mitades, una positiva y la otra negativa.

Si se vuelven a colocar los ejes de las derivaciones unipolares de los miembros de modo que todos se corten en el centro del triángulo, se consigue un sistema de referencia de seis ejes. En este sistema, los ejes de las derivaciones están separados unos de otros formando entre sí ángulos de 30°. En el plano frontal está conceptuado que el origen del vector cardiaco es el centro del sistema de seis ejes y su sentido direccional es el pie izquierdo. Por consiguiente, las ondas electrocardiográficas en cualquiera de las derivaciones se suelen considerar como proyecciones distintas de un mismo vector cardiaco. La magnitud y dirección del vector cardiaco, en el plano frontal, se establecen a partir de la amplitud y polaridad de las ondas del electrocardiograma en dos derivaciones cualesquiera, que por lo general, suelen ser: DI-aVF o DI-DIII.

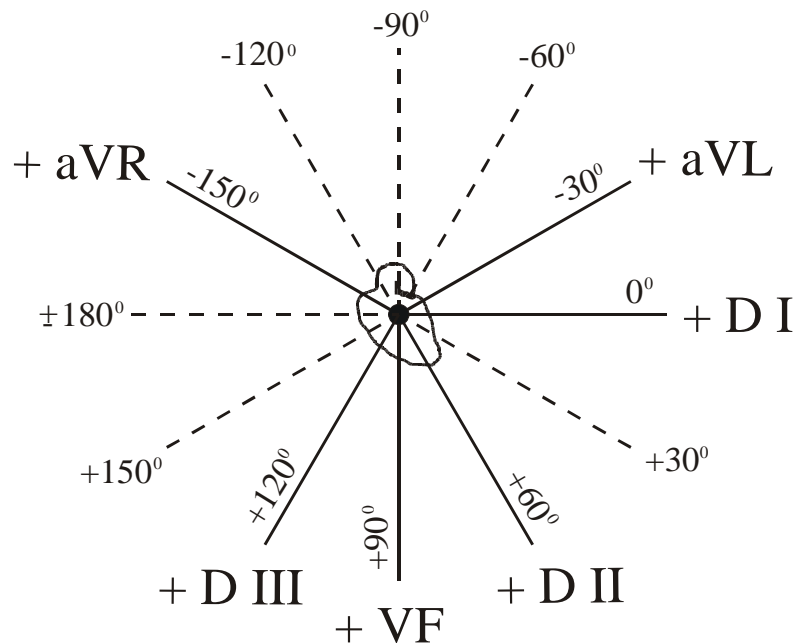


Fig. 6. Sistema sexqui axial de Bailey.

De esta misma manera, es posible representar el eje de cada derivación precordial por una línea trazada en el plano horizontal que pasa por un electrodo dado, así como por el centro del corazón. Las ondas registradas en el electrocardiograma igualmente se consideran como proyecciones del vector cardiaco, pero en el plano horizontal.

Por todo lo dicho y, de esta manera, se construyen los sistemas triaxial y sexqui axial de Bailey, que facilitan el estudio de los distintos vectores que intervienen en la génesis del electrocardiograma.

Las ondas del electrocardiograma

El trazado del electrocardiograma está formado por una serie de ondas. Cada una de las ondas es la representación gráfica del fenómeno eléctrico que ha tenido lugar en el corazón durante una sola pulsación. Fenómeno que es recogido mediante los electrodos en cada una de las derivaciones, las cuales establecen su registro por medio de una sucesión ordenada de cada una de las fases o periodos de la despolarización de las partes del corazón durante su pulsación. La secuencia de esta despolarización configura la onda pulsátil cardiaca con una serie de picos o inflexiones, que Einthoven denominó con las letras del alfabeto: P, Q, R, S, T y algunas veces U. Dentro del estudio de la electrocardiografía, estas inflexiones son también llamadas ondas.

En el electrocardiograma normal, las ondas P, R y T se registran como ondas positivas y las ondas Q y S son registradas como negativas. Cuando la onda U se presenta en el electrocardiograma, se registra como onda positiva. Recordemos que la corriente que se genera durante el periodo de despolarización progresiva de las células cardiacas, y se dirige al electrodo, se registra como ondas positivas, es decir, por encima de la línea isoelectrica, y en forma de ondas negativas, las inscritas por debajo de esta línea, y corresponden a las corrientes que se alejan del electrodo.

Onda P.- Cuando el nódulo sinoauricular inicia el estímulo eléctrico que, al difundirse como onda, estimula ambas aurículas, excitándolas, en el electrocardiograma se registra como onda P. Por lo tanto, la onda P representa la despolarización y contracción de ambas aurículas. Esta onda puede ser positiva, negativa, difásica, aplanada, o incluso, faltar. La onda P es de forma redonda, aunque a veces puede presentar pequeñas melladuras próximas a su cúspide, es decir, cuando presenta, del mismo lado de la línea isoelectrica, más de un cambio de dirección. Su duración no suele superar los 0,12 seg., y su amplitud es de 1 a 3 mm. Sus características se aprecian mejor en las derivaciones DII y V_1 . Siempre es positiva en DI, DII y V_3

a V₆, y negativa en la derivación aVR.

Intervalo PR o PQ.- El impulso llega al nódulo auriculoventricular, en donde acontece una pausa de 0,1 segundos, antes de que la excitación se propague desde las paredes auriculares a las ventriculares (lo que permite que la sangre se introduzca en los ventrículos). Esta pausa se registra en el electrocardiograma con un trazado horizontal, isoelectrico entre el final de la onda P y la iniciación del complejo QRS, e indica el periodo que emplea el estímulo para pasar de las aurículas a los ventrículos. En este intervalo no es excitada ninguna parte del corazón, por lo que se traduce en una fase de reposo eléctrico. El intervalo PR o PQ también se denomina: Tiempo de conducción auriculoventricular. En la práctica no se mide la duración de este segmento, sino la duración del intervalo PR, desde el comienzo de la onda P hasta la iniciación del complejo QRS. Su duración varía normalmente con la frecuencia cardiaca, así como con la edad, sin embargo, su valor medio está situado alrededor de 0,16 seg., no debiendo medir más de 0,20, ni menos de 0,12 segundos. Sus características se perciben mejor en las derivaciones DI y V₁. Por lo tanto, el segmento PR representa el retraso fisiológico debido a la transmisión del impulso a través del nódulo auriculoventricular.

Complejo QRS.- Este complejo de las ondas Q-R-S, representa la difusión del estímulo a la musculatura ventricular, o sea, que esta provocado por la excitación de los ventrículos, al iniciarse la despolarización ventricular, representando el impulso eléctrico que se aleja del nódulo auriculoventricular, por el haz de His y las ramas del mismo, pasando a las fibras de Purkinje y a las células del miocardio. Por lo tanto, el complejo QRS expresa la actividad eléctrica de la estimulación de los ventrículos. También se lo llama: fase inicial u onda rápida. Su representación gráfica en el electrocardiograma es como sigue: La onda Q es la primera deflexión negativa del complejo QRS, designándose con esta letra a toda deflexión inicial negativa del complejo; va seguida de la onda R que es la primera deflexión positiva del complejo, si se registra una segunda deflexión positiva después de la onda R, se designa R'; la primera deflexión negativa que sigue a una onda R es la llamada onda S, si se registra otra deflexión negativa posterior a la onda S es denominada S'. Cuando en el complejo QRS no se registra ninguna onda positiva, es decir, es un complejo de forma negativa única, recibe el nombre de onda o complejo QS.

La duración del complejo QRS no es más de 0,10 seg. La duración de la onda Q, que representa el comienzo de la despolarización ventricular es de 0,04 seg., y su amplitud el 25% de la amplitud de la onda R, o menor de 2 mm. La onda R, generalmente, representa la porción media de la despolarización ventricular, observándose mejor en las derivaciones precordiales. La onda S representa la porción terminal de la despolarización ventricular, dura menos de 0,04 seg., apreciándose mejor sus características en las derivaciones DI y DIII, así como en las precordiales. Por lo tanto, el intervalo QRS corresponde al tiempo que requiere la despolarización de los ventrículos.

El intervalo QR.- También denominado: tiempo de activación ventricular, corresponde a la propagación de la onda de despolarización desde el endocardio hasta la superficie epicárdica. Su duración es menor de 0,03 seg., en V₁ y V₂, y de 0,05 seg., en V₅ y V₆.

El segmento ST.- Este segmento corresponde al intervalo entre el final del complejo QRS, y la iniciación de la onda T, es decir, desde el final de la onda S, o cuando ésta no existe, de la onda R, hasta el comienzo de la onda T. El punto donde se inicia este segmento se denomina: punto J.

El segmento ST, en condiciones normales, también es isoelectrico o presenta discretas desviaciones hacia arriba de no más de 1 mm, o bien, hacia debajo de -0,5 mm, en derivación precordial, respecto a la línea isoelectrica, y dura alrededor de 0,12 seg. Este segmento representa un periodo de inactividad eléctrica después de que todo el miocardio se ha despolarizado, en otros términos, corresponde al registro en el electrocardiograma del periodo en el que los ventrículos están completamente excitados, es decir, que la excitación eléctrica se ha difundido, pero está

estática, esto significa que, en este periodo, no se produce ninguna excitación eléctrica en el corazón.

La onda T.- Esta onda corresponde al fin de la despolarización, es decir, la repolarización de los ventrículos. Es registrada en el electrocardiograma como una onda lenta, redondeada y asimétrica, con una fase ascendente lejana y una fase descendente más rápida. Normalmente la onda T es positiva en las derivaciones DI, DII, V₄ y V₆, y negativa en aVR. La duración media de esta onda está en torno a 0,2 seg., con una amplitud que varía entre 2 y 6 mm. En el estudio electrocardiográfico no suele medirse su duración, generalmente se mide el tiempo QT, es decir, desde el comienzo de la onda Q, hasta la terminación de la onda T, ya que este tiempo indica la duración total de la actividad eléctrica del corazón (la sístole ventricular).

La onda T representa, pues, la repolarización de los ventrículos para que puedan volver a estimular, ya que la repolarización permite que todas las células cardiacas recobren una carga positiva y puedan, así, despolarizarse de nuevo.

El segmento ST y la onda T forman la denominada: fase terminal.

Intervalo QT.- Como se ha dicho con anterioridad, este intervalo muestra el tiempo que se requiere para la despolarización y repolarización de los ventrículos. Se mide desde el inicio del complejo QRS, hasta el fin de la onda T. Normalmente dura de 0,23 a 0,50 segundos. Varía con la frecuencia cardiaca, la calcemia y otros factores.

Onda U.- Es una pequeña onda que se registra en el electrocardiograma después de la onda T como una deflexión positiva, baja y lenta. Su aparición es inconstante, suele registrarse solamente en derivaciones precordiales medias. La génesis de la onda U está en discusión, aunque se considera que está causada por la repolarización lenta de las columnas carnosas de las paredes internas de los ventrículos, es decir, de los músculos papilares.

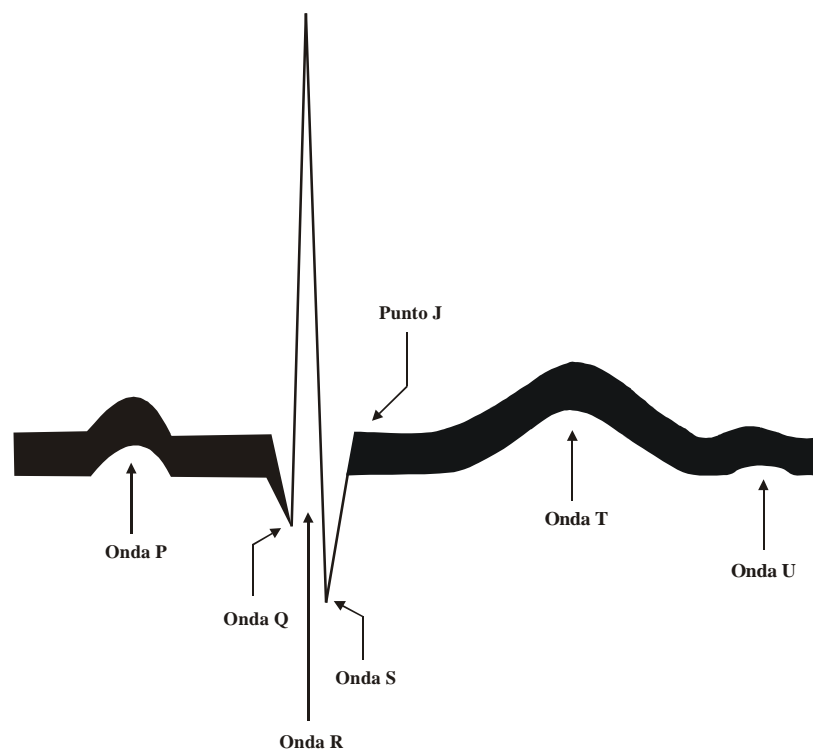


Fig. 7. Ondas del electrocardiograma.

La exploración electrocardiográfica

La persona a explorar estará colocada horizontalmente sobre una camilla suficientemente confortable, con el fin de que se encuentre lo más relajado posible. La posición anatómica adecuada será en decúbito supino, es decir, reposando sobre el plano horizontal con el dorso del

cuerpo hacia abajo, dejando la superficie anterior o ventral al descubierto, y por añadidura, tanto los brazos como las manos, descansarán igualmente sobre su dorso discretamente separadas del resto del cuerpo. Las extremidades inferiores estarán también ligeramente separadas una de la otra, y en posición anterior o ventral.

Se aplicarán los electrodos, que previamente han sido conectados a los cables terminales que salen del aparato electrocardiógrafo, en los puntos corporales indicados en el párrafo que sigue, teniendo en cuenta que hay que poner alguna solución salina o sustancia gelatinosa eléctricamente conductiva, entre la piel y cada uno de los electrodos. Estos se fijarán mediante unas ventosas que llevan incorporadas, u otro sistema de fijación, como una abrazadera de caucho elástico, la cual, al disponer de variables posiciones para su fijación, puede rodear los distintos diámetros de las extremidades de las personas a explorar sin apretar. La piel de las zonas de aplicación debe limpiarse de forma eficiente para un mejor contacto entre ésta y los electrodos.

Las zonas donde se colocarán los electrodos de las denominadas derivaciones distales son: la parte más distal de cada uno de los brazos, justo en la superficie anterior por arriba de la muñeca. La parte más distal de cada una de las piernas, justamente en la superficie lateral externa o interna por arriba del tobillo. En las derivaciones semidirectas, concretamente en los puntos indicados en el apartado anterior, que habla de las derivaciones precordiales unipolares.

Los cables salientes del electrocardiógrafo en sus terminales de conexión con los electrodos, están grabados alfanuméricamente con las derivaciones donde deben ser conectados, así como la distinción mediante colores estandarizados.

En las derivaciones distales:

R = brazo derecho (color rojo).

L = brazo izquierdo (color amarillo).

F = pierna izquierda (color verde).

N = pierna derecha (color negro).

En las derivaciones semidirectas:

C1, C2, C3, C4, C5 y C6, o bien: **V1, V2, V3, V4, V5 y V6** (color blanco).

Todas las partes conductivas, tanto las de los electrodos como las de los cables, no deben estar en contacto con otras partes conductivas o tierra.

Una vez terminada la exploración, los electrodos deben ser desinfectados para ser usados nuevamente, con la seguridad de que no puedan transmitir gérmenes patógenos. Los antisépticos a emplear son los de uso común, siendo recomendable para su esterilización el óxido de etileno.

La mejor garantía es el empleo de electrodos desechables, no sólo por su bajo precio, o sus cualidades profilácticas, sino también por su gran conductividad eléctrica.

EL ELECTROCARDIÓGRAFO

Los primeros registros electrocardiográficos se realizaban mediante el llamado electrocardiógrafo de cuerda de Einthoven. Era un galvanómetro, cuyo principio fundamental de funcionamiento se basaba en las interacciones entre una corriente eléctrica y un imán. Su mecanismo estaba diseñado de forma que un imán o electroimán produce un campo magnético, y genera una fuerza cuando el flujo de corriente eléctrica, recogida por los electrodos, se hace pasar por un sutilísimo hilo de cuarzo plateado u oro o platino, colocado entre los polos contrapuestos de un potente electroimán, y que después de un sistema de amplificación transmitía los impulsos captados por los electrodos receptores a una aguja inscriptora, la cual registraba una gráfica equivalente a las oscilaciones del voltaje eléctrico, en forma de ondas, sobre un papel continuo,

que se desplazaba mediante un sistema electromecánico, prácticamente igual al sistema con el que se registra en los electrocardiógrafos en la actualidad. El formato de registro se realizaba mediante un solo canal.

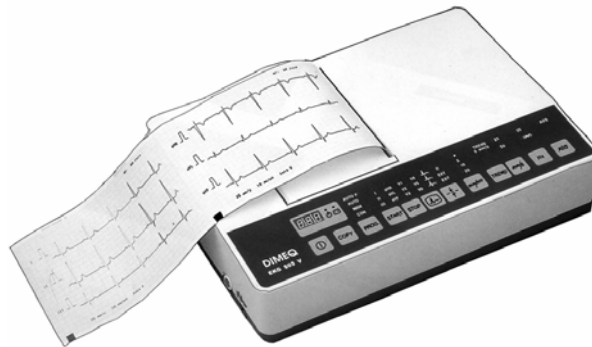


Fig. 8. Electrocardiógrafo automático de tres canales.

Los electrocardiógrafos actualmente, en lugar de un galvanómetro, incorporan un dispositivo electrónico denominado amplificador diferencial, consiguiendo de esta forma rechazar de mejor manera el ruido parásito, adecuando la señal con diferentes filtros para que ésta pueda ser transportada a los cabezales térmicos de registro, o en su caso, a un convertidor analógico digital, de tal manera que la señal pueda ser procesada por microprocesadores, procesadores digitales de señal, transmitida, memorizada, etc., como es habitual en la electrónica actual para posteriormente, mediante sucesivas exploraciones, obtener estudios comparativos de la evolución de la enfermedad o lesión. La inscripción se realiza mediante formato de seis canales, aunque los más genéricos los realizan con tres canales.

Hoy en día se analizan los electrocardiogramas con ayuda de la informática, así como también se transmiten por vía telefónica a centros de diagnóstico. La motorización electrocardiográfica y otras muchas funciones bioeléctricas desarrollan un papel fundamental en las salas modernas de reanimación quirúrgicas y unidades de cuidados intensivos de cualquier unidad de hospitalización.

EL FONENDOSCOPIO

El examen médico objetivo es la exhaustiva exploración de las diversas regiones del cuerpo. Entre estas exploraciones se encuentra la auscultación, realizada con un instrumento denominado estetoscopio o fonendoscopio, según sea el receptor una campana o una membrana vibrátil. Este último instrumento es el más usado, no sólo por su diseño más perfeccionado, sino también por sus cualidades higiénicas y gran comodidad. Fue inventado por el médico francés René Théophile Hyacinthe Laënnec en 1819. El fonendoscopio, tal y como lo conocemos en la actualidad, se debe a las modificaciones realizadas por el médico estadounidense George Philip Cammann.



Fig. 1. 1) Estetoscopio. 2) Fonendoscopio.

La auscultación

La auscultación consiste en la detección y el estudio de los sonidos procedentes de algunos órganos de nuestro cuerpo, principalmente del corazón y de los pulmones. Colocado el fonendoscopio de manera interpuesta entre el oído del médico y el tórax o abdomen, permite la captación de forma amplificada de los ruidos o sonidos producidos por los órganos contenidos en éstos. El médico, identificando e interpretando estos fenómenos acústicos por la variación, ausencia o presencia de los tonos, forma juicio sobre el funcionamiento de los órganos que contienen dichas cavidades, realizando a la vista de los datos obtenidos el diagnóstico que proceda.

Otra de sus aplicaciones es su gran utilidad en la medición de la presión arterial, juntamente con el esfigmomanómetro o tensiómetro, instrumento que en otro apartado comentaremos.

EL FONENDOSCOPIO

Se trata de un sencillo aparato compuesto por una pieza receptora, un tubo de goma o plástico flexible de conexión, en forma comparable a la representación gráfica de la letra γ griega de nuestro alfabeto (γ), y dos piezas para los oídos.

El extremo inferior de este tubo está conectado por el vértice a la pieza receptora llamada campana, la cual consiste en un cono metálico hueco, con un agujero en el centro que capta los sonidos de tono bajo cuando sus bordes se presionan contra la piel de la persona explorada. La base de la campana, llamada diafragma, está cerrada con una fina membrana vibrátil de plástico, por la que se detectan los sonidos de tono alto. La campana actúa

como resonador, concentrando y amplificando los sonidos que son transmitidos a los oídos del médico por medio del aire contenido en el tubo flexible. Este tubo está a la vez conectado por los dos trazos o ramas superiores de esta i griega a un sistema muy peculiar de auriculares, consistente en dos boquillas o canales metálicos, uniéndose de esta forma biauricular con la campana o pabellón resonador a los oídos mediante unas bolitas, por lo general llamadas olivas, que se adaptan con precisión y que suprimen, por su sistema de acoplamiento, los ruidos exteriores molestos.



Fig. 2. Fonendoscopio con sistema electrónico de amplificación de sonidos.

Por último, con respecto a los varios tamaños del fonendoscopio, es de interés comentar que cuanto más grande sea el pabellón, mejor se reconocen los sonidos bajos o graves, mientras que siendo pequeño, mucho mejor se apreciarán las frecuencias altas, acrecentando la disposición de localizar ruidos. Algunos fonendoscopios están dotados de un sistema electrónico de amplificación de los sonidos.

EL ESFIGMOMANÓMETRO O TENSIÓMETRO

El sistema circulatorio

El sistema circulatorio asegura la función de la irrigación sanguínea por toda la configuración de nuestro organismo, transportando, entre otras, las diferentes sustancias nutritivas, simbolizadas por las proteínas, grasas y azúcares; las vitaminas y hormonas, que coadyuvan a la regulación de procesos fisiológicos; anticuerpos, que protegen contra infecciones. Además, realiza el transporte de oxígeno, contribuyendo también en el control de la temperatura corporal, etc. El sistema circulatorio está constituido por el corazón, la sangre, los vasos sanguíneos y el sistema linfático.

El corazón

De naturaleza muscular, el corazón, compuesto en su interior por cuatro cámaras, dos superiores llamadas aurículas y dos inferiores denominadas ventrículos, es el órgano principal del sistema circulatorio. Su trabajo estriba en impulsar la cantidad de sangre precisa en el interior del sistema circulatorio, con la presión suficiente para mantener constante la circulación sanguínea en los vasos y, de esta manera, cumplir con las exigencias de las células del organismo, aportando las sustancias nutritivas necesarias y retirar de ellas los productos de desecho.

Estimando su conformación interna, las cuatro cámaras están divididas por una pared muscular longitudinal, denominada tabique interauricular, en dos mitades, de forma que si se miran de frente existen una aurícula y un ventrículo izquierdos, y una aurícula y un ventrículo derechos. Las dos aurículas se comunican con sus respectivos ventrículos mediante el orificio aurículoventricular. En estos orificios se asientan unas válvulas que permiten el paso de la sangre de la aurícula al ventrículo, y cuya estructura impide el paso de la sangre en sentido contrario. La válvula aurículoventricular de la izquierda se llama bicúspide o mitral, y la de la derecha tricúspide.

Situado en la parte superior, justamente delante del orificio aurículoventricular, cada ventrículo posee un segundo orificio, provisto de una válvula, compuesta por tres valvas, llamada válvula sigmoidea. La sangre arterial, cuando sale del corazón, entra en la arteria aorta por la válvula sigmoidea aórtica. Cuando la sangre venosa sale del corazón por la arteria pulmonar, lo hace por la válvula sigmoidea pulmonar. Ambas válvulas impiden todo reflujo sanguíneo a sus respectivos ventrículos.

Las aurículas son las encargadas de recibir la sangre que llega al corazón, conducida por gruesos vasos sanguíneos que penetran en las aurículas por los numerosos orificios que tiene. Sin embargo, en estos orificios no existen válvulas. La sangre venosa afluye a la aurícula derecha por las venas cava superior y cava inferior; la sangre arterial llega a la aurícula izquierda por las venas pulmonares.

Desde que la gruesa pared muscular del corazón recibe su primer hálito de vitalidad, éste se mantiene continuamente en un movimiento rítmico de dilatación llamado diástole y de contracción denominado sístole. El conjunto de estos movimientos es llamado ciclo cardiaco, correspondiendo cada ciclo a un latido. La frecuencia del corazón es de 72 a 80 latidos por minuto, esta frecuencia varía según necesidades fisiológicas, permitiendo adaptar el fluido sanguíneo a las necesidades del organismo.

El funcionamiento del corazón es análogo al de una bomba hidráulica aspirante e impelente, es decir, eleva la sangre desde un nivel inferior y la impulsa a un nivel superior. La

energía le proviene de su robusto músculo cardíaco, mediante la contracción o sístole.

El ciclo completo del movimiento cardíaco consta de las siguientes fases:

- a) La sangre entra a las aurículas, en la derecha sangre venosa procedente de los diversos tejidos del organismo por las venas cavas, en la izquierda sangre arterial procedente de los pulmones a través de las venas pulmonares. En la proporción que las aurículas se llenan, se crea una diferencia de presión entre ellas y los ventrículos, que se encuentran vacíos. Sometidas por esta presión, las válvulas aurículoventriculares se abren, pasando la sangre a los ventrículos, que se llenan casi por completo.
- b) Contracción o sístole de las dos aurículas, dando como resultado su brusco vaciamiento, al pasar de las aurículas toda la sangre a los ventrículos, que, a su vez, entran en fase de contracción. En este punto, los valores de presión se han invertido, siendo superados los que hay en las aurículas. Las válvulas aurículoventriculares se cierran, al ser empujadas hacia arriba por la presión reinante en los ventrículos.
- c) Los ventrículos, continuando en su contracción o sístole, con el consiguiente aumento de la presión, hacen ceder la resistencia de las válvulas sigmoideas aórticas y pulmonares, abriéndolas y, como consecuencia, la sangre es lanzada con gran fuerza hacia la arteria aorta, si se trata del ventrículo izquierdo y a la arteria pulmonar, si se trata del ventrículo derecho.
- d) Relajación de los ventrículos contracturados, con la consiguiente dilatación o diástole de la cavidad ventricular.

Finalizado así el ciclo, comienza otro inmediatamente.

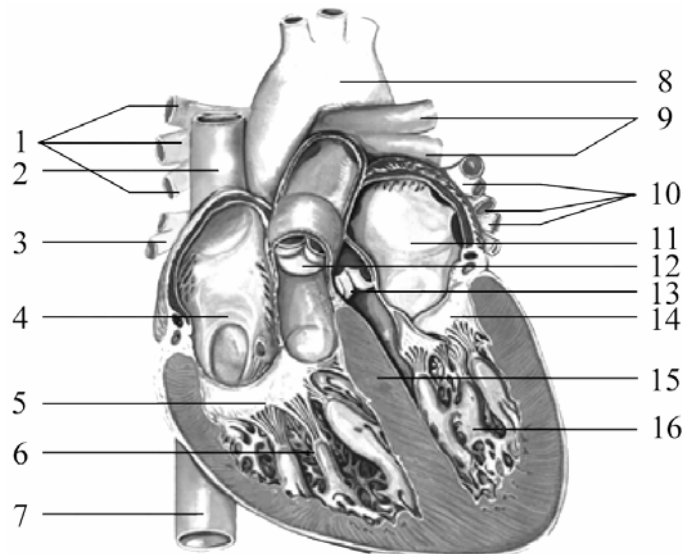


Fig. 1. Diagrama del corazón; muestra las grandes venas y arterias, cavidades, válvulas y el tabique interauricular. 1) Arterias pulmonares derecha. 2) Vena cava superior. 3) Venas pulmonares derecha. 4) Aurícula derecha. 5) Válvula tricúspide. 6) Ventrículo derecho. 7) Vena cava inferior. 8) Arteria aorta. 9) Arterias pulmonares izquierda. 10) Venas pulmonares izquierda. 11) Aurícula izquierda. 12) Válvula sigmoidea pulmonar. 13) Válvula sigmoidea aórtica. 14) Válvula bicúspide o mitral. 15) Tabique interauricular. 16) Ventrículo izquierdo.

La sangre

La sangre es un tipo de tejido conjuntivo formado por un componente intercelular líquido, en el que se encuentran disueltas diversas sustancias, tales como sales minerales en estado de iones, proteínas, azúcares, grasas, hormonas, vitaminas, etc., llamado plasma sanguíneo, y otro sólido o corpuscular, que comprende los glóbulos rojos, llamados también

eritrocitos o hematíes, los glóbulos blancos o leucocitos y las plaquetas o trombocitos. Circula por el interior de los vasos sanguíneos, que se describirán más adelante. Su color rojo se debe a un pigmento denominado hemoglobina.

Ante todo, transporta el oxígeno, que capta en el ámbito pulmonar, cediéndolo luego a las células para el desarrollo de los procesos oxidativos, también recoge el dióxido de carbono y demás productos de desecho, conduciéndolos a los órganos emuntorios, que los expulsan al exterior del organismo. Como hemos comentado anteriormente, distribuye los principios nutritivos, el agua, las hormonas y tantas sustancias y elementos imprescindibles para el desarrollo de la vida celular.

Los glóbulos rojos, precisamente, son los que tienen, entre otras, la principal función del transporte de oxígeno.

Los glóbulos blancos, son los que se encargan, en su conjunto, de la defensa del organismo ante las múltiples y distintas agresiones que recibe del exterior, por gérmenes patógenos o por acumulación de productos de desecho del mismo cuerpo. Hay cinco clases, neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos, con funciones específicas cada una.

Las plaquetas son fragmentos de citoplasma desprendidos de las células llamadas megacariocitos. Intervienen en los procesos de coagulación de la sangre. Acción que realizan por medio de dos funciones: una mecánica, consistente en agruparse en gran número, adhiriéndose en el punto de la herida sangrante, tratando de ocluir el punto por donde la sangre escapa; y otra química, en la que las plaquetas, expandiéndose en el punto sangrante, se desintegran, y mediante esta desintegración se liberan sustancias que provocan una vasoconstricción en los vasos lesionados, así como en los de la periferia de la herida, impidiendo la salida de la sangre.

Los vasos sanguíneos

Los vasos sanguíneos forman un conjunto de conductos o canales por los que circula la sangre. Estos canales, dependiendo de sus características variables, se distinguen en: arterias, que conducen la sangre desde el corazón a la periferia del organismo; venas, que la transportan desde la periferia al corazón; y capilares, que conectan las arterias con las venas.

Las arterias son conductos con forma cilíndrica, aun cuando se encuentran vacías de sangre. Su estructura está formada por tres estratos o capas concéntricas que reciben el nombre de: interna o íntima, de naturaleza endotelial, está en contacto directo con la sangre; la media o musculoelástica, está caracterizada por la riqueza de fibrocélulas musculares que posee, que le confieren la capacidad elástica necesaria para dilatarse al paso de una oleada de sangre, lanzada por el corazón mediante su fase sistólica, para contraerse seguidamente, favoreciendo de este modo, el avance de la sangre; la externa o adventicia, por la que los nervios conectan con la arteria, recibiendo los estímulos para la contracción o dilatación. Precisamente por esta capa, las arterias de un diámetro superior a 1 milímetro reciben la nutrición que necesitan, como cualquier otro tejido del organismo, mediante unos pequeñísimos vasos denominados vasa vasorum.

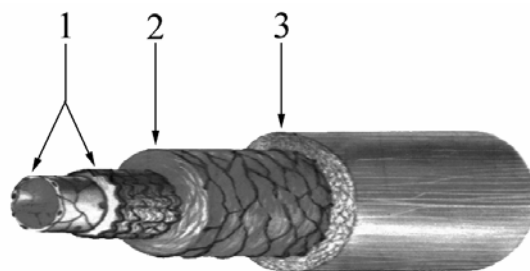


Fig. 2. Estructura de las arterias. 1) *Capa o túnica interna.* 2) *Capa o túnica media.* 3) *Capa o túnica externa o adventicia.*

Con un diámetro de 25 a 40 milímetros, la aorta es el tronco mayor del árbol arterial.

Partiendo del corazón se va extendiendo por la periferia del cuerpo, subdividiéndose sucesivamente en ramas de menor diámetro, o bien, dando otras ramas colaterales, al propio tiempo que disminuye también el espesor de sus paredes, pasando a ser arteriolas, con las paredes muy delgadas y un diámetro medio de 0,2 milímetros. Estos vasos progresivamente van reduciendo su diámetro, denominándose capilares arteriosos, confluyendo con los capilares venosos. De esta forma, se abastecen de sangre arterial rica en oxígeno y de los diferentes principios nutritivos, todos los órganos y tejidos de nuestro organismo, llegando incluso hasta las más remotas y lejanas células.

Las venas son las vías sanguíneas que transportan al corazón la sangre venosa procedente de la periferia del organismo, carente de oxígeno y nutrientes, estando muy enriquecida de dióxido de carbono, así como de sustancias de desecho procedentes de la actividad económica celular. Son cilíndricas, de paredes elásticas y membranosas, permanecen en un estado de relajamiento cuando están vacías de sangre. Se forman en la estructura laminar íntima de los tejidos por la unión de un nutrido número de capilares venosos, aumentando gradualmente su diámetro en su recorrido hacia el corazón. La excepción del origen de la formación de las venas es la marcada por la vena porta, que iniciándose en los capilares del intestino delgado, termina en los capilares hepáticos.

En su formación, la vena es una diminuta raicilla venosa llamada vénula, con un diámetro muy pequeño y una pared también muy delgada. Las vénulas, a medida que van aproximándose al corazón, se anexionan con otras venas mayores, vaciando su sangre y esta vena, a su vez, a otras mayores aún. De esta forma, se incrementa el grosor de sus paredes, adquiriendo al propio tiempo un mayor diámetro, que supera al de las arterias.

La estructura anatómica de la pared de las venas difiere algo de la de las arterias. En ésta también se diferencian tres capas o túnicas: la capa más interior se conoce con el nombre de íntima o interna, de naturaleza endotelial; la media o musculoelástica es la capa ubicada en el centro, compuesta de tejido conjuntivo-muscular, menos desarrollado que en las arterias; la capa interior es la adventicia o externa, formada por tejido conjuntivo.

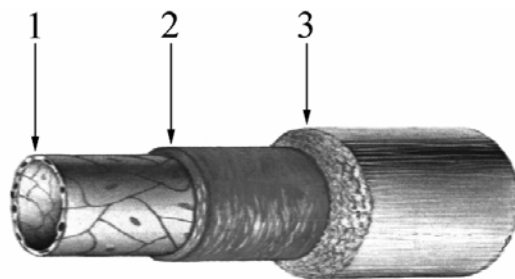


Fig. 3. Estructura de las venas. 1) *Capa o túnica interna.* 2) *Capa o túnica media.* 3) *Capa o túnica externa o adventicia.*

El interior de la pared de las venas de pequeño diámetro se compone solamente de endotelio, con un recubrimiento exterior de exiguos componentes musculares y elásticos, así como de elementos conjuntivos.

Siendo la presión en las venas muy baja, en algunas de ellas y, en particular, en las venas de las extremidades inferiores, en su interior están dispuestas, de forma escalonada, unas válvulas que recuerdan las válvulas sigmoideas aórticas y pulmonares, cuya función es facilitar el flujo de la sangre al corazón, impidiendo el sentido retrógrado de la misma, empujada hacia abajo por la fuerza de la gravedad.

A menudo, las venas, que superan en número a las arterias, se comunican entre sí a través de unos canales denominados anastomosis venosas, situados entre las venas superficiales y las profundas. Éstos actúan de forma que, cuando la circulación venosa superficial está dificultada o interrumpida, la sangre se transvasa por la anastomosis a la vena profunda para dirigirse al corazón.

Los capilares son unos diminutos vasos sanguíneos, cuyo diámetro oscila entre 5 y 30 μm , que representan la unión entre las arteriolas, últimas ramificaciones del árbol arterial, y las vénulas, origen de las formaciones venosas, cerrando de esta forma el circuito por el que recorre la sangre en el sistema circulatorio de nuestro organismo. Reciben el nombre de: capilares arteriales o venosos, según transporten sangre arterial o venosa.

Desde el punto de vista funcional, los capilares son la parte más importante de la circulación sanguínea, ya que por medio de sus paredes se efectúan las aportaciones de las sustancias nutritivas a las células, recogiendo los productos tóxicos de desecho, así como también se realiza el intercambio gaseoso, es decir, del oxígeno y dióxido de carbono entre los hematíes de la sangre y las células. Para favorecer estos importantes intercambios, la circulación de la sangre por los capilares es lenta.

Los capilares en nuestro organismo son numerosísimos, inclusive en los órganos más pobremente vascularizados. Si literalmente se pusieran todos en fila, darían la vuelta a la Tierra poco más de dos veces y media.

La pared de los capilares es extremadamente fina, formada fundamentalmente por una capa endotelial, continuación de la de las arteriolas y vénulas, está revestida por tejido conjuntivo. Las células endoteliales no están unidas entre sí, limitan en unos pequeños espacios llamados intercelulares, siendo por medio de ellos donde la sangre realiza los intercambios nutritivos y gaseosos con los tejidos. Muchos de los capilares sólo tienen el suficiente diámetro como para permitir el paso de una hilera de hematíes.

Por influencias nerviosas o humorales, el diámetro de los capilares tiene variaciones. Cuando un órgano de nuestro cuerpo se encuentra en estado de relajación, se estrechan, por ello, circula menos sangre. Por el contrario, cuando el órgano está en gran actividad, se dilatan, aumentando el caudal sanguíneo y, con ello, permitiendo mejorar el aporte de los principios nutritivos para liberar energía.

El sistema linfático

Encuadrado en el sistema circulatorio, existe un sistema especial que se podría determinar como auxiliar de las vías venosas, no transporta sangre y conduce un líquido muy diferente llamado linfa. Esta formación se denomina sistema linfático, que se extiende por casi todas las zonas corporales y está comprendido por los ganglios, llamados también glándulas linfáticas, y los vasos linfáticos.

La linfa es un líquido claro de color blanco amarillento, rico en dióxido de carbono, constituido entre otras sustancias por agua, fibrina, sales minerales, linfocitos, albúmina, microbios, corpúsculos de grasa y, de forma accidental, hematíes. Un peculiar tipo de linfa es el quilo, producto de la reabsorción intestinal en la fase final de la digestión, formado por linfa y grasas emulsionadas, presenta un aspecto blanquecino lechoso. El quilo es vertido a los vasos quilíferos, que se originan en las innumerables vellosidades intestinales, para ser conducido, sin pasar por la vía hepática, hacia el sistema venoso y el corazón.

En su recorrido por el sistema circulatorio, cerrado por los capilares, la sangre no lo abandona, por lo tanto, no se pone íntimamente en contacto directo con las células de los diversos tejidos que integran nuestro organismo. Pero, como la sangre arterial transporta las sustancias nutritivas que debe suministrar a la célula, el plasma sanguíneo se infiltra a través de las paredes de los capilares arteriales, llamado en este punto linfa de los tejidos, acu-mulándose en los espacios intercelulares, siendo de esta forma cómo se nutren las células de los tejidos. Este plasma, que después de ceder los nutrientes a las células, les retira los productos de desecho, y que en este otro punto se denomina linfa, es recogido en los vasos linfáticos.

Los vasos linfáticos son conductos de forma cilíndrica y diámetro variable en su recorrido, es decir, presentan una serie de estrechamientos y dilataciones, formando nudosidades

de manera escalonada. Se forman por la confluencia de varios capilares linfáticos. Éstos son unos finos tubitos, cerrados en forma de saco, que se originan en los espacios intercelulares de las células.

A medida que los vasos linfáticos recorren nuestro organismo, van convergiendo en otros vasos cada vez mayores, y así sucesivamente, terminando en dos grandes vasos colectores: el conducto torácico y el conducto linfático derecho. Estos dos grandes conductos recogen toda la linfa y el quilo, vertiéndolos el conducto linfático derecho en el punto de unión de la vena subclavia derecha con la yugular interna derecha, mientras que el conducto linfático torácico descarga en el punto de encuentro de la vena subclavia izquierda con la yugular interna izquierda.

La estructura de los vasos linfáticos es muy similar a la de las arterias y venas, sus paredes, también membranosas y elásticas, son más delgadas; la pared de un vaso linfático capilar recuerda la estructura del capilar sanguíneo. La circulación linfática y quilífera, iniciándose en los capilares linfáticos, tienen una dirección centrípeta, como la venosa, de la periferia al corazón, pero a una velocidad inferior. En el interior de los vasos linfáticos se hallan dispuestas unas válvulas de idéntica naturaleza y formación que las de las venas, aunque siendo mayor su número, que regulan el curso de la linfa, impidiendo su reflujo.

El trayecto de los vasos linfáticos se encuentra interrumpido de forma escalonada por unas formaciones globulosas de consistencia blanda, son los ganglios linfáticos, llamados también linfoglándulas o linfonódulos. Están envueltos por una cápsula de tejido conjuntivo denso y se componen de una sustancia cortical y otra medular formada por tejido adenoideo, con gran contenido de células linfáticas. El número de ganglios oscila entre 600 y 700, de un tamaño que varía desde la cabeza de un alfiler hasta el de una aceituna. Se encuentran diseminados por todo el organismo de forma aislada, aunque la mayoría está dispuesta en grupos o paquetes de volumen y forma variable, pudiéndose observar los más superficiales, como los de la región inguinal, la axial, la poplítea, la laterocervical, así como en la flexura del codo, etc.

Los ganglios son órganos donde la linfa transportada por los vasos linfáticos permanece estacionada un cierto periodo de tiempo, siguiendo un proceso de filtración, eliminando las sustancias nocivas y extrañas, así como toxinas y microbios patógenos que llegan desde los tejidos periféricos y, por fin, una vez depurada es reconducida por su trayecto hasta terminar en el sistema venoso. Los ganglios linfáticos tienen una doble función, actuar a modo de estaciones depuradoras y producir los linfocitos.

Por todo lo dicho, el sistema linfático constituye una parte importante para la defensa orgánica de las infecciones.

La presión sanguínea

La presión sanguínea es la que presentan las paredes de los vasos sanguíneos, con dependencia de la presión de la sangre que circula por ellos, del tono y la elasticidad de los mismos. Para que el sistema circulatorio tenga un funcionamiento perfecto, es trascendental que en el interior de los vasos sanguíneos exista una presión más o menos constante, que debe mantenerse así pese a la irregularidad de diámetro que experimentan.

El corazón, durante la fase sistólica, impele a la arteria aorta un volumen de 70 cm³ de sangre aproximadamente, que avanza por toda esta arteria a una velocidad de 50 cm por segundo. El diámetro de la aorta, junto con la del resto de las arterias, se dilata y recibe la sangre, que, después de contraerse, impulsa a la periferia del organismo durante la fase diastólica del corazón.

La presión más alta se presenta en la aorta, disminuyendo a medida que la sangre pasa por todo el sistema circulatorio vascular. La más baja concurre en las venas cavas. Mediante esta diferencia de presión, se asegura la circulación continua de la sangre, que, como todos los líquidos, solamente puede fluir de un punto de presión más alta a otro en la que es más baja. Concretando, en clínica se expresa como presión sistólica o máxima la presión más alta, que

corresponde justamente cuando el corazón en su fase sistólica impulsa con toda su potencia la sangre a los vasos. La presión más baja corresponde al instante en que finaliza la fase diastólica del corazón, llamándose presión diastólica o mínima.

La presión sanguínea no tiene valores fijos en absoluto. Mantiene unos cambios de fluctuación fijados por la fuerza de contracción del músculo cardíaco, la elasticidad de los vasos sanguíneos, la climatología, los esfuerzos físicos, las emociones, la edad, en diversas situaciones patológicas, etc. Pero, en cambio, tiene una gran rapidez de adaptación a las demandas fisiológicas de nuestro organismo, gracias a las variaciones de constricción y dilatación de los vasos, por la severidad en el control que ejerce el sistema nervioso. La medición de la presión sanguínea se realiza con un instrumento llamado esfigmomanómetro, cuyos valores son expresados en mm de Hg, por mediación de un manómetro de mercurio que este instrumento incluye. Si la presión en el interior de un vaso sanguíneo es de 100 mm de Hg, esto quiere decir que la potencia ejercida por la sangre vencería la resistencia de una columna de mercurio hasta elevarla a la altura de 100 mm. Si se aplicara agua en vez de mercurio, la columna se elevaría a 1.333,3 milímetros.

No existen límites fisiológicos por los que se pueda determinar la presión sanguínea en nuestro organismo. Sólo la experiencia y la observación en clínica nos revelan que la presión sistólica normal de un adulto de 30 años oscila alrededor de 130 mm de Hg, siendo la diastólica de unos 75 mm, anotándose como 130/75. Estos valores crecen de forma fisiológica con la edad, dando unos valores fluctuantes de 160/90 a los 60 años. Estudios realizados indican que, siendo unos valores medios, el aumento o disminución discretamente moderados no deben considerarse anormales. Un método empírico, comúnmente establecido y suficientemente preciso, es considerar como presión sistólica el valor obtenido por la suma del número 100 a la edad del individuo. La presión diastólica será el cociente al dividir por el número 2 el valor de la presión sistólica e incrementándole el número 10.

Un valor muy significativo para el médico es la presión diferencial. Este valor es el resultado de la diferencia entre los valores de la presión sistólica y la diastólica. Cuando los valores de la presión sanguínea se diferencian de forma notable de este método empírico, por aumento o disminución, corresponde a un estado patológico de hipertensión o hipotensión.

Es un hecho curioso que los animales, independientemente del tamaño, presentan unos valores en la presión sanguínea semejantes a los nuestros. Considerando la presión sanguínea de un gorrión, constatamos que es discretamente más elevada que la de un hombre adulto y no distinta a la presión sanguínea de un elefante.

El pulso arterial

Un fenómeno no cuestionable, de verdadero interés y ayuda para el médico, por la contribución que tiene en el conocimiento del comportamiento anormal del sistema circulatorio y la diagnosis de determinados patologías, es el pulso arterial. Se da por hecho que una de las actitudes del médico en el reconocimiento clínico es la palpación del pulso arterial.

El pulso es un latido intermitente que se percibe de forma rítmica cuando con las puntas de los dedos comprimimos, tenuemente, una arteria superficial sobre un plano óseo en diversas partes del cuerpo. Es típica la palpación del pulso en la parte más distal del hueso radio, justamente en la unión con la muñeca, punto denominado pulso. En este lugar pasa una arteria de un diámetro medio, llamada radial, apoyándose sobre el radio. En esta zona del brazo, llamada pulso, se percibe el latido o pulsación 1/5 de segundo después del latido cardíaco.

Este latido arterial es causado por la expansión y la refracción de los vasos sanguíneos arteriales, que se produce después de cada contracción cardíaca o sístole del ventrículo izquierdo. La presión de la sangre, bruscamente lanzada sobre la arteria aorta, dilata sus paredes elásticas y se propaga en forma de onda sobre ésta y todo el árbol arterial.

Simplificando, el pulso arterial es dependiente de la contracción cardíaca, que se produce

por las vibraciones sonoras generadas al chocar la sangre lanzada a la arteria aorta contra la masa de sangre que todavía existe en esta arteria. Esta onda sonora vibrátil, que se propaga a una velocidad de 9 m por segundo por todo el árbol arterial, se denomina onda esfígmica. Convendría matizar que el pulso arterial no se origina, como se pudiera creer, por la oleada de sangre que mediante la sístole es lanzada a la aorta; de producirse de esta forma, el pulso arterial, tomado en la arteria radial, no se percibiría a 1/5 de segundo después del latido cardíaco, sino más tarde, ya que, como se ha dicho con anterioridad, la sangre lanzada por el corazón a la arteria aorta circula por ésta a una velocidad de 50 cm por segundo.

El pulso, siendo el fenómeno más elemental y de percepción tan sencilla, es de gran importancia para el médico, porque analizando la onda esfígmica le permite enjuiciar la actividad del corazón, así como su ritmo, su fuerza contráctil, la elasticidad o rigidez de las arterias, la presión arterial, etc.

El promedio de la frecuencia del pulso arterial en el adulto es de 60 a 80 pulsaciones por minuto. Un aumento de esta frecuencia durante o poco tiempo después del ejercicio, o después de la comidas es normal, así como su disminución durante el sueño.

Otra curiosidad es la disparidad del pulso arterial en los animales con respecto al hombre. Observemos que el gorrión tiene 800 pulsaciones por minuto, el ratón 60, el perro 100, el caballo 40 y el elefante solamente 25.

La hipertensión

El Reglamento General de Conductores, aprobado mediante el **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, en su ANEXO IV, punto 4. SISTEMA CARDIOVASCULAR, apartado 4.4, Hipertensión arterial, indica los valores límites que la persona hipertensa deberá tener para la obtención o renovación de permiso o licencia, que le facultan para la conducción de vehículos a motor. Estos valores que determina no deberán ser superiores en la presión arterial sistólica a los 200 milímetros de mercurio o en la presión diastólica a los 120 milímetros de mercurio.

El **Real Decreto 2272/85, de 4 de diciembre**, en su ANEXO I, punto IV SISTEMA CARDIOCIRCULATORIO Y RENAL, apartado D) Hipertensión arterial dispone: aquellas que en la exploración se aprecien unas cifras sospechosas de una afectación cardiovascular, renal o endocrina y siempre si la mínima supera los 120 milímetros de mercurio.

La hipertensión es el aumento con carácter transitorio, esporádico o constante de los valores empíricos establecidos para la presión arterial por encima de los límites normales. No es una enfermedad por sí misma, sino un síntoma derivado de alguna alteración fisiológica de una o varias partes de nuestro organismo, causado por enfermedades renales, degenerativas, metabólicas, hemodinámicas, endocrinas, herencia o factores genéticos, estrés, etc.

Dependiendo de las diversas situaciones patológicas, cuyo síntoma es la hipertensión, ésta se divide en dos grandes grupos: hipotensión primaria o esencial e hipotensión secundaria. Con relación a la hipertensión esencial, hay que tener en cuenta que algunos autores la consideran como una enfermedad definitiva y no como un síntoma, otros, por el contrario, le asignan su origen a varias enfermedades que, hoy por hoy, no tienen cualidad de diferenciación. Sin entrar en estas discrepancias en cuanto a la calificación de la hipertensión esencial, ni examinar detalladamente los fenómenos que entran en estas de-terminaciones, lo cierto es que esta patología se instaura en un determinado periodo de la vida injustificablemente y sin causa alguna definible. Se dice que este tipo de hipertensión esencial constituye el 90% de las hipertensiones.

La hipertensión secundaria, como su nombre indica, se presenta en individuos como síntoma de una patología específica en uno o varios órganos responsables de la hipertensión, como bien pudiera ser la hipertensión de origen renal, endocrina o de la glándula suprarrenal, etc.

El conjunto de fenómenos que conducen al desarrollo de la hipertensión es muy

problemático y, en la actualidad, muy discutido y, probablemente, tendrá que pasar mucho tiempo para poder afirmar el grado de responsabilidad de los factores del origen y desarrollo de la hipertensión. No obstante, bastará recordar que, a pesar de que cursa con frecuencia asintóticamente, es fácil de detectar, casi siempre sencilla de tratar y tiene consecuencias graves, con un índice de mortalidad muy elevado, si no se trata.

Generalmente, el tratamiento consiste, en un principio, en el establecimiento de medidas preventivas, como eliminar en la medida de lo posible los factores de riesgo, instaurar una dieta hiposódica adecuada, reducir el peso en la obesidad, aliviar el estrés, no hacer uso del tabaco, bebidas alcohólicas, excitantes, etc. En caso de no obtener resultados satisfactorios, administrar la medicación adecuada y, sobre todo, tratar la enfermedad causal, si la hay.

EL ESFIGMOMANÓMETRO

El esfigmomanómetro, cuyo nombre es de procedencia griega —sphygmós (pulsación, latido) y de manómetro— igualmente llamado tensiómetro, es el instrumento que se emplea para la medición de la presión sanguínea o presión arterial. Esta práctica es llamada esfigmomanometría.

Usualmente este instrumento es de mercurio, aneroide o electrónico. Todos ellos se basan en la obtención de los valores de la presión arterial en el manómetro. En la clínica diaria se emplea habitualmente el aneroide o el de mercurio, siendo este último el más usado en los consultorios médicos, así como el aneroide o mecánico en la práctica médica ambulante. Existen varios modelos de estos instrumentos, denominados por el nombre de sus ideadores: Vazquez-Lauby, Pachon, Potain, Buch, Rogers, Riva-Rocci, etc.

El esfigmomanómetro de mercurio está formado por un brazalete de tela resistente a la elasticidad, tejido con filamentos artificiales, como el tergal, o también de fibras naturales, como el algodón, cuyo cierre puede ser de velcro o de ganchos metálicos. El brazalete debe tener una anchura equivalente, al menos, a las dos terceras partes de la longitud de la parte superior del brazo, por lo general, su ancho estándar varía entre 12 y 14 cm. El interior de este brazalete de tela contiene una bolsa de caucho natural, de donde salen dos tubos también de caucho de una longitud variable, aunque no menores de 75 cm. Uno de los tubos está conectado por medio de una pieza metálica a un manómetro de mercurio, el otro conecta con una pequeña bomba neumática en forma de pera, que se adapta a una de nuestras manos, llevando incorporada una válvula o llave a través de la cual se puede hacer salir el aire bombeado dentro de la bolsa de caucho.

Todos los componentes descritos se encuentran dispuestos ordenadamente en un estuche metálico, donde también se encuentra el manómetro de mercurio dotado con una válvula de cierre del mercurio, que impide el flujo no deseado por el interior del tubito de vidrio. En el interior de la tapa de este estuche está situado un tubito de vidrio transparente con un diámetro de 3,2 mm, por cuyo interior discurre una columna de mercurio. Este tubito está fijado mediante unos soportes a una escala bien legible, graduada numéricamente con un alcance de medición de 0 a 300, con división de 2 mm de Hg.

El funcionamiento del esfigmomanómetro de mercurio es muy sencillo. Después de abrir la tapa del estuche o unidad, ésta queda situada formando un ángulo recto con su base. Al abrir la válvula de cierre, el mercurio fluirá hacia arriba situándose en la línea cero de la escala graduada, quedando de esta manera preparado el tensiómetro para realizar la exploración. La columna de mercurio, al desplazarse verticalmente hacia la parte más alta, actúa marcando o registrando los valores que se obtienen en la esfigmomanometría.

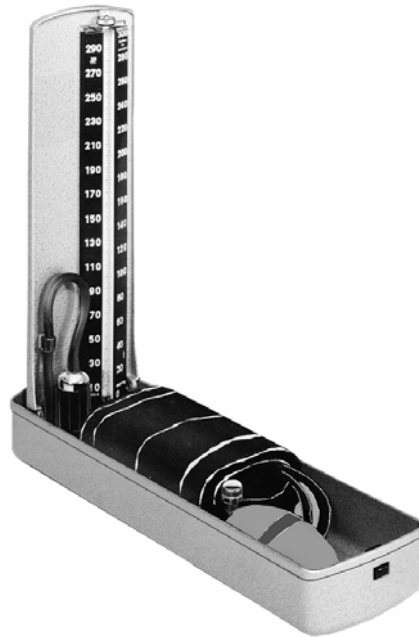


Fig. 4. Esfigmomanómetro de mercurio.

Otro tipo de esfigmomanómetro, como se ha comentado, es el denominado aneroides, en el que el mercurio no interviene en el manómetro. Se fundamenta en la deformación elástica que experimenta una membrana templada de cobre-berilio, dispuesta en el interior de una cajita plana redonda. En el interior de ésta, mediante un sistema de palancas, son amplificadas las variaciones de los movimientos que se producen por la deformación elástica de la membrana y los transmite a una aguja, que se desplaza sobre una esfera en la que está señalada una escala graduada en mm de Hg.

El diámetro de esta cajita que contiene este tipo de manómetro habitualmente es de 48 ó 56 mm, así la esfera graduada facilita una lectura óptica precisa y clara sobre una superficie amplia de los valores numéricos. El alcance de medición es también de 0 a 300, con divisiones de 1 ó 2 mm de Hg.

El manómetro está conectado directamente a una pequeña bomba neumática, idéntica a la del esfigmomanómetro de mercurio, mediante un soporte lateral metálico, que estabiliza el aparato y permite inflar el manguito o brazalette con rapidez, mediante la introducción del aire por la base de la cajita del manómetro. El brazalette está formado por los mismos componentes y características que se han descrito del aparato de mercurio.

Los dos tubos de caucho que salen del brazalette están equipados con una pieza conectiva para una rápida y cómoda conexión a la base de la cajita del manómetro; éste, a su vez, incorpora también en su base una válvula de tornillo de gran precisión, con la cabeza estriada para su mejor manipulación, siendo muy fácil de usar. Al girar levemente el tornillo, el aire bombeado en el interior del brazalette se libera a una velocidad ajustable. Cuando se gira este tornillo a su posición final, el aire sale rápidamente hasta que el brazalette queda completamente desinflado. Algunos aparatos tienen un sistema de un solo tubo, realizando la medición con la misma precisión de la unidad que incorpora dos tubos.



Fig. 5. Esfigmomanómetro anerode o mecánico.

El esfigmomanómetro electrónico, fundamentado en los principios del manómetro de mercurio, realiza las mediciones mediante un transductor de presión, que convierte las variaciones de presión en señales eléctricas. Éstas son digitalizadas para su visualización en una pantalla alfanumérica de cristal líquido (L.C.D.).



Fig. 6. Esfigmomanómetro electrónico.

La calidad unida a la exactitud en las mediciones hace que el elevado coste de este instrumento no lo haga asequible en la práctica clínica diaria, siendo empleado por regla general en centros sanitarios especializados.

El empleo del esfigmomanómetro es muy sencillo. El manguito se aplica alrededor del brazo con el borde inferior a 2-3 cm del codo. Deberá apretarse contra las partes blandas, pero no ejercerá ninguna presión sobre la arteria humeral. El antebrazo estará situado a la altura del corazón, con el codo ligeramente flexionado. El brazo no debe estar comprimido por la ropa.

Una vez enrollado el brazalete alrededor del brazo, se va inflando el manguito progresivamente, mediante la pequeña bomba neumática. De esta forma aumenta la presión ejercida sobre el brazo, provocando una compresión de los tejidos hasta aplastar en la profundidad la arteria braquial, denominada también humeral. Cuando esto ocurre, el clínico nota, mediante la

palpación de la arteria radial en la región del pulso, la desaparición de las pulsaciones. Esto indica el cese de la llegada de sangre desde la arteria humeral aplastada por el brazalete. Llegando a este punto de la exploración, se aplica el cono o pabellón resonador del fonendoscopio suavemente sobre el pliegue del codo sin comprimir la arteria, se infla rápidamente el manguito hasta alcanzar una presión no superior a los 30 mm Hg, con respecto a la que previamente se ha determinado por el método palpatorio. No se advierte ningún ruido con el fonendoscopio.

En este momento se abre un poco el tornillo de escape de la válvula disipadora, dejando salir el aire de todo el sistema lentamente. La velocidad de salida del aire puede ser finalmente ajustada, normalmente, a una frecuencia de 2-3 mm de Hg/seg. Cuando se escucha el primer ruido arterial, se realiza la lectura en el manómetro, siendo ésta la presión sistólica, es decir, la presión que existe dentro del brazalete y, como ésta se opone a la ejercida por la sangre en el interior de la arteria humeral, al ser comprimida por el manguito, se la considera como la presión máxima o sistólica.

Prosiguiendo la liberación del aire del brazalete, se observa que a un cierto nivel de presión no se escuchan las pulsaciones o ruidos arteriales, ya que la arteria no vuelve a sufrir colapsos circulatorios en ningún momento y la sangre pasa sin hacer ruido. A este instante de silencio le corresponde los valores de la presión mínima o diastólica. Este fenómeno de silencio se conoce como pozo o silencio auscultatorio. En algunos casos, los menos, no ocurre la desaparición clara de los ruidos, sino una disminución de la intensidad, en ellos conviene indicar en la anotación del valor un signo de interrogación para resaltar la duda, por ejemplo: 140/80?

Como hemos dicho, el primer ruido que se oye a través del fonendoscopio e indica la presión sistólica, se debe a la turbulencia de la sangre y a la distensión de la pared arterial y experimenta cambios en el tono y la intensidad a medida que disminuye la presión del aire en el manguito, distinguiéndose cinco fases. En la primera son sordos y de baja intensidad, en la segunda adquieren un carácter soplante y se acentúan en la tercera fase, pasando súbitamente a hacerse de baja frecuencia en la cuarta fase, disminuyendo hasta desaparecer en la quinta fase, momento que coincide con la presión diastólica. Estos ruidos son denominados: ruidos de Korotkoff.

La realización de la esfigmomanometría requiere que la persona que se está explorando permanezca quieta y se debe evitar el apretar el manguito, ya que esto afectará la medición. Por otra parte, es preciso evitar que el brazalete esté inflado durante mucho tiempo, puesto que de esta forma se provoca una hipertensión venosa, que suele aumentar la presión arterial diastólica.

EL OSCILOTONÓMETRO U OSCILÓMETRO

La claudicación intermitente

La claudicación intermitente, también llamada angina cruris, o disbasia angiospástica, es una enfermedad obstructiva arteriosclerótica de las arterias de la región aortoilíaca y femoral. Típicamente trae como consecuencia una disminución o la posible ausencia de pulsos arteriales distales, así como dolor con intermitencia, que se pone de manifiesto con el esfuerzo y que se alivia con el reposo.

Aunque la claudicación intermitente puede referirse a cualquier grupo muscular, generalmente, el término hace referencia a la musculatura de las extremidades inferiores. Este proceso arteroesclerótico tiene predilección por la aorta abdominal infrarrenal y sus ramas ilíacas. Las consecuencias de esta enfermedad obstructiva en esta área son mitigadas, o se manifiestan bastante lentamente, por la creación de una circulación sanguínea colateral de compensación, al conectarse por anastomosis las arterias lumbares y mesentéricas inferiores con las arterias ilíacas internas o femorales, proporcionando vías alternativas para mantener una irrigación, aunque reducida, mínimamente adecuada hacia las extremidades inferiores. Las condiciones que caracterizan esta enfermedad son ataques de cojera, así como dolor habitualmente en los músculos de las pantorrillas, muslos o glúteos, cuya causa es una isquemia muscular secundaria a una disminución del flujo sanguíneo, que como hemos visto se pone de manifiesto con ejercicio y se alivia en reposo.

Este dolor, incitado por ejercicio, puede estar presente durante muchos meses, incluso años, antes de que la persona que lo sufre consulte a un médico, a pesar de que el dolor isquémico suele ser, por lo general, muy atroz. El dolor se describe como de calambre, sensación urente o de quemazón, por lo común en la región gemelar, pero ocasionalmente en muslos y nalgas. La claudicación intermitente es un diagnóstico que se precisa por el interrogatorio y se confirma por evidencia de obstrucción al flujo sanguíneo arterial en reposo, o bien durante ejercicio. La causa más común es la arteriosclerosis. El dolor no debe ser provocado por la posición del pie, en cuyo caso, es más característico de una etiología musculoesquelética, o bien por una insuficiencia venosa. Este tipo de dolor suele durar aproximadamente 1 minuto, si durara más tiempo, se podría buscar un origen musculoesquelético o neurológico.

Los síntomas de claudicación intermitente se localizan por debajo de la zona donde está la obstrucción del sistema vascular, dado que los grupos musculares afectados por isquemia siempre se encuentran ubicados en la región más distal con relación a la obstrucción. La severidad de esta perturbación vascular es inversamente proporcional al grado de actividad que puede tolerarse, y es directamente proporcional al tiempo que se requiere para que después del ejercicio el dolor pueda ceder.

Los hallazgos físicos relacionados con la claudicación intermitente pueden ser generalizados o locales. Debido a que la presión arterial distal, con relación a la obstrucción, se encuentra disminuida, la elevación de la extremidad unos 45° o más sobre el plano horizontal de la persona a examinar, puede causar un emblanquecimiento de los dedos del pie, e inversamente, la situación de la extremidad en posición declive, podrá conllevar la aparición de un considerable rubor. Así la palidez con la elevación y el rubor con el declive, son signos muy significativos para el diagnóstico de una enfermedad aortofemoral obstructiva.

La claudicación intermitente, generalmente, se debe a una aterosclerosis de los

vasos periféricos y, dado que se trata de una enfermedad sistemática, la presencia de ésta es un indicador confiable de otras patologías y deben buscarse los antecedentes de las mismas. La existencia de soplos o ruidos carotídeos, angor pectoris, es decir, angina de pecho, aneurisma abdominal, latido precordial ectópico con o sin insuficiencia mitral o galope, evidencias electrocardiográficas de infarto de miocardio, etc., aumenta la probabilidad de aterosclerosis de la vascularización de las extremidades inferiores. El tratamiento médico de estas patologías, aunque paliativo y no curativo, dará como resultado disminuir los síntomas en la mayoría de los individuos y, con ello, la supresión de los ataques de claudicación intermitente o, al menos, el distanciamiento en el tiempo de nuevos ataques.

Los pulsos ausentes o disminuidos en las extremidades inferiores constituyen una evidencia importante de resistencia al flujo sanguíneo, compatible con aterosclerosis en personas de avanzada edad principalmente. Un pulso disminuido en una extremidad inferior, en comparación con la otra extremidad, es en gran medida sugestiva de obstrucción vascular. Cambios en el trofismo de la piel se acompañan en casi todas las obstrucciones de desarrollo lento del sistema vascular periférico, e indican una seria isquemia. El tejido subcutáneo aparece edematoso y engrosado, para más tarde ponerse seco, atrófico, brillante, tenso y sin pelo. También la ausencia de pelo en el primer dedo del pie, con uñas engrosadas y quebradizas, es otra evidencia de insuficiencia vascular periférica.

El diagnóstico de la claudicación intermitente se suele realizar por los antecedentes, especialmente por el dolor en las extremidades inferiores, que se pone de manifiesto tras la marcha, aliviándose con el reposo. Se debe diferenciar este dolor de origen isquémico, de otros dolores no vasculares y, en particular, de los provocados por las polineuritis, de los dolores articulares y óseos, de los calambres nocturnos, de los dolores provocados por enfermedades de la médula espinal. Generalmente, el diagnóstico puede confirmarse por la evidencia física de obstrucción del flujo sanguíneo en las extremidades inferiores en reposo, o bien durante el ejercicio.

Mediante la palpación de las extremidades, comprobando una disminución o ausencia de pulsos arteriales, particularmente en las arterias femoral, poplítea, pedía y tibial posterior, así como la comprobación de las posibles diferencias térmicas en todo el miembro, pasando el dorso de la mano, que es más sensible al calor, por toda la extensión de la extremidad, con el fin de descubrir un límite térmico si lo hubiera, y la realización de una oscilometría, que registra por un método mecánico las variaciones de la onda del pulso, es decir, la onda esfígmica de las grandes y medianas arterias, se impide, por la exactitud de dichas exploraciones, que se indiquen otras pruebas exploratorias más invasivas y, por tanto, más cruentas. Si los síntomas son severos, y limitan la actividad de la persona a niveles inaceptables, es necesario efectuar un estudio angiográfico de la aorta y vasos distales, e instaurar a la vista de los datos obtenidos el tratamiento adecuado. Tratamiento que, por lo general, suele ser quirúrgico.

El tratamiento médico de la claudicación intermitente, como se ha comentado anteriormente, no es curativo. Se trata de un proceso crónico degenerativo que afecta las paredes internas de las arterias de todo el organismo y, selectivamente, a las de las extremidades, sobre todo, a las inferiores. La enfermedad está caracterizada por la acumulación progresiva de sustancias de tipo graso en la pared arterial, que eventualmente pueden interferir en el flujo de sangre a través de la luz del vaso. La progresión del proceso puede retrasarse al modificar ciertos factores de riesgo, como la disminución del colesterol sérico, normalización de la presión arterial, pérdida ponderal, tabaquismo, mantenimiento de la glucemia en los niveles más normales posibles, vida sedentaria, situaciones de tensión emocional, etc.

Los procedimientos quirúrgicos están indicados en las personas que presentan dolor isquémico en reposo, que limita severamente el uso de las extremidades, o bien necrosis hística, que pudiera indicar que la extremidad está en peligro, y el tratamiento médico es poco efectivo. Cuando la enfermedad está limitada a la aorta distal y las arterias ilíacas, con el bypass o la

endarterectomía disminuyen o mitigan los síntomas. La angioplastia transluminal percutánea también es una alternativa para determinados afectados.

La oscilotonometría

Se ha comentado, de forma generalizada, algunos de los signos objetivos que proporcionan el examen físico de la persona con patología obliterante en las extremidades inferiores. Estos signos, a través de los órganos sensoriales, así como el tratamiento intelectual de la información, engrandecidos por conocimientos previos, son suficientes y preceptivos la mayoría de las veces para poder establecer un diagnóstico de presunción. Junto a todo ello, se dispone de un número de instrumentos diseñados para superar los sentidos del hombre, pues permiten el registro gráfico de las diferentes ondas del pulso y las variaciones del volumen sanguíneo en las arterias con gran detalle y precisión. Instrumentos que suelen formar parte del llamado laboratorio de hemodinámica vascular. Sin entrar en detalles, y no por su falta de interés, en este conjunto instrumental tan importante comentaremos una prueba considerada como la más útil para el médico no especialista: la oscilometría. El instrumento con el cual se realiza esta prueba es un esfigmomanómetro llamado oscilotonómetro.

La oscilotonometría, aunque no es una técnica precisa, debe considerarse de gran utilidad, ya que proporciona de forma fácil y rápida información sobre el caudal arterial de las extremidades, tanto en reposo como después de un esfuerzo. Esta prueba se puede realizar en diferentes niveles, perfectamente definidos, de las extremidades: en las extremidades superiores en el nivel de las arterias humerales, radiales y cubitales y en las extremidades inferiores en los niveles de las arterias femorales, poplíteas, peroneales y tibiales.

EL OSCILOTÓNÓMETRO

El oscilotonómetro, por lo general también llamado oscilómetro, es una forma de esfigmomanómetro que se emplea para la medición de los cambios de volumen sanguíneo, producidos en las extremidades por medio de las pulsaciones del sistema arterial. En los consultorios médicos, así como en la práctica médica ambulante, lo más común es el empleo de este instrumento en su versión mecánica.

El oscilómetro está formado por dos pequeñas bolsas longitudinales de caucho natural, introducidas en el interior de una especie de brazaletes o collarín de tela inextensible, similar al del tensiómetro, cuyo ancho está situado entre los 14-15 cm, y de longitud suficiente para que se pueda rodear mediante una vuelta, al menos, el perímetro del miembro a explorar. La fijación o sujeción en la extremidad se realiza mediante un cierre de velcro o de ganchos metálicos. Con objeto de que las bolsas de caucho introducidas en el interior del brazaletes o collarín permanezcan dispuestas paralelamente, una en la parte superior y la otra en la inferior, este collarín dispone de unos compartimientos en forma de bolsillo, donde se sitúa cada una de estas bolsas. El compartimiento superior se denomina proximal, así como el inferior se llama distal. En cada una de las bolsas está conectado un conducto tubular, también de caucho, de una longitud variable, aunque no menor de 75 cm. El tubo conectado a la bolsa situada en la parte superior, o proximal, es de color negro, siendo el conectado a la otra bolsa de la parte inferior, o distal, de color rojo. Ambos tubos salen al exterior por una abertura que el collarín tiene para este fin cerca del extremo inferior izquierdo.

Las bolsas de caucho introducidas en el interior del brazaletes, al estar dispuestas paralelamente, como se ha dicho, una en la parte superior proximal y la otra en la parte inferior distal, tienen por objeto facilitar la medición de la diferencia de presión en dos lugares distintos de la zona que se explora y, de esta forma, calcular el volumen sanguíneo circulante en el punto de la zona que se explora.

Las mediciones se realizan mediante un manómetro de tipo arenoide, fundamentado en la deformación elástica que experimenta una membrana de cobre-berilio, dispuesta dentro de una caja plana redonda, en cuyo interior, mediante un sistema de palancas, son amplificadas las variaciones de los movimientos que se producen por la deformación de la membrana. Estos movimientos son transmitidos a una aguja que se desplaza de manera oscilante sobre una esfera, en la que está señalizada una escala graduada en mm de Hg.

El diámetro de esta caja que encierra este tipo de manómetro, por lo general, es lo suficientemente grande para facilitar la lectura óptica precisa y clara sobre la superficie amplia de la esfera con los valores numéricos. El alcance de medición es de 0 a 300, en divisiones de 5 mm de Hg.

En la parte delantera del manómetro, en su parte central, se encuentra acoplado un soporte, conteniendo un conjunto de válvulas manométricas, del que salen por el lateral de la derecha dos conductos tubulares de caucho, de pequeña longitud —unos 6 cm—, dispuestos uno arriba del otro. El situado en la parte superior es de color negro y el de la parte inferior rojo. Estos tubos, cuando se realiza una exploración o prueba oscilométrica, siempre estarán unidos, coincidiendo su color con el de los tubos salientes de las bolsas introducidas en el brazaletes, mediante unas piezas conectivas estancas, que van acopladas en los tubulares. También en este soporte se encuentra situada, en su parte superior, la válvula de escape, a la que se recurre para desahogar muy lentamente la presión que se mantiene en las bolsas del manguito, y que se introduce mediante una pequeña bomba neumática en forma de pera, llamada igualmente soplante, la cual lleva incorporada otra válvula reguladora, que sirve para la regulación del aire que se va introduciendo en las bolsas del interior del manguito. El soplante está, asimismo, unido al soporte valvular mediante un sencillo acoplamiento, justo al lado de los pequeños tubulares salientes del mismo, como se ha dicho, en el lateral derecho. De la misma manera, en el lateral izquierdo se encuentra un conmutador de muy sencillo manejo, el cual se acciona mediante una palanca de fácil acceso. En el lateral superior izquierdo del manómetro se encuentra un tornillo de ajuste y con él, si es necesario, se ajusta la aguja o se pone en el cero de la escala graduada.

Todos estos componentes descritos se encuentran dispuestos ordenadamente en un estuche metálico o plastificado, donde el manómetro, situado en el centro, está fijo mediante una sujeción de tornillería que lo protege en los desplazamientos, evitando que se desajuste y, con ello, se altere su funcionamiento.

El empleo del oscilotonómetro es muy sencillo. El manguito se aplica alrededor del miembro a explorar, deberá apretarse contra las partes blandas, evitando en la colocación prominencias que, al hincharlo, dificultarían la compresión uniforme del miembro. Los tubos, debidamente conectados, saldrán por la cara interior del miembro hacia abajo, es decir, distalmente.



Fig. 1. Oscilotonómetro u oscilómetro.

Después de cerrar la válvula de escape, incorporada en el soporte unido al tonomanómetro, así como la válvula reguladora de la bomba neumática o soplante, se inyecta aire al sistema hasta que la presión supere en 20 mm Hg la presión sanguínea sistólica del individuo a explorar. En este proceso, son suficientes, por lo general, unos 150 mm de Hg, teniendo en cuenta que, al tratarse de una presión sanguínea patológicamente aumentada, se debe comprimir más el punto a explorar de la extremidad, pero nunca hay que sobrepasar el valor máximo de la escala, es decir, 300 mm de Hg.

Una vez realizadas estas maniobras, se abre la válvula de escape, de forma que la presión ejercida en las bolsas del manguito descienda con velocidad moderada. Al tiempo que se abre dicha válvula, se empuja hacia delante la palanca del conmutador, soltándola seguidamente, repitiéndose esta operación cada vez que la presión descienda 20 mm de Hg. Se observa la amplitud de las oscilaciones de la aguja en la escala del manómetro y se toma nota hasta que cesan estas oscilaciones. Cuando se advierte en la aguja del manómetro la máxima amplitud, es decir, las oscilaciones pulsatorias bruscamente aumentadas, esto corresponde a la presión sanguínea sistólica, o bien, al índice oscilométrico máximo.

La presión sanguínea diastólica, o índice oscilométrico mínimo, se puede medir con la palanca del conmutador suelta, es decir, en su posición original. Se abre la válvula reguladora del soplante lentamente, observando el modo con que realiza la aguja del manómetro el movimiento de las oscilaciones pulsatorias. Cuando este movimiento fluctuante pasa a ser un movimiento más atenuado y uniforme, corresponde a la lectura de la presión diastólica en la escala del manómetro.

Con el fin de llevar a cabo varias medidas, si se considerara necesario, éstas pueden realizarse mediante un nuevo bombeo de aire con el soplante, aumentando la presión del manguito, que había descendido del punto límite con que se realizó la primera medición. La válvula de escape en el manómetro se puede dejar inalterada, ya que se ajustó para la persona a explorar. Una vez terminadas las mediciones, se debe abrir la válvula reguladora del soplante al máximo para que salga el aire con rapidez y la extremidad explorada no sufra más presión. Con una sola de las manos del médico explorador basta para accionar el soplante, la válvula de escape, así como la palanca del conmutador. La otra mano puede quedar libre para realizar las anotaciones de los resultados que se obtengan o para mediciones palpatorias, aunque apenas habrá ocasión de emplear este método de medición tan poco perfecto y cómodo, y mucho menos todavía, el método auscultatorio.

En condiciones normales, la amplitud de las curvas oscilométricas en regiones corporales simétricas es prácticamente igual.

El cociente de dividir la presión sistólica en el tobillo por la presión sistólica en el brazo, se denomina: índice tobillo-brazo. Este índice debe ser mayor de 0,95 mm Hg. Cuando se realiza una prueba de esfuerzo, que en la práctica médica suele ser suficiente con someter a la persona a explorar a un ejercicio concreto, como subir y bajar un escalón 20 veces, o efectuar un número igual de flexiones, la respuesta normal al ejercicio es aquella en la cual no hay modificación o hay un aumento absoluto en la presión sistólica en el tobillo.

Cualquier disminución de más de 30% con relación a la presión en reposo se considera patológicamente suficientemente severa, e indica la existencia de estenosis u obliteración por encima de la zona explorada. Consecuentemente, produce síntomas de claudicación que habitualmente se ubicarán exactamente por debajo de la región de obstrucción del sistema vascular, dado que los grupos musculares isquémicos siempre se encuentran distales con relación a la obstrucción.

El **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, por el que se aprueba el Reglamento General de Conductores, en su ANEXO IV, indica las aptitudes psicofísicas requeridas para obtener o prorrogar el permiso o licencia de conducción, señalando en su punto 4. SISTEMA CARDIOVASCULAR, apartado 4.6, Arteriopatías periféricas, que para el grupo 1.º y el grupo 2.º no deben existir las de carácter obliterante que produzcan trastornos clínicos importantes con oscilometría muy disminuida. Las adaptaciones, restricciones y otras limitaciones en personas, vehículos o de circulación en permiso o licencia sujetos a condiciones restrictivas, tanto en el grupo 1.º como en el grupo 2.º no se admiten. Y así, también lo indica el **Real Decreto 2272/85, de 4 de diciembre**, en su ANEXO 1, punto IV SISTEMA CARDIOCIRCULATORIO Y RENAL, apartado F) Arteriopatías periféricas.

EL DINAMÓMETRO

El vigente Reglamento General de Conductores, aprobado mediante el **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, en su ANEXO IV, punto 3. SISTEMA LOCOMOTOR, apartado 3.1, Motilidad, señala que no deberá existir ninguna alteración que impida la posición sedante normal o un manejo eficaz de los mandos o dispositivos del vehículo, o que requiera para ello de disposiciones atípicas o fatigosas, ni afecciones o anomalías que precisen adaptaciones, restricciones u otras limitaciones en personas, vehículos o de circulación. En el punto 9. SISTEMA NERVIOSO Y MUSCULAR, apartado 9.1, Enfermedades encefálicas, medulares y del sistema nervioso periférico, indica que no deberán existir enfermedades del sistema nervioso central o periférico que produzcan pérdida o disminución grave de las funciones motoras, sensoriales o de coordinación. Continúa describiendo en sus siguientes números, otras afecciones que motivan la obtención o revisión de permiso o licencia de conducción, sin restricciones, como bien pudiera ser los ataques isquémicos transitorios hasta transcurridos seis meses, al menos, sin síntomas neurológicos.

El anterior **Real Decreto 2272/85, de 4 de diciembre**, que en la actualidad mantiene vigente los cuadros que determinan las aptitudes psicofísicas que deben poseer los conductores, en su ANEXO 1, punto III MOTILIDAD, apartado A) y en el punto VIII SISTEMA NERVIOSO Y MUSCULAR, apartados A) Enfermedades encefálicas, medulares y del sistema nervioso periférico, y B) Enfermedades del sistema muscular, señalan enfermedades y deficiencias que serán causa de denegación o de adaptación, restricciones de circulación y otras limitaciones en la obtención y revisión del permiso o licencia de conducción.

Por otra parte, el **Real Decreto 2487/1998, de 20 de noviembre**, por el que se regula la acreditación de la aptitud psicofísica necesaria para tener y usar armas y para prestar servicios de seguridad privada, en el APARTADO III correspondiente al SISTEMA LOCOMOTOR, señala en el punto que denomina Fuerza, los valores que se deben poseer en las distintas modalidades, medidos con el dinamómetro de Collins o similar. También en el APARTADO X, que corresponde al SISTEMA NEUROLÓGICO, detalla otras afecciones y los criterios de aptitud.

Ante estas indicaciones, que el médico conoce perfectamente y detecta mediante las exploraciones que correspondan, se ha considerado realizar un breve recuerdo anatomofisiológico, aprovechando la descripción del dinamómetro, así como del martillo de reflejos en otro apartado.

El tono muscular

Cada uno de los músculos que configuran nuestro organismo, aun cuando se encuentren completamente en reposo, presenta una cierta magnitud de tensión elástica. De esta manera, le permite entrar en contracción de inmediato, para producir o contrarrestar un movimiento, tan pronto reciba el estímulo o impulso procedente de los centros nerviosos, sin la pérdida de tiempo consiguiente que supondría vencer un estado de relajación completa. Este ligero grado de consistencia o firmeza de los músculos en medicina se denomina: tono muscular.

Antes de hablar en este apartado del tono muscular y su influencia en el organismo, al estar íntimamente unido al sistema nervioso de relación, sería conveniente recordar brevemente que en nuestro sistema corporal existen dos grandes grupos o categorías de nervios: sensitivos y motores.

Son sensitivos los nervios que tienen un curso aferente, es decir, que conducen desde la periferia de nuestro cuerpo los estímulos hacia los centros nerviosos —cerebro y médula espinal—, transportando las impresiones que provocan los estímulos externos o internos, los cuales se perciben como sensaciones que armonizan de diversas formas la esfera de la

emotividad psíquica.

En cambio, son motores aquellos nervios que tienen un curso opuesto, eferente, es decir, desde los centros nerviosos hacia la periferia de nuestro cuerpo, transportando las reacciones motoras adecuadas para que el sistema muscular —verdadero «brazo secular» de la voluntad cerebral— realice los actos que tienen una finalidad determinada.

También existen nervios mixtos, sensitivos y motores a la vez, es decir, de curso aferente y de curso eferente simultáneamente.

El cerebelo es el órgano central en el que se desarrolla la función por la cual se regula el control del tono muscular, los movimientos voluntarios, el sentido de la orientación corporal, así como el mantenimiento de la equilibración, es decir, permite el cálculo de la fuerza a imprimir a un movimiento o a un acto para lograr con éxito el fin deseado. Consolida la relación entre los diversos músculos que realizan actividades conjuntas, destinadas a la armonización de movimientos complejos, en virtud de los cuales caminaremos con seguridad sin perder el equilibrio, etc.

Recordemos nuevamente que, siendo en el cerebelo donde se realiza la organización, así como la regulación del control de los movimientos voluntarios y del tono muscular, es a tenor de las diversas y complejas conexiones de las diferentes vías nerviosas sensitivas que tiene este órgano con el resto del sistema nervioso, por las que llegan al cerebelo tanto los estímulos de la corteza cerebral, como los de la periferia. Estos últimos estímulos proceden de unas terminaciones nerviosas especializadas en recibir estímulos, llamadas receptores, situados en los músculos, en los órganos de los sentidos, así como en los diferentes órganos de las diversas regiones periféricas de nuestro organismo.

En el momento que las impresiones son percibidas por medio de los órganos de los sentidos periféricos, llegan al sistema nervioso central o neuroeje, por medio de la incidencia del estímulo oportuno, a través de las vías nerviosas sensitivas aferentes desde la periferia orgánica a la médula espinal y el cerebro. En el neuroeje las impresiones son modificadas en sensaciones que llegan a nuestra conciencia. De esta manera, instante por instante, conocemos la naturaleza de los estímulos del exterior que han impresionado nuestros órganos periféricos, permitiéndonos generar pensamientos para transformar convenientemente la actividad motora en conjunto, es decir, el tono y la contracción muscular, adaptándola a las necesidades inmediatas y siempre variables de la estática, la ecuanimidad de la equilibración y la armonización del movimiento.

Únicamente en el cerebro se percibe la localización de las sensaciones. Como queda demostrado, cuando la vía nerviosa, que garantiza la comunicación entre la región corporal periférica y el cerebro, queda incomunicada a causa de un traumatismo o una lesión de cualquier otra índole, no puede transmitir los estímulos externos, aun siendo éstos de gran intensidad. Dicha región corporal periférica queda aislada del cerebro, pudiendo recibir estímulos inadecuados que pueden poner en riesgo la integridad de nuestro organismo inconscientemente, al estar la región corporal carente de sensibilidad. Resulta, por lo tanto, evidente que por mediación del cerebro y la colaboración de los órganos periféricos de los sentidos, así como la vía nerviosa sensitiva eferente, desde los diversos entornos de la periferia orgánica hacia el cerebro, advertimos todas las sensaciones con que obtenemos la información de lo que ocurre a nuestro alrededor.

Cuando por causas patológicas o traumáticas la vía nerviosa, que pone en comunicación la región corporal periférica y el cerebro, está interrumpida en los órganos periféricos comprometidos con esta vía, se ponen de manifiesto una serie de trastornos, los cuales afectan gravemente al tono muscular. Entre éstos citaremos algunos de los más dramáticos: parestia, parálisis, hemiplejía, paraplejía, monoplejía, diplejía, cuadruplejía. Otros trastornos provocan alteraciones de la sensibilidad como: anestesia, hipostesia, hiperestesia, parestesia, etc.

Un deterioro en el cerebelo no causa parálisis ni trastornos de la sensibilidad corporal,

pero se manifiesta con alteraciones de la actividad motora, con lo que se afirma la carencia de la función reguladora y coordinadora sobre los movimientos voluntarios y, con ello, su influencia en el tono y contracción muscular. Algunos de los principales trastornos motores como consecuencia de una alteración del cerebelo son: la dismetría, la ataxia, temblores, hipotonía, trastornos de la estática, del equilibrio, de la escritura y de la palabra, nistagmus, etc.

EL DINAMÓMETRO

Es un aparato de física que se aplica en medicina para la evaluación y comprobación de la fuerza máxima en la contracción muscular. Su nombre es de procedencia griega —*dynamis* (fuerza) y *metron* (medida)— cuya vulgarización literal del término es: medidor de fuerza. Está fundamentado en la ley establecida por el físico inglés Hooke, según la cual, dentro del periodo elástico, los alargamientos son proporcionales a las tensiones que los producen.

Existe gran variedad de dinamómetros, la mayoría de ellos realiza el equilibrio de la fuerza a evaluar mediante la tensión de un resorte o muelle sometido a la fuerza de tracción. Algunos son registradores, es decir, indican el conjunto de valores que progresivamente se obtienen en un tiempo dado, o registran la magnitud de un esfuerzo variable.

La aplicación y manejo de los dinamómetros son variables, dependiendo no sólo de la ubicación del instrumento, sino también del sistema de adaptación a las manos de la persona a examinar, según se mida el esfuerzo que es capaz de realizar un grupo muscular u otro. Un ejemplo podría ser la diferencia en el procedimiento en la medición de la fuerza de tracción horizontal de los brazos y la medición de la fuerza de tracción vertical o renal.

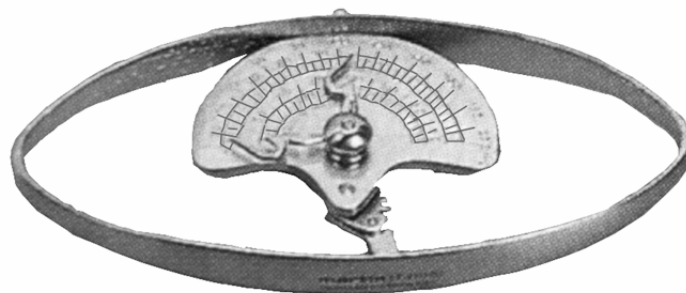


Fig. 1. Dinamómetro de Collin.

Entre los diversos modelos, los más extendidos son el dinamómetro de Mathieu y el de Collin. Su estructura está formada por un resorte elástico de acero, de forma ovalada o elíptica, que se adapta con gran precisión a la parte interior de la mano. Este dinamómetro no ofrece ninguna dificultad en su empleo, que consiste en comprimirlo con la palma de la mano, imprimiéndole el máximo esfuerzo para obtener la medición de la fuerza muscular desarrollada. Un indicador marca esta medición, desplazándose sobre una escala graduada de valores numéricos, generalmente en $kp \equiv$ kilogramo fuerza, que está grabada en uno de los laterales del instrumento.

La fuerza de la presión de la mano ejercida por los músculos flexores de los dedos en un hombre adulto, se valora alrededor de los 40-60 kp. En la mujer adulta, estos mismos valores medios son de 40-50% inferiores en relación con los del hombre.

EL MARTILLO DE REFLEJOS

Los reflejos tendinosos

En medicina se denomina reflejo, o acto nervioso reflejo, a la reacción automática, estereotipada e involuntaria con la que actúa nuestro organismo ante un estímulo impremeditado, o provocado artificialmente, en una determinada región corporal. La manifestación de esta reacción automática del estímulo aplicado en la periferia del organismo, provocará una rápida respuesta mediante una contracción muscular, o bien modificando el funcionamiento de un órgano por secreciones químico-humorales, o de otra índole o naturaleza, si se trata de un reflejo visceral.

Los estímulos cumplen su finalidad de acuerdo con la ley del todo o nada, es decir, han de superar un cierto umbral de intensidad para provocar la acción refleja, mientras que por debajo de este valor no es capaz de desencadenar esta acción. Por naturaleza, sólo un estímulo específico será el adecuado para suscitar la sentencia de una actividad fisiológica en un determinado órgano.

Para que un reflejo se produzca, es necesario que la trayectoria seguida por el impulso nervioso tenga una continuidad entre el nervio aferente y el nervio eferente, trayectoria ésta llamada arco diastáltico o reflejo. Se podría decir, con una expresión muy sencilla, que en el arco reflejo intervienen los siguientes elementos:

- Un órgano llamado receptor, por el que se recibe el estímulo.
- Un nervio aferente, que conduce el estímulo al centro, es decir, a la médula espinal.
- Una neurona, que al recibir el estímulo prepara la respuesta, es decir, el reflejo.
- Un nervio eferente, que conduce al órgano la orden, provocando el reflejo que se ha elaborado en el centro o médula espinal.
- Un órgano llamado efector, que ejecuta la acción mecánica del reflejo.

De este recuerdo anatomofisiológico se puede deducir que un reflejo puede ser modificado cuando hay lesiones en las diversas partes que integran el arco diastáltico, o bien, en el órgano eferente. Son múltiples los reflejos con los que el organismo se desenvuelve, vale para este recuerdo clasificarlos en dos grupos: los fisiológicos y los patológicos, siendo estos últimos los que no se presentan o al presentarse lo hacen de forma anormal. Los reflejos fisiológicos pertenecen a la vida de relación con el ambiente en que vivimos, actúan disponiendo la defensa rápida contra los peligros y riesgos provenientes del exterior. Dentro de éstos vamos a comentar los llamados reflejos tendinosos.

La médula espinal es receptora de gran cantidad de estímulos procedentes de la periferia del cuerpo, así como de los centros superiores. Algunos de estos estímulos tienen una acción de excitación, mientras que otros son inhibidores de esta acción. La normalidad de los reflejos tendinosos y del tono en los músculos, es dada por la ecuanimidad en el equilibrio de estos estímulos opuestos entre sí. De acuerdo con los principios anteriores, el organismo, en estado normal, mantiene perfectamente regulado el tono, así como los reflejos.

Una lesión en la vía corticoespinal o piramidal interrumpe el equilibrio antagónico entre los estímulos excitantes y los estímulos inhibidores procedentes de la corteza cerebral, que llegan a la médula espinal a través de la vía piramidal.

Cuando la lesión impide este fluido inhibitor, prevaleciendo los estímulos excitadores, la médula espinal se exalta en su actividad, favoreciendo un aumento del tono muscular, así como los reflejos tendinosos.

Por lo tanto, la supresión de los reflejos superficiales, persistiendo los reflejos tendinosos en un mismo territorio, es sintomático de una lesión en la vía corticoespinal. Esto es demostrativo de la trascendencia que tiene la exploración de los reflejos para el diagnóstico de las diversas patologías de origen muscular o nervioso.

EL MARTILLO DE REFLEJOS

El martillo de reflejos, llamado también martillo percutor, es un instrumento semejante, como su nombre indica, a un pequeño martillo metálico. El extremo superior de su empuñadura, es decir, la cabeza o parte que golpea, tiene forma de tronco de cono, reducido su grueso o espesor por un aplastamiento. Esta cabeza está forrada de un material blando y flexible, generalmente, de caucho.

Algunos de estos martillos de reflejos, en el interior de su empuñadura, justamente donde la cabeza está alojada, disponen de una barrita metálica alargada de forma cónica acabada en punta, a modo de alfiler o aguja, engastada mediante enroscamiento. También en la parte interior de dicha empuñadura y, concretamente, en su extremo inferior, hay un pequeño pincel engastado de la misma manera que el alfiler, cuyo haz de pelos es de cerda fina.



Fig. 1. 1) Martillo de reflejos según Berliner. 2) Martillo de reflejos según Taylor.

El alfiler es utilizado por el clínico, al realizar un examen de la sensibilidad al dolor, por las distintas regiones corporales que interesen, provocando un dolor superficial mediante una excitación cutánea, al pinchar discretamente la zona a examinar. El pincel se emplea en la comprobación de la sensibilidad superficial o cutánea, en las zonas orgánicas que interesa examinar, realizando un barrido por rozamiento en estas zonas.

Existen diversas técnicas a emplear para comprobar la sensibilidad de nuestro organismo. Se han descrito estas dos, por ser, entre otras, las más habituales.

La técnica en la exploración de los reflejos tendinosos consiste en golpear, con el susodicho martillo de reflejos, un tendón determinado con la fuerza adecuada capaz de estimular un impulso que, como respuesta inmediata tras la percusión, provoque la contracción del músculo correspondiente.

Concluyendo este apartado, conviene hacer una recapitulación de los reflejos tendinosos, la zona anatómica para su excitación, la consecuencia postexcitación y el influjo que tienen en el arco diastáltico, mediante la siguiente tabla sinóptica.

Reflejos tendinosos

REFLEJO	EXCITACIÓN	RESPUESTA	ARCO
Maxilar.	Percusión de la mandíbula inferior, con la boca entreabierta.	Elevación de la mandíbula, cerrando la boca.	Protuberancia (parte ventral del metencéfalo).
Bicipital o del bíceps.	Percusión del tendón del bíceps.	Contracción del bíceps braquial y, consecuentemente, flexión del antebrazo.	C5 y C6
Estiloradial o supinador.	Percusión de la apófisis estiloides del radio.	Contracción del supinador largo, derivando en la flexión del codo y pronación del antebrazo.	C5 y C6
Escapulohumeral.	Percusión del borde vertebral del omóplato cerca de la espina.	Contracción del deltoides y del redondo menor.	C5 y C6
Pronador o cubital.	Percusión de la superficie anterointerna de la extremidad inferior del radio.	Contracción de los pronadores.	C6
Muñeca.	Percusión de la parte superior del radio, en la muñeca.	Extensión de la muñeca y de los dedos.	C6 y C8
Tricipital o del tríceps.	Percusión del tendón del tríceps en el codo, manteniendo el antebrazo pendiente en ángulo recto con el brazo.	Contracción del tríceps, dando la extensión del antebrazo.	C6 a C8 y D1
Carpometacarpiano.	Percusión de los huesos de la muñeca.	Flexión de los dedos.	C8 y D1
Costoabdominal.	Percusión del borde costal sobre la línea mamilar.	Desviación del ombligo del mismo lado.	D8 y D9
Pubiano.	Percusión de la sínfisis del pubis.	Contracción de los músculos del abdomen y de los aductores del muslo.	D8 a D12
Rotuliano o patelar.	Percusión del tendón rotuliano.	Contracción del cuádriceps femoral, si la pierna está flexionada en ángulo recto se produce un movimiento de extensión.	L2 a L4
Poplíteo.	Percusión de los tendones de la corva en la región poplíteo.	Contracción del bíceps simimembrano.	L5 y S1
Aquíleo o aquiliano.	Percusión del tendón de Aquiles.	Contracción de los músculos de la pantorrilla con flexión plantar del pie.	S1 y S2

EL TALLÍMETRO

Este instrumento sirve para medir la estatura o longitud del cuerpo humano desde la planta de los pies al vértice de la cabeza.

Hay varios modelos de tallímetros, algunos están incorporados a una balanza o báscula, siendo los más prácticos aquéllos que se utilizan solamente para medir la estatura de personas adultas. Estos modelos se colocan mediante un sistema de fijación a una pared que haga ángulo recto con el suelo y a una determinada altura, que indicará el fabricante.

Este instrumento consta de una cinta métrica, la cual se encuentra enrollada dentro de un receptáculo de materia y forma variable, generalmente metacrilato. Un mecanismo permite la extensión y la posterior retracción de la cinta. Esta cinta, por lo general, está graduada en centímetros, y en su extremo exterior dispone de una pieza que no sólo hace de tope para detener su movimiento retráctil, sino que también sirve para colocarla en el vértice de la cabeza del individuo al que se le está verificando su estatura, estando éste en posición bípeda, con la espalda apoyada en la pared.

La lectura de la medida se toma de un visor que incorpora el receptáculo de la cinta, expresada en centímetros.



Fig. 1. Tallímetro.

El **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, por el que se aprueba el Reglamento General de Conductores, en su ANEXO IV, que indica las aptitudes psicofísicas requeridas para obtener o prorrogar el permiso o licencia de conducción, indica en su punto 3. SISTEMA LOCOMOTOR, apartado 3.3, Talla, que para el grupo 1.º la talla no debe ser inferior a 1,50 metros.

Para el grupo 1.º: las adaptaciones, restricciones y otras limitaciones en personas, vehículos o de circulación en permiso o licencia sujetos a condiciones restrictivas, permite para las tallas inferiores, enanismos y acondroplasias que las adaptaciones, restricciones o limitaciones a imponer sean fijadas según criterio técnico y de acuerdo con el dictamen médico, con la debida

evaluación, en su caso, en las correspondientes pruebas técnicas. Para el grupo 2.º: no se admiten.