

# Física Médica

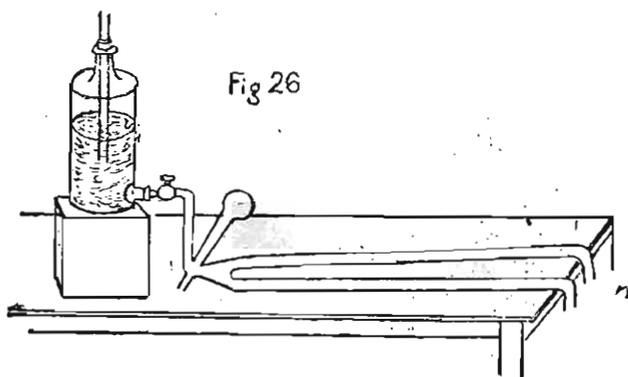
POR EL DOCTOR

JUAN VOTO BERNALES

## CIRCULACION DE LOS VASOS

*Elasticidad de los vasos.*—La elasticidad de las paredes vasculares es considerable por que ellas pueden experimentar deformaciones temporales muy importantes. Así, el tejido arterial experimenta, a igualdad de sección y para el mismo peso tensor, un alargamiento 17 veces mayor que el tejido venoso o los músculos y 1,000 veces mayor que los tendones.

Gracias a esta elasticidad de los vasos el deslizamiento de la sangre, lanzada por el ventrículo en cada sístole, se hace de una manera continua y no de una manera entrecortada. La siguiente experiencia de MAREY nos da una demostración al respecto.



Un frasco dispuesto para dar un deslizamiento, bajo la presión constante, (vaso de MARIOTTE) comunica, por su tubuladura inferior, con

un tubo flexible que presenta una bifurcación. Una de las ramas se prolonga por un tubo de caucho, de paredes muy elásticas y muy delgadas, mientras que la otra rama lo hace por un tubo rígido, de vidrio, p. ej. El tubo de vidrio y el de caucho tienen el mismo diámetro interior y la misma longitud.

Si, con ayuda de una palanca que se puede levantar o bajar a la mano, se comprime el tubo elástico cerca de su bifurcación, de manera de provocar interrupciones frecuentes en el deslizamiento del líquido, se observan los hechos siguientes: 1.º—el orificio del tubo rígido emite un deslizamiento intermitente; 2.º—el orificio del tubo elástico da un deslizamiento continuo; y 3.º—el deslizamiento por el tubo elástico es mas abundante que por el tubo rígido.

Esta experiencia muestra, claramente, las ventajas que resultan de la elasticidad de las arterias. El deslizamiento de la sangre, a consecuencia de los impulsos intermitentes producidos por el corazón, se hace uniforme y por esta misma causa se encuentra favorecida. El corazón, por consiguiente, experimenta menos resistencia al vaciarse en las arterias que tienen toda su elasticidad, que en las arterias cuya elasticidad está disminuída. Se explica, así, la hipertrofia constante del ventrículo izquierdo en los arterio-esclerosos; la hipertrofia es la consecuencia del trabajo exagerado que ha debido suministrar el miocardio para asegurar la circulación en los vasos poco elásticos.

Una experiencia análoga permite poner en evidencia otro fenómeno circulatorio de los más importantes: la producción de la onda pulsátil en los vasos. Remplacemos el frasco por una pera de caucho provista de válvulas que permiten enviar, de una manera intermitente, agua bajo presión en los tubos de vidrio y caucho. Se constata, además, de los hechos precedentemente enumerados, una elevación intermitente de las paredes del tubo de caucho. La elevación se propaga de la bifurcación hacia el orificio de deslizamiento, a la manera de la onda que se propaga, en la superficie del agua tranquila, después de la caída de una piedra.

## **PRESION DE LA SANGRE EN LOS VASOS**

Después de la sección de una arteria la sangre salta con fuerza, esto prueba que la sangre está encerrada bajo presión en las arterias.

La presión debida a la contracción ventricular por que la onda sanguínea, que es proyectada en la aorta a cada sístole, ejerce una cierta presión sobre la columna líquida que llena ya los vasos. Bajo la influencia de la presión de la sangre, las paredes arteriales son distendidas y, en virtud de su elasticidad, estas paredes tienden a volver sobre sí mismas

desarrollando una fuerza de reacción o una tensión igual a la presión sanguínea.

Experiencias esquemáticas, hechas sobre el deslizamiento en los tubos, demuestran que la presión va disminuyendo del corazón a los capilares. El descenso de la presión es más rápida si el tubo de deslizamiento presenta una porción estrecha.

Por el contrario, cuando el tubo presenta un ensanchamiento se produce un aumento de presión. Esto sucede cuando una pared de un vaso, por una causa cualquiera, ha comenzado a ceder y a dilatarse, entonces la presión aumenta bien pronto y tiende a hacer progresar el saco aneurismático.

La presión de la sangre puede ser determinada, directamente sobre los animales, uniendo la extremidad central de una arteria seccionada a un manómetro; el espacio intermedio entre la sangre de la arteria y el mercurio del manómetro se llena de una solución alcalina que retarda la coagulación.—En el hombre se emplean los métodos indirectos que permiten evaluar la presión sanguínea a través de la pared arterial y los tejidos interpuestos.

## ESFIMOMANOMETRIA

El método que permite medir la presión de la sangre que circula en las arterias constituye, hoy día en esta práctica, uno de los medios de exploración más fecundos de la patología cardiovascular.

Qué es lo que pasa, en efecto, en el interior de una arteria durante una revolución cardíaca? Al principio de la sístole ventricular, la sangre proyectada en masa, en la luz del vaso, distiende las paredes al *máximum* y lleva la presión arterial a un alto grado. Este estado se mantiene casi tanto tiempo cuanto dura la sístole ventricular, pues si la arteria se vacía, por su extremidad periférica, recibe nuevas remesas de sangre por su extremidad central. Pero, en seguida, al cesar la actividad ventricular, la arteria no experimenta más la acción sino de una fuerza, es decir, de la elasticidad de sus paredes que tiende a hacer deslizar su contenido en las arteriolas y los capilares situados por delante; de manera que, su presión interior disminuye más y más hasta que una nueva contracción cardíaca llena el sistema aórtico y lo lleva a su *máximum*.

La presión que reina en una arteria varía, pues, perpétuamente, con más exactitud; pasa sin cesar por una serie de va.

lores, en número limitado, de los que cada uno reaparece en cada revolución cardíaca.

Querer expresar cuál es el nivel de la presión arterial por una cifra única, decir, por ej., sin otra explicación, que esta presión arterial mide 16 unidades constituye, por consiguiente, una práctica inexacta e injustificada. Para apreciar, exactamente, el régimen de tensión al cual está sometida una arteria es necesario poder medir y apreciar las diversas presiones que se suceden, una a una, en su interior durante el tiempo que dura una revolución cardíaca. Nosotros no estamos, desgraciadamente, en actitud de evaluar toda esta gama de tensión. Pero, si, podemos determinar las dos más importantes, es decir, la mas alta (presión *máxima*) y la mas baja (presión *mínima*) de estas tensiones.

Midiendo ambas se puede uno dar cuenta, con aproximación suficiente, de la carga que tienen que soportar las paredes arteriales.

El médico debe, pues, estudiar, comparativamente, no una sino las dos presiones arteriales, la máxima y la mínima.

Los antiguos médicos habían procurado evaluar la tensión de las paredes arteriales por diversos procedimientos: palpación del pulso, palpación del choque de la punta, auscultación del corazón. Todos son extremadamente ineficaces y conducen a errores frecuentes aún siendo empleados por personas experimentadas, por lo que es necesario abandonarlos. El sólo método que puede permitir medir, correctamente, las dos tensiones arteriales en todos los sujetos es aquel que consiste en estimarlas por medio de aparatos especiales, cuya introducción en clínica remonta a la segunda mitad del siglo último y que se conoce con el nombre de *esfimomanómetros*.

### ALGUNAS REGLAS GENERALES RELATIVAS A LA ESFIMOMANOMETRIA

Como veremos, los modelos son numerosos, tanto en su disposición mecánica como en su modo de explicación. Sin embargo, vamos a dar ciertas reglas generales relativas a su empleo.

1º—*La presión arterial debe siempre ser tomada en la misma actitud.* En el mismo individuo puede, en efecto, variar, sensiblemente, según que esté colocado en la actitud acostada o de pie. La actitud mas conveniente es el cúbito dorsal. Es de regla, salvo razones especiales, practicar todas las me-

diciones en esta posición, teniendo cuidado que el segmento arterial examinado esté colocado sobre el mismo plano que el corazón.

2.º—*Cuando se quiere, por mediciones sucesivas, seguir las variaciones de la tensión arterial en un sujeto, es bueno hacerlo siempre en el mismo punto del sistema arterial.*

La presión vascular no es idéntica en el miembro superior y en el miembro inferior; y aún es posible que tal tensión no tenga un valor semejante en dos zonas homólogas del sistema arterial, en el segmento de las arterias radiales situadas en los dos puños, p. ej.

3.º—*En razón de estas diferencias es, por el contrario, útil, a menudo, examinar al esfimomanómetro muchas regiones del sistema arterial.* Si se contase con explorar a este respecto un sólo segmento arterial y si este segmento estuviese sometido, en ese momento, a un régimen de excepción, se cometería un error aplicando a las otras arterias las cifras de la tensión encontrada a su nivel.

Estas comparaciones tienen, todavía, otras ventajas. Cuando ellas revelan diferencias de presión considerables constituyen un buen signo de ciertas lesiones bien determinadas, a cuyo diagnóstico contribuyen.

4.º—*La emoción es capaz de elevar muy senciblemente las dos tensiones máxima y mínima.*—Cuando un médico examina, sobre todo por primera vez, sujetos nerviosos encuentra cifras de presión un poco elevadas deberá repetir su examen después de algunos minutos. Estas últimas cifras, generalmente mas bajas, deberán ser tenidas por exactas.

5.º—*Un examen esfimomanométrico debe ser rápido.*—De lo contrario, puede producir reacciones vasomotrices locales que modifican el nivel real de las tensiones.

6.º—*Las presiones arteriales deben ser tomadas fuera del período digestivo.*—La digestión y la elaboración de los alimentos por el tubo digestivo modifican, en efecto, las presiones arteriales.

Un esfimomanómetro es un aparato que permite medir, en cifras, las dos presiones extremas que existen en las arterias superficiales de mediano calibre. Se compone, invariablemente, de dos partes solidarias; un compresor, que se aplica sobre una arteria y un indicador de presión.

Hay varios modelos; vamos a describir los principales:

### 1.º—ESFIMOMANÓMETRO DE POTAIN (Descripción.)

- 2.º—Esfimomanómetro de RIVA-ROCCI.  
3.º—Oscilómetro esfimométrico de PACHÓN.  
4.º—Tensiómetro de VAQUEZ.

## ONDAS PULSATILES

Cada contracción del ventrículo izquierdo lanza, en la aorta, una cierta cantidad de sangre y provoca, así, la formación de una *onda pulsátil, de pulso* que se propaga en todas las arterias. Nosotros hemos visto, en efecto, que la proyección brusca de una cierta cantidad de agua en un tubo elástico, lleno de líquido, produce una elevación de sus paredes que se propaga bajo la forma de onda a todo lo largo del tubo elástico. Para percibir bien, en su pasaje, la onda pulsátil es necesario comprimir, ligeramente, con el dedo, una arteria superficial sobre un plano resistente, sobre una parte ósea, por ejemplo. La elevación de la pared arterial, que no puede tener lugar del lado del plano resistente, es, entonces, percibida más fácilmente por el dedo.

La onda pulsátil se percibe hasta en los capilares. Además, en la vena yugular, que comunica directamente con la aurícula derecha, se constata una onda pulsátil a cada contracción de la aurícula: es el pulso venoso.

1.º—*Pulso arterial*.—Para el estudio del pulso arterial se han inventado unos aparatos llamados Esfimógrafos.—(Su descripción).

*Trazados esfimográficos*.—Los trazos esfimográficos, llamados, también, esfimogramas, presentan una línea de ascenso brusco, a. b., (Fig. 27) seguido de un descenso menos rápido y sobre la cual se observan muchas ondulaciones, de las que la más acentuada es la ondulación dicrota d.



La ondulación dicrota o el dicrotismo del pulso se explica, en general, de la manera siguiente: cuando la onda sanguínea, lanzada por el ventrículo izquierdo, ha dilatado la aorta, la sangre (a consecuencia de la elasticidad de las paredes arteriales) tiende a volver hacia el corazón; se produce,

así, una onda secundaria que va a repercutir sobre las válvulas sigmoideas, cerradas en ese momento. El dirotismo sería debido, por consiguiente, al pasaje de la onda secundaria que ha repercutido sobre las válvulas sigmoideas y que sigue la onda pulsátil cuya llegada, bajo el esfmógrafo, ha determinado la línea de ascenso a. b.

*Velocidad de propagación de la onda pulsátil.*—Se evalúa en 8 a 9 metros, por segundo, la velocidad de propagación de la onda pulsátil en las gruesas arterias. Es de notar que la velocidad de la sangre evaluada, como lo hemos dicho, en 0. m. 30 solamente, por segundo, en las gruesas arterias es mucho menor que la velocidad de la onda. En razón del tiempo que emplea la onda pulsátil en propagarse, el pulso presenta, sobre la sístole ventricular, un retardo, tanto mayor, a medida que la arteria explorada está mas alejada del corazón. Así, por ejemplo, la pulsación humeral retarda cerca de seis a cinco centésimos de segundo sobre el pulso carotídeo.

Es de notar, además, que la partida de la onda pulsátil no tiene lugar al principio de la sístole ventricular. La onda no comienza a producirse sino cuando las sigmoideas se abren, es decir, 0. 1. después del principio de la sístole, o después de la percepción del primer ruido. El retardo del pulso sobre el principio de la sístole (primer ruido del corazón) es debido a dos causas: 1ª la duración de la compresión hasta el momento de la apertura de las sigmoideas; 2ª el tiempo necesario a la propagación de la onda desde el corazón hasta el punto explorado.

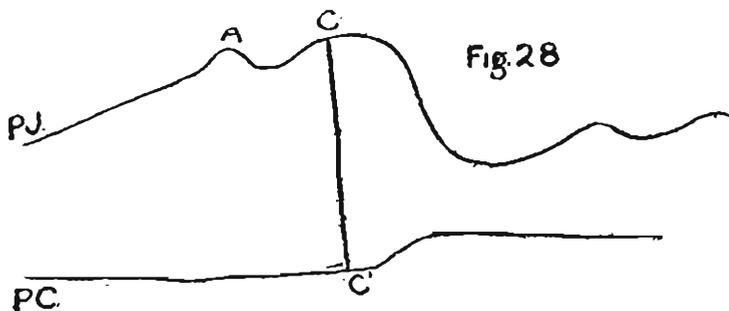
*Pulso de los capilares.*—El pasaje de la onda pulsátil produce variaciones periódicas del volúmen de los capilares y, por consiguiente, del volúmen de los órganos.

Se estudia estas variaciones de volúmen por medio del Pletysmógrafo.

El órgano considerado es colocado en un recipiente, rígido, de vidrio, lleno de agua; en un punto del recipiente se encuentra un tubo abierto que comunica con un tambor de MAREY. El aire situado por encima de la superficie del agua transmite al estilógrafo las oscilaciones del agua y, por lo tanto, las dilataciones periódicas del órgano.

*Pulso venoso. Flebograma.*—Cada contracción de la aurícula derecha produce una onda pulsátil que se propaga en las venas y da así el *pulso venoso*, cuyo estudio es muy importante en ciertas afecciones cardíacas.

Los caracteres del pulso venoso fisiológico, han sido re-



registra-  
dos, al-  
gunas  
veces,  
por me-  
dio de  
un esfi-  
mógra-  
fo de  
transmi-

sión. Se obtiene así una curva P. J. (Fig. 28) sobre la cual se distingue una ondulación correspondiente a la sístole auricular, y una segunda ondulación mas elevada C., correspondiente al principio de la sístole ventricular.

### VISCOSIMETRIA

La Viscosimetría es un método que permite medir la viscosidad de la sangre que circula en los vasos. Su interés es evidente, porque la manera como se verifica la circulación depende de tres factores esenciales: la fuerza propulsiva del corazón, el estado de las paredes vasculares y la viscosidad de la sangre. Claro es, que a medida que la sangre sea mas viscosa, mas se adherirá a las paredes de los tubos en los cuales está contenida y mayor resistencia opondrá a las fuerzas que actúen para desplegarla.

Pero si es desde hace algunos años que en medicina se ha recomendado la importancia de apreciar la viscosidad sanguínea, es solamente en estos últimos tiempos que ha sido introducido en la clínica por WALTER HESS, el primer aparato que ha permitido medir esta cualidad de la sangre. MARTINET ha sido el autor que ha efectuado, en Francia, con este instrumento las primeras investigaciones, y su espíritu original le ha aportado su nota personal: el ha principalmente concebido y aplicado a la práctica la noción que puede ser en extremo instructiva de aproximar y de comparar los datos suministrados por la viscosimetría de una parte y por la esfimomanometría de la otra, en el mismo sujeto.

Estos primeros datos relativos al empleo en medicina de la viscosimetría y de la esfimoviscosimetría no son sino de ayer. Ellos están todavía en estudio y es imposible hoy apreciar su valor exacto. Sin embargo, ellos deben ser conocidos

por todos, pues ellos inauguran un método de exploración nuevo, ligado al conocimiento de un factor de la circulación hasta aquí inaccesible a la investigación médica y de interés indiscutible.

Descripción del viscosímetro de HESS.

*Cifras obtenidas.*—De un gran número de medidas practicadas con el viscosímetro de HESS se puede concluir que al estado normal la viscosidad de la sangre oscila entre 2. 8 y 4. 5. Al estado patológico, sus variaciones son considerables: las cifras extremas encontradas por MARTINET han sido 1. 9 y 7. 8.

Las causas de la viscosidad sanguínea son todavía insuficientemente precisadas. Ella parece estar principalmente en relación con el número de los glóbulos, con la cantidad de hemoglobina y de gaz carbónico de la sangre, pero sin que sus relaciones con estos diversos factores puedan expresarse por leyes de proporcionalidad bien definidas.

*Resultados prácticos obtenidos por el estudio comparado de la viscosidad sanguínea y de las tensiones arteriales.*

En vista de los resultados poco precisos del estudio de la viscosidad sanguínea, MARTINET ha procurado poder obtener un mayor beneficio de la investigación de la viscosidad sanguínea hecha, no aisladamente, sino por comparación a la tensión sanguínea máxima. Este estudio simultáneo lo ha conducido a una serie de conclusiones teóricas y prácticas, que son indudablemente mas interesantes que las suministradas por la determinación sola de la viscosidad sanguínea. Para MARTINET, la coexistencia de un cierto estado, de la viscosidad sanguínea y de la tensión máxima, es característica de ciertos estados de funcionamiento cardio vascular, y muy característico de ellos para poder contribuir utilmente a su diagnóstico, como tambien al establecimiento de un tratamiento apropiado.

A este respecto, MARTINET divide los sujetos en tres grupos:

A.) *Los Eusystolicos*, en los que la tensión máxima y la viscosidad sanguínea son sensiblemente proporcionales.

B.) *Los Hipersystolicos*, en los que la tensión máxima está elevada, la viscosidad es baja, sea absolutamente, sea relativamente.

C.) *Los Hiposistólicos*, de tensión máxima debil en relación a la viscosidad.

## ESTUDIO FISICO DE LA RESPIRACION

La vida está caracterizada por un continuo cambio. Los seres vivos toman del medio ambiente los materiales necesarios para su sostenimiento y arrojan sus deshechos; todo acto vital, pues, se reduce a la transformación de esta materia ingerida, en sustancias aptas para la vida; hecho que se realiza, principalmente, por fenómenos de oxidaciones y desoxidaciones; el oxígeno necesario es tomado del exterior y retenido. Este fenómeno de retener el oxígeno, llevarlo al interior de los tejidos, oxidando los materiales ingeridos y exhalando el anhídrido carbónico, es decir, el material de deshecho, constituye una función especial: la Respiración.

Todos los seres vivos respiran, es decir, consumen el oxígeno y exhalan el *anhídrido* carbónico; pero, no todos respiran de la misma manera.

Parece que, con la evolución del ser hay una adaptación de sus órganos a las funciones que van a realizar dentro del medio de vida que les es propio; vemos, así, que los organismos inferiores, las amebas, por ejemplo, toman directamente el oxígeno del medio ambiente incorporándolo a sus tejidos; y si comparamos, ahora, esta respiración embrionaria, por decirlo así, con la respiración perfecta del hombre adulto, con órganos propios, especie de bombas o de fuelles con sus tubos y sus ampulosidades membranosas, sometidas a leyes físicas de precisión invariables, notaremos esa enorme diferencia que hay entre esos dos hechos.

Existen, pues, entre el órgano del hombre, ser llegado a la última evolución, y la ameba animal, inferior, todos los grados de la escala zoológica y, con ellos, una serie de aparatos que siguen su orden evolutivo: branquias, en el caso de los animales acuáticos, tráqueas y pulmones rudimentarios en el caso de los animales aéreos; y respiración bronquial en la que los cambios se hacen por medio de expansiones vasculares que flotan en el agua, como en los peces; respiración traqueal en la cual el aire se distribuye por todo el cuerpo del animal en tubos ramificados o tráqueas, como en el caso de los insectos.

Llegamos, así, a los mamíferos superiores, animales de respiración mas activa, cuyo pulmón mas complicado está constituido por una infinidad de pequeños sacos o vesículas pulmonares. Su cavidad interna está tapizada por un epitelio,

plano y delgado, debajo del cual se encuentra una rica red de capilares sanguíneos.

La sangre que pasa por estos capilares se pone en contacto con el aire exterior, a través de esta capa epitelial, y es aquí en donde, por medio de la *hematosis*, se fija el oxígeno y se expelle el anhídrido carbónico.

Esta es, pues, la respiración en el hombre y es la que vamos a estudiar.

Tres órdenes de fenómenos pueden ser estudiados físicamente: los fenómenos mecánicos, los cambios gaseosos respiratorios y los ruidos de la respiración.

## FENOMENOS MECANICOS DE LA RESPIRACION

El mecanismo de la respiración consiste, esencialmente, en movimientos que provocan, alternativamente, el aumento y la disminución del volumen de la cavidad torácica.

Los pulmones, en virtud de la elasticidad de su tejido, se adaptan perfectamente a todos los cambios de volumen de la cavidad que les contiene; de tal manera que, la hoja visceral de la pleura está siempre en contacto con la hoja parietal que tapiza interiormente las paredes de la caja torácica.

A cada aumento, de volumen o ampliación, de la caja torácica y de los pulmones, la presión atmosférica hace penetrar el aire en los bronquios (inspiración); a cada disminución del volumen de la cavidad torácica el pulmón se retrae y arroja una cierta cantidad de aire (expiración). Pero, cuando por una causa cualquiera (herida del pecho, neumotórax natural o artificial) las dos hojas de la pleura no se adhieren más y están separadas en una región, por una cierta cantidad de aire o de otro gas, el pulmón en esta región, no sigue los movimientos del tórax y la respiración es abolida.

Los movimientos de los pulmones siendo así enteramente pasivos y acompañando siempre los movimientos de las paredes torácicas, es suficiente de estudiar los movimientos de estas paredes.

Consideraremos, por lo tanto, el mecanismo de los movimientos torácicos y, después, los métodos que permiten estudiar y registrar estos movimientos.

*Movimientos respiratorios.* Hay que distinguir los movimientos de inspiración y de expiración, en la respiración habitual y en la respiración forzada.

*Inspiración.* En la respiración tranquila los movimientos, de inspiración o de ampliación torácica, son debidos a la contracción del diafragma y de los músculos inspiradores.

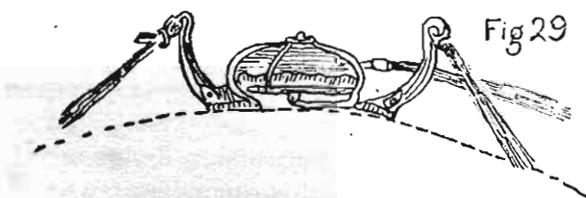
El diafragma cuando se contrae disminuye su curvatura y baja; comprime la masa abdominal y aumenta el diámetro vertical del tórax. La contracción de los músculos inspiradores, de los intercostales externos, principalmente, levanta las costillas y aumenta, así, los diámetros transversos del tórax. Es fácil ver, en efecto, que cuando las costillas pasan de su posición de reposo a la posición horizontal de inspiración las fibras de los músculos intercostales externos se acortan para cambiar de dirección.

*Expiración.*—La expiración se hace de una manera tranquila. Las costillas no siendo levantadas por los músculos inspiradores bajan, el diafragma, al relajarse, obedece al empuje de los órganos abdominales.

### APARATOS Y METODOS QUE PERMITEN ESTUDIAR LOS MOVIMIENTOS RESPIRATORIOS.

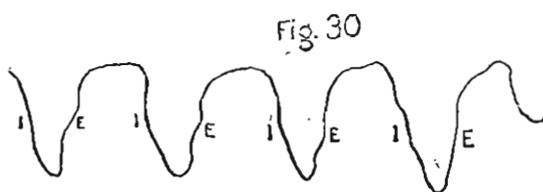
El neumógrafo de MAREY se emplea para registrar la ampliación de la caja torácica; el exámen a los rayos X permite estudiar los movimientos del diafragma y de las costillas; los espirómetros miden la intensidad de la ventilación producida por los movimientos respiratorios.

*Neumógrafo.*—La sola inspección de la Figura 29 hace comprender el funcionamiento de este aparato que se fija sobre el tórax, por medio de lazos representados a derecha e izquierda.



Cuando el tórax se dilata, la tracción sobre los lazos es mayor y el sistema de palancas, situadas a la derecha de la figura, 29 comprime fácilmente la membrana del tambor.

El trazado respiratorio obtenido con el neumógrafo de MAREY (Fig. 30) permite apreciar lo siguiente: una línea de



inspiración que, como se ve, es casi verticalmente descendente, recta y sin accidente. La interpretación de esta línea es esta:

el movimiento inspiratorio es rápido y de una velocidad sensiblemente uniforme, durante toda su duración.

La línea de expiración sucede inmediatamente a la línea de inspiración, sin tiempo de reposo; no hay, pues, pausa respiratoria y, una vez que ha terminado el movimiento de dilatación del tórax, los músculos inspiradores se relajan bruscamente.

La línea de expiración es, sobre todo, más larga que la línea de inspiración; además, presentan dos partes bien marcadas: la primera es casi verticalmente ascendente y la segunda, vecina del vértice de la curva, sube muy oblicuamente, relacionándose con la horizontal, hasta el punto donde se continúa con la línea de inspiración. Se interpreta esta línea diciendo que, el movimiento del tórax en la expiración es, al principio, brusco, rápido y, después, se debilita considerablemente hasta hacerse casi insensible al fin de la expiración.

Esto se parece a los datos sacados de la observación directa del tórax, en que el fin de la expiración está marcada por una pausa en el movimiento de las paredes torácicas.

Si se observan más detenidamente el trazado neumográfico se ve que, en realidad no existe un tiempo verdaderamente de reposo, entre una y otra faz de la respiración, que debería ser representado por una línea perfectamente horizontal, lo que no sucede, puesto que la línea de la expiración se acerca a la horizontal, y nunca llega a coincidir con ella; sigue siendo ascendente, siempre, hasta unirse con la línea inspiratoria. No hay, pues, pausa respiratoria y los movimientos respiratorios se suceden rítmicamente, sin tiempo de reposo.

El número de los movimientos respiratorios es de 16 a 24 por minuto en el adulto.

Su frecuencia aumenta con el ejercicio muscular y baja durante el sueño. En el niño es mucho más rápido y el recién nacido respira de 44 a 70 veces por minuto.

El tipo respiratorio varía, además, según la edad y el se-

10. Si se aplican tres neumógrafos en tres puntos diferentes del tronco; el primero en la parte superior, el segundo en la parte media y el tercero cerca de la región umbilical. Se puede observar que, la amplitud dada por estos tres aparatos es diferente para un mismo individuo y diferente, también, en la mujer. En el hombre adulto, la amplitud mayor está dada por el neumógrafo situado en la base del tórax, es decir, el intermedio; en la mujer, esta dada por el superior; en fin, en el niño, es el inferior, el del abdomen, el que inscribe las curvas más amplias.

Se distinguen, pues, tres tipos respiratorios: el tipo costal superior, que es el de la mujer; el tipo costal inferior, que es el del hombre adulto y el tipo addominal, que es el del niño.

*Exámen a los rayos X.*—Los movimientos respiratorios pueden ser, también, estudiados por medio de los rayos X.

La radioscopía, completada por la radiografía, permite, en efecto, no solamente seguir durante la inspiración y la expiración los movimientos de las costillas y del diafragma sino, además, registrar el aspecto de esos órganos en un momento cualquiera.

*Radioscopia.*—El exámen radioscópico es el más interesante porque permite seguir y analizar todos los movimientos de los órganos torácicos; es, pues, el procedimiento de elección para el estudio de los fenómenos respiratorios.

Se ve, en efecto, sobre la pantalla fluorescente, un cuadro de conjunto en donde todo es móvil y en donde todos los detalles merecen llamar la atención. Las costillas se desplazan constantemente; el ángulo que forman con la columna vertebral se agranda durante la inspiración; se le ve elevarse y separarse tanto más, las unas de las otras, a medida que son más inferiores. Al mismo tiempo, se perciben las amplias excursiones de la cúpula diafragmática que, en las expiraciones, asciende hasta la sexta costilla, y, en la inspiración baja hasta la octava o novena, dando la impresión del juego de una poderosa bomba aspirante, impelente, adaptada a la base del torax.

Además, se ve la sombra pulmonar disminuir de opacidad o borrarse, completamente, durante la inspiración, como consecuencia de la entrada del aire; las deformaciones y los desplazamientos impuestos al corazón por las inspiraciones y las expiraciones forzadas son muy aparentes.

*Radiografía.*—La radiografía permite fijar sobre una pla-

ca fotografía los aspectos más característicos observados sobre la pantalla fluorescente.

*Espirometría.*—Para evaluar el volumen de gas expirado, después de una inspiración forzada, se puede hacer uso del espirómetro de HURCHINSON, que está constituido por una campana invertida sobre el agua y en la cual el aire expirado puede penetrar por un tubo E (fig. 31) que atraviesa la masa de agua.

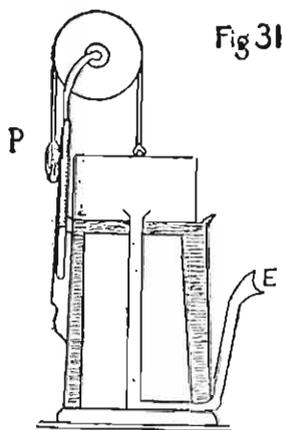


Fig 31

Este aparato está construido como un gasómetro; la campana está exactamente equilibrada por medio de un contrapeso P. y un índice I. indica, para cada posición, el volumen de gas contenido en la campana. Se debe recubrir la superficie del agua de una ligera capa de aceite para evitar la disolución de los gases y la evaporación del agua.

Este aparato que retiene los gases expirados permite, así, no solamente el medirlos sino, ade-

más, analizarlos.

No sucede lo mismo con los espirómetros ordinarios, constituidos por simples medidores de gas, a través de los cuales pasa el aire inspirado o expirado; se puede, por medio de estos aparatos, determinar, solamente y de una manera aproximada, el volumen de aire que los ha atravesado.

Vamos a ver, ahora, cual es la cantidad de aire que entra y cual es la que sale durante el acto respiratorio, lo que podemos llamar la renovación de aire o ventilación pulmonar.

La ventilación pulmonar ha tomado un gran interés ultimamente.

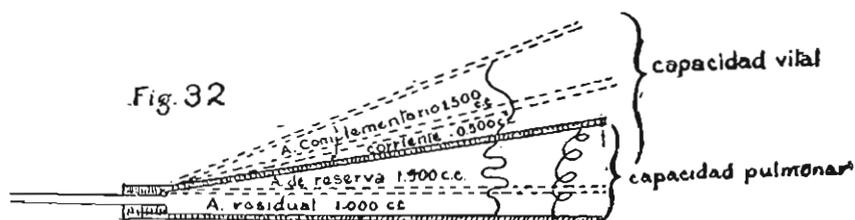
Cuando hacemos una inspiración normal penetra una cierta cantidad de aire, medio litro más o menos; igual cantidad sale en la expiración; esto es lo que se llama el *aire corriente*. Pero, después de una inspiración ordinaria, se puede continuar introduciendo aire en el pulmón, poniendo en juego todas las fuerzas inspiratorias; la cantidad de aire que viene a agregarse, de esta manera, al aire corriente es de un litro y medio; este es el *aire complementario*. De la misma manera, después de una expiración ordinaria se puede expulsar, todavía, una cierta cantidad de aire, empleando to-

das las fuerzas expiratorias; esta cantidad es, también, de un litro y medio, y se llama *aire de reserva*. Todos estos volúmenes de aire, aire corriente, aire complementario y aire de reserva constituyen la *capacidad vital de Hutchinson*.

Pero, permanece siempre en el pulmón una cantidad de aire, de 1 litro a 1 litro y medio, que se llama *aire residual*, que no se le puede arrojar, y que permanece, todavía, en el pulmón cuando la caja torácica tiene su capacidad mínima.

Se llama capacidad *pulmonar* el aire de reserva aumentado del aire *residual*.—La *capacidad total del pulmón* comprende el aire residual, el aire de reserva, el aire corriente y el aire complementario o sea un volumen de cuatro y medio litros más o menos.

Esto se representa y explica mejor en el esquema de la Figura 32.



## CAMBIOS GASEOSOS RESPIRATORIOS

Estudiaremos en este capítulo los fenómenos físicos que presiden a los cambios gaseosos en los pulmones y en los tejidos.

1°—*Fenómenos físicos que presiden a los cambios gaseosos respiratorios.*

Cuando la sangre venosa, contenida en los capilares, llega cerca de los alveolos pulmonares y cuando no está separada del aire alveolar sino por el epitelio pulmonar, embebido de agua, se produce un cambio gaseoso a través del epitelio; el ácido carbónico contenido en la sangre se escapa, mientras que el oxígeno del aire entra y se fija sobre la hemoglobina.

Este cambio tiene únicamente por objeto aerear la sangre, desembarazándola del ácido carbónico y dándole una nueva provisión de oxígeno.

Pero, otro cambio tiene lugar en los tejidos, en donde la sangre arterial llega cargada de oxígeno que ha recibido en los pulmones. Los capilares sanguíneos están aquí rodeados

de tejidos en los que el ácido carbónico es abundante y el oxígeno es escaso.—Se produce, entonces, un cambio gaseoso a través del epitelio de los capilares; el oxígeno deja la sangre y es reemplazado por el ácido carbónico.—Este cambio constituye la respiración de los tejidos.

Se ve, pues, que los cambios respiratorios se producen, siempre, en las mismas condiciones físicas: el oxígeno y el ácido carbónico se difunden en sentido inverso a través de un epitelio embebido de agua.

Estudiaremos sólo los cambios a través del epitelio de los alveolos pulmonares y, únicamente, el pasaje del oxígeno que parece ser debido a fenómenos físicos.—Dos factores deben ser principalmente considerados: la presión parcial del oxígeno y la tensión de disociación de la oxihemoglobina.

*Presión parcial del oxígeno.*—El aire de los alveolos tiene sensiblemente la composición del aire exterior y, por consiguiente, contiene 21 por cien de O. y 79 por cien de Az., o cerca de  $1\frac{1}{5}$  de O. y  $4\frac{4}{5}$  de Az. La proporción de  $\text{CO}_2$  es despreciable.—El O., por consiguiente, posee una presión parcial igual al quinto de la presión total ejercida por el aire.—Si, por ejemplo, la presión total es igual a 760 milímetros, el oxígeno tiene una presión parcial de 152 milímetros.

En realidad, el aire alveolar no tiene siempre la misma composición que el aire atmosférico y no contiene sino 17 por 100 de O.; de aquí resulta que, la presión parcial de O. es exactamente de 130 milímetros en las vesículas pulmonares.

Tales la presión según la cual se efectúa la disolución del oxígeno de exterior en el agua que imbebe el epitelio alveolar; después de su disolución, el O. se difunde a través de la pared y llega en el plasma sanguíneo; allí, la hemoglobina se apodera del O. para transformarse en oxihemoglobina.

*Tensión de disociación de la oxihemoglobina.*—El O. que ha penetrado en la sangre no puede ser fijado por la hemoglobina sino cuando su presión es superior a 20 milímetros de mercurio.—Esta presión por debajo de la cual la formación de oxihemoglobina, por fijación de O., es imposible se llama la tensión de disociación de la oxihemoglobina.

Hemos visto que, con las presiones atmosféricas ordinarias, la presión parcial de O. está por encima de este valor límite. Sería, pues, necesario que la presión total descendiera a 100 milímetros (en lugar de 760) para que la presión parcial del O. descendiera a 20 milímetros, es decir, al valor de la tensión de disociación de la oxihemoglobina: en este momento,

la fijación del O. y, por consiguiente, la respiración serían imposibles.

## RUIDOS RESPIRATORIOS

La auscultación es un procedimiento de investigación clínica por medio del cual el oído busca la percepción de los ruidos normales o anormales producidos por el funcionalismo de los órganos.

Fué el profesor francés LAENNEC el que descubrió este procedimiento de investigación, el año 1816, e hizo de su método un estudio tan profundo, que mediante el llegó a conocer casi todo lo que hoy día sabemos a cerca del particular.—La mayor parte de las expresiones calificativas que empleamos fueron establecidas por él.—Desde entonces, se ha continuado, incesantemente, la tarea de perfeccionar los procedimientos de auscultación y se han hecho, acerca de ello, innumerables trabajos.

La auscultación se practica ya sea aplicando directamente el oído en la región que se examina, (auscultación inmediata) o bien por medio del estetoscopio. (auscultación mediata) La auscultación debe hacerse al desnudo, aceptando a lo más, por razón extramédica, la interposición de una prenda de ropa fina.

El sujeto permanecerá sentado o echado en la cama, en actitud que no sea necesario ningún esfuerzo muscular.

Debe procederse, siempre, a la auscultación inmediata; la mediata con el estetoscopio se emplea, con preferencia, para explorar ciertas regiones en las que la aplicación del oído es difícil e imposible, como en el cuello y en la axila, o bien cuando se quiere estudiar un ruido localizado.

Cuando se ausculta el pecho de un individuo sano se aprecia un ruido muelle o suave que se ha denominado murmullo vesicular.—Si se consideran, separadamente, las dos partes del acto respiratorio, inspiración y expiración, se observa que el murmullo vesicular al principio es débil, muy suave y va aumentando en intensidad, a medida que la inspiración se amplifica; cesa, después, casi bruscamente, al fin de la inspiración, siendo sustituido por un ligero soplo que decrece durante la expiración y desaparece mucho antes de que esta termine.

La inspiración parece, pues, mas extensa que la expiración. Según se considera, generalmente, están en la porción

de 3 a 1; al contrario de lo que en realidad acontece, puesto que la inspiración fisiológica es más breve que la expiración. Esta divergencia, entre las percepciones auditivas y el fenómeno fisiológico, es debido a que percibimos el murmullo vesicular en toda la duración de la inspiración, mientras que podemos apreciarlo, solamente, durante una parte de la expiración. Existe un momento de silencio, completo, entre el final de una expiración y el comienzo de la inspiración siguiente.

El murmullo vesicular no se percibe, con la misma intensidad, en todos los puntos del pecho.

Existen, por otra parte, diferencias individuales de bastante consideración. En general, es más claro en las regiones torácicas anteriores, laterales y postero-inferior. Por detrás, en los vértices, se halla obscurecido por la interposición de los omóplatos y de los potentes y compactos músculos que en este hueso se insertan. A nivel de la bifurcación de los bronquios el ruido es más sonoro y más rudo; constituye la respiración bronquial. Normalmente, el murmullo vesicular es más intenso en el vértice derecho que en el izquierdo, sobre todo, en la expiración, que no solamente es más fuerte sino, también, más prolongado. Se atribuye esta diferencia al mayor diámetro que ofrece el bronquio derecho. Se aprecia mejor el murmullo vesicular en los individuos delgados, en los de musculatura débil y en los niños. La respiración en estos últimos es más ruidosa y más acelerada; ofrece el tipo pueril. En el viejo la respiración es, a menudo, más sonora y más ruda.

El murmullo vesicular es la resultante de todos los ruidos que el paso del aire produce en el árbol respiratorio, desde la laringe hasta las vesículas pulmonares. Cualquiera modificación que presenten estas partes, dentro de las cuales se mueven las moléculas aéreas con su doble movimiento de ida y venida, puede variar las cualidades del murmullo vesicular normal.

Es necesario dividir los fenómenos estetoscópicos en dos grandes categorías. La primera comprende los caracteres del ruido respiratorio, las modalidades del murmullo vesicular; la segunda, los ruidos adventicios, estertores, frotés y ruidos diversos.

*1°.-Modalidades del ruido respiratorio.*—El ruido respiratorio puede hallarse modificado en su intensidad, en su ritmo y en su timbre.

*Intensidad.*—El murmullo vesicular adquiere mayor fuerza, (respiración suplementaria) cuando llega una mayor

cantidad de aire a los alveolos pulmonares. Esto acontece, en ciertas regiones del pulmón, cuando otro territorio pulmonar se ha hecho menos permeable al aire. A esto se debe que se observa la respiración suplementaria de un pulmón en los casos de pleuresía del lado opuesto.

La debilitación del murmullo vesicular puede ser debida a que es insuficiente la cantidad de aire que penetra en el pulmón, (estenosis laríngea o bronquial) o bien a que dicho aire circule imperfectamente por los alveolos distendidos y de menor intensidad, (enfisema) ya, así mismo, a causa de impermeabilidad de los alveolos, infiltraciones, adema, etc. o bien a la interposición entre el pulmón y la pared torácica de una capa líquida (pleuresía) o de una masa sólida.

La debilitación del murmullo vesicular puede llegar hasta la abolición completa en los grandes derrames pleuríticos y en ciertos casos de neumotórax. La respiración es, entonces, muda, el silencio completo.

*Timbre.*—En lugar de muelle y suave, la respiración puede ser ruda, áspera. La expiración prolongada tiende a adquirir este carácter; lo mismo ocurre siempre que la respiración bronquial sustituye al murmullo vesicular.

La respiración ruda es el esbozo de la respiración sibilante, la cual comprende una gran variedad de ruido que lleva la denominación de soplos.

La diferencia fundamental que existe entre un soplo, por ligero que sea, y el murmullo vesicular estriba en que, este último se produce en el sitio correspondiente a los alveolos pulmonares mientras que el soplo es un ruido propagado.

Las condiciones en las cuales se verifica la transmisión de la respiración laríngeo-tráqueo-bronquial, a través del tejido pulmonar indurado o comprimido, hacen variar los caracteres de estos soplos. Se tiene la costumbre de compararlos, según su timbre, al sonido producido por la emisión de las vocales.

Así se dice, soplos en A, en E cerrado, en E Muda, en I, en O y en U. Esta comparación es bastante exacta y está basada en la sonoridad particular de cada una de estas vocales.

En todos estos casos, el murmullo vesicular está abolido ya porque los alveolos pulmonares están poco permeables, o porque los pequeños bronquios están obstruidos como en la neumonía, o bien porque el pulmón se encuentra comprimido por un derrame pleúrico. Entonces, la propagación del ruido, resultante de las vibraciones aéreas a nive

de los ángulos salientes de la laringe y de los bronquios, tiene lugar a través del parénquima pulmonar densificado.

Los soplos se producen ya solamente durante la inspiración, ya en la expiración y, algunas veces, en los dos tiempos respiratorios. Los soplos inspiratorios son más frecuentes que los expiratorios.

El soplo cavernoso no es más que el soplo bronquial modificado por la presencia de una cavidad que aumenta su resonancia y cambia su timbre. Se le ha comparado, con razón, al ruido que se produce soplando en una cavidad cerrada.

*Ruidos-advenciosos.*—En este grupo van comprendidos los diversos *esteriores*, los *frotos* y algunos ruidos especiales, como los chasquidos, el gorgoteo, el retintín metálico.

*Los estertores.*—Son ruidos anormales debidos al paso del aire a través de líquidos, mucosidades u otras secreciones que se encuentran en las ramificaciones bronquiales, desde la laringe y los bronquios hasta los acini pulmonares. Estos estertores ofrecen, según los casos, un timbre seco o húmedo. De aquí, la costumbre de dividir los en dos grandes grupos: estertores secos, estertores húmedos; ambos comprenden numerosas variedades.

*Frotos.*—En estado normal, las dos hojas de la pleura se deslizan una sobre otra; en estado patológico están deslustradas y frotan entre sí. De aquí la producción de un frote apreciable por el oído y, algunas veces, por la palpación.

Los frotos se perciben en los dos tiempos de la respiración, cuando son bien marcados; si no lo son tanto, se aprecian, tan sólo, al finalizar la inspiración o en las inspiraciones profundas.

Todos estos signos, exclusivamente clínicos, reposan sobre el principio general de los movimientos del pulmón y deben ser, como dice LAENNEC, «precisos, netos, de una evidencia absoluta y bastante acentuada para ser oídos, comprendidos e interpretados de la misma manera por todo médico».

Es fácil comprender que, quien ignora las leyes físicas del movimiento normal respiratorio.—no podrá explicar estos diferentes ruidos y además, les dará una interpretación completamente distinta de lo que en realidad son.

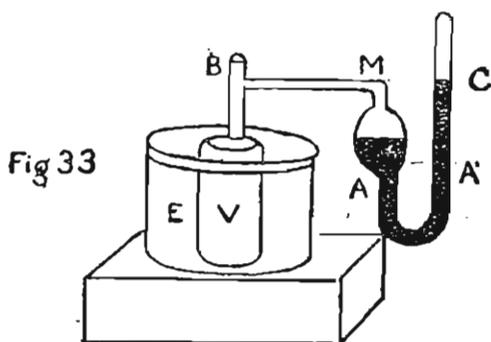
## PRESION OSMOTICA

El estudio de la presión osmótica tiene gran importancia en la biología y en la medicina; conviene, por lo tanto, que el

médico posea nociones precisas sobre este importante capítulo de la física.

Recordaremos, primeramente, que este estudio está basado sobre las experiencias de TRAUBE y de PFEFFER, efectuadas por medio de membranas semi-permeables, es decir, de membranas que se dejan atravesar por el agua, pero de ningún modo por la mayor parte de los cuerpos disueltos. He aquí cómo se obtienen esas membranas. Se lava un vaso poroso, al principio a los álcalis, después al ácido clorhídrico diluido; el vaso, en seguida, se embebe de agua destilada, de manera de librarlo de todo el aire contenido en las paredes. En este momento, se vierte una solución de sulfato de cobre, en el vaso, y se le sumerge en una solución de ferrocianuro de potasio. Las dos sales van a su encuentro, la una de la otra, a través de la pared del vaso poroso y forman, cuando se ponen en contacto, una membrana de precipitado gelatinoso de ferrocianuro de cobre, que es semi permeable.

*Experiencia de Pfeffer.*—*Ley de las presiones osmóticas.*—Para repetir la experiencia de PFEFFER, se hace uso de un osmómetro como el representado en la fig. 33.



El vaso poroso V., en las paredes del cual se encuentra formada una membrana semi-permeable, comunica con un tubo manométrico M. Cuando se coloca en el vaso poroso una solución de azúcar al 5 por 100 y en el vaso exterior agua pura, la azúcar no pasa a través de la membrana semi-permeable, mientras que el agua, difundándose, poco a poco, del exterior hacia el interior, determina una presión sin cesar creciente en el vaso interior. Esta presión se mide a cada instante por el nivel del mercurio en el tubo manométrico.

Cuando el equilibrio está establecido, es decir, cuando el movimiento ascensional ha terminado en el tubo h. del manómetro, la presión que indica este tubo es la presión osmótica de la solución azucarada

El valor de esta presión puede ser considerable; ella alcanza 22 atmósferas 35 si el agua contiene 340 gramos de

azúcar por litro, es decir, contiene el peso molecular de sacarosa expresada en gramos o, como se dice, la molécula-gramo. La solución así compuesta de una molécula-gramo para un litro de disolvente es llamada solución normal.

Variando la proporción de azúcar disuelta en el agua, se constata que la presión osmótica es proporcional a la concentración de la disolución colocada en el interior de la membrana semi-permeable.

Si en lugar de sacarosa se emplea glucosa, ácido tartárico, glicerina, etc. se constata, todavía, que la presión osmótica es proporcional al número de moléculas disueltas; así, una molécula-gramo de un cuerpo cualquiera, disuelto en un litro de agua, tiene siempre una presión osmótica igual a 22 atmósferas 35.

En fin si, en lugar del agua, se emplea otro disolvente, se observa que, para las mismas concentraciones, la presión osmótica es todavía la misma.

Tal es, pues, la ley a la cual conduce la experiencia de PFEFFER: la presión osmótica es proporcional al número de moléculas repartidas en un volumen dado; cada molécula, cualquiera que ella sea, ejerce la misma presión osmótica.

*Soluciones isotónicas.* — Supongamos que se coloca en el aparato de PFEFFER dos soluciones salinas, por ejemplo, una solución de sacarosa de un lado de la membrana semi-permeable y una solución de cloruro de sodio del otro lado. Pueden, entonces, presentarse tres casos: o bien el nivel se eleva en el tubo b. del manómetro, esto prueba que la solución interior es más concentrada que la solución exterior; o bien el nivel baja en el tubo b. entonces, la solución interior es la menos concentrada; o bien, en fin, el nivel es el mismo en las dos ramas del tubo manométrico, aquí la concentración es la misma de ambos lados de la membrana. En este último caso, las dos soluciones son isosmóticas o *isotónicas*, y se deduce que ellas tienen el mismo número de moléculas disueltas. De una manera general, se dice que dos soluciones isotónicas son equimoléculares.

*Investigación de la isotonia por el método De Vries.* — Un corte delgado de un vegetal deja ver, al microscopio, células provistas de una triple cubierta; 1º una cubierta externa rígida, la membrana celular; 2º la membrana plásmica externa que tapiza, interiormente, la membrana celular; 3º la membrana plásmica interna. Estas dos últimas membranas que limitan el protoplasma, exterior e interiormente,

son semi-permeables como la membrana de ferrocianuro de cobre del aparato de PFEFFER. Así, cuando se humedece la preparación con el agua destilada, o con una solución acuosa muy diluida, el agua tiende a penetrar en el interior de las membranas plasmáticas, y se ve el saco protoplásmico hincharse, poco a poco, hasta aplicarse exactamente sobre la membrana celular. Al contrario, cuando se vierte sobre la preparación de células vegetales una solución acuosa, muy concentrada, el agua tiende a escaparse de las células a través de las membranas plasmáticas; el saco protoplásmático se separa por diferentes sitios de la membrana celular y disminuye, poco a poco, de volumen hasta aislarse completamente de la membrana rígida.

En los dos casos los cambios que se producen son debidos a la desigualdad de concentración y, por consiguiente, a la desigualdad de las presiones osmóticas que existen, de uno y otro lado, de la membrana plasmática. Pero, se concibe que aumentando progresivamente la concentración de una solución, al principio muy diluida, se llega a aprovechar el momento preciso en que el saco protoplásmico comienza a desprenderse de la membrana celular; este desprendimiento inicial constituye la *plasmolisis* y prueba que se ha alcanzado una concentración idéntica a la del contenido de la célula vegetal considerada.

Es, pues, fácil el determinar las soluciones isotónicas de un jugo celular determinado y, por consiguiente, isotónicas entre sí. Se toma, por ejemplo, cortes de *Tradescantia discolor* y se investiga al microscopio, cuáles son las soluciones que determinan el desprendimiento indicador o el principio de la plasmolisis.

*Investigación de la isotonia por el método de Hamburger, suero artificial.*—HAMBURGER ha empleado los glóbulos sanguíneos para investigar las soluciones isotónicas con el suero y, por lo tanto, isotónicas entre sí. Se puede observar utilizando este método, no solamente la deformación de los glóbulos, fenómenos análogos a la plasmolisis, sino, además, el pasaje de la materia colorante de la sangre en las soluciones menos concentradas: la Hemolisis. Se nota, también, que la hemolisis no se produce sino con soluciones mucho menos concentradas que las soluciones isotónicas al suero sanguíneo. Así, cuando se opera sobre glóbulos rojos de rana, la materia colorante no aparece sino en las soluciones cuya concentración es inferior a 0,2, por 100; ahora

bien, la solución isotónica al suero tiene una concentración de 0'64 por 100.

Si se emplease una solución muy diluída o hipotónica, los glóbulos rojos experimentarían la turgescencia, y la hemoglobina podría pasar en el suero. Habría, pues, hemólisis. Si, al contrario, se emplease para las inyecciones intravenosas una solución muy concentrada o hipertónica, los glóbulos experimentarían la plasmolisis, es decir, perderían el agua contenida en su protoplasma.

Es, pues, necesario inyectar una solución isotónica al suero, la que debe contener 7 gramos de sal para 1000 gramos de agua; a esta solución se le llama solución fisiológica o suero artificial.

### CRIOSCOPIA

La crioscopia tiene por objeto el estudio del punto de congelación de una solución y es de gran importancia en medicina, la determinación del punto de congelación de los líquidos del organismo, concentración molecular y presión osmótica, que regulan un gran número de fenómenos normales o patológicos. Este punto de congelación se representa por la letra griega delta  $\Delta$ .

La experiencia demuestra que todo cuerpo disuelto en el agua baja el punto de congelación; además, el descenso es independiente de la naturaleza del cuerpo y proporcional al número de moléculas disueltas en un mismo volumen, en 100 c. c. por ejemplo.

Inversamente, si una solución presenta un descenso  $\Delta$  del punto de congelación, esta solución contiene un número de moléculas proporcional a  $\Delta$  por 100 c. c. de líquido.

La determinación de  $\Delta$  se efectúa por medio de un aparato llamado crioscopio.

Hay dos modelos, el de hielo y el de evaporación.

1º—*Crioscopio de hielo*.—El aparato de BRUCKMANN modificado por CHANOS se compone de un recipiente externo de madera lleno de aserrín, para evitar la radiación, y de un cristizador de vidrio que contiene una mezcla frigorífica que da una temperatura inferior (de cerca de 1.º) al punto de congelación aproximada de la solución considerada. En el medio de la mezcla refrigerante se encuentra un tubo de vidrio contenido en un tubo de latón; estos dos tubos dejan entre si un pequeño espacio libre.

El tubo central puede cerrarse por un tapón atravesado por un termómetro que está en 1.50 de grado; esta graduación permite, evaluando la mitad de una división, medir la temperatura en un centésimo de grado.

*Determinación.*—Para efectuar una determinación se vierte 25 c. c. de la solución considerada en el tubo central que se cierra, en seguida, con el tapón provisto del termómetro. Se agita, constantemente, el líquido con el reservorio del termómetro, y se constata un descenso progresivo de la temperatura.—Cuando la temperatura ha descendido, así, hasta cerca de 1.2 grado, por debajo del punto de congelación aproximado de la solución, se hace cesar la surfusión echando una partícula de hielo en el líquido. Esta cesa; la temperatura se eleva, se vuelve estacionaria y, después, desciende. Se anota la temperatura estacionaria y se obtiene así  $\Delta$ .

Una segunda determinación da un número más exacto.

*Crioscopio a evaporación.*—Los aparatos a evaporación difieren, esencialmente del anterior, por el sistema de refrigeración. Un vaso de vidrio contiene un líquido volátil, éter o sulfuro de carbono. En la masa del líquido volátil se encuentra un serpentín, perforado de agujeros, por el cual llega el aire exterior, cuando se hace una aspiración por medio de un tubo. El pasaje del aire determina la formación de burbujas muy numerosas en la masa del líquido volátil y, por consiguiente, una evaporación considerable.

El frío producido por la evaporación determinará un descenso de temperatura de la solución colocada en el tubo central; se puede, entonces, proceder como hemos indicado antes, a medir  $\Delta$ .

Por este procedimiento se han estudiado los puntos crioscópicos de los líquidos orgánicos y se ha visto que el suero sanguíneo tiene 0.55 de grado; que la orina, es el líquido del organismo que tiene el punto crioscópico más elevado, esto es de 1.50.

Esta diferencia, entre el punto crioscópico de la orina y el del suero sanguíneo es de gran importancia, por que en él están fundados una serie de métodos aplicados a la clínica para el estudio de la permeabilidad renal.

*Licores mezclables y no mezclables.*—Cuando se pone en contacto un líquido con otro líquido se observa que, según la naturaleza de estos líquidos, los fenómenos son esencialmente diferentes. Ciertos líquidos son mezclables, esto quiere decir, que ellos pueden mezclarse en toda proporción y que, des-

pués de verificada la mezcla, el líquido será homogéneo en todas sus partes. Este es el caso, por ejemplo, para la mezcla de alcohol y de agua.

En otros casos, al contrario, los líquidos se superponen por orden de densidad. Estos son los líquidos no mezclables; sin embargo, esto no significa que la ley de superposición, por orden de densidad, es ineludible. Se puede, agitando ciertas de estas mezclas, obtener un líquido de aspecto homogéneo; citemos, como ejemplo, el agua y el aceite. Pero, cuando se examina al microscopio los líquidos que parecen así homogéneos, se ve que su homogeneidad no es sino aparente; ellos están formados de gotitas infinitamente pequeñas de uno de los líquidos. Se dice que hay, allí, una emulsión. Estas gotitas no tardan, por otra parte, en reunirse en gotas mas gruesas que, poco a poco, terminan por formar una gruesa masa líquida y, entonces, los líquidos se superponen por orden de densidad.

• *Tensión superficial.*—Numerosas son las experiencias que demuestran la posibilidad de asimilar la superficie de los líquidos a una membrana elástica. Recordaremos solamente este hecho: espolvoriemos la superficie del agua con polvos de licopodio, en seguida sumerjamos, verticalmente, en el líquido una bagueta de vidrio, ligeramente engrasada, de modo que no pueda mojarse. Se comprueba, entonces, que la capa de licopodio se deprime y no se deja atravesar por la bagueta; se forma alrededor de esta un estuche elástico que vuelve a adquirir su forma plana cuando se retira la bagueta. El fenómeno que se realiza sería semejante al que tuviera lugar si una membrana de caucho estuviese extendida en la superficie del agua.

En realidad, se trata de fenómenos debidos a las acciones de las moléculas superficiales del agua, es decir, a las fuerzas que constituyen la *tensión superficial del líquido*.

La tensión superficial desempeña, pues, un papel muy importante en ciertos fenómenos biológicos. Así, cuando burbujas gaseosas han penetrado en los capilares sanguíneos, los rosarios capilares, así formados, oponen una gran resistencia al movimiento de la sangre y forman verdaderas embolias; esto se explica por la resistencia que pone la tensión superficial de cada menisco a la presión de la burbuja gaseosa vecina.

JAMIN ha podido obtener, en tubos capilares muy finos, rosarios de burbujas de aire que soportan presiones de muchas atmósferas antes de ponerse en movimiento.

Consideremos, ahora, la tensión superficial bajo el punto de vista de las indicaciones que ella puede suministrar sobre la composición de los líquidos del organismo.

*Procedimientos de medida de la tensión superficial.*—Dos procedimientos se emplean, generalmente, para evaluar la tensión superficial de los líquidos del organismo: el procedimiento del cuenta gotas y el de los polvos inertes.

a.) *Procedimiento del cuenta gotas.*—Se sabe que, cuando una gota va a desprenderse del orificio capilar de un cuenta gotas forma un estrangulamiento -a. b.- (fig. 34) que se acentúa y se alarga, poco a poco, a medida que el volumen y el peso de la gota aumentan.

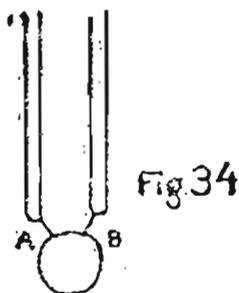


Fig. 34

Cuando el peso es ligeramente más fuerte que la tensión superficial, a lo largo del estrangulamiento, o en otros términos, cuando el peso es suficiente para romper la membrana elástica, a la cual se puede asimilar la superficie exterior de la gota, esta cae.

El peso de una gota es, pues, proporcional a la tensión superficial del líquido. Resulta de aquí que, para el mismo peso, los diversos líquidos dan un número de gotas que varían en razón inversa de su tensión superficial; a medida que esta es más débil, mayor será el número de gotas. En general, se emplea no el mismo peso, sino el mismo volumen de líquido (5 centímetros cúbicos contenidos en el cuenta gotas de DUCLOUX). Se debe, entonces, tener en cuenta la densidad de los líquidos. Las tensiones superficiales son, a la vez, inversamente proporcionales a las densidades. Pero, para los líquidos del organismo, cuya densidad es vecina de 1, se puede, sin gran error, admitir simplemente que las tensiones superficiales son inversamente proporcionales al número de gotas suministradas por el cuenta gotas. Se relacionan las tensiones a la del agua destilada, que da 100 gotas y cuya tensión es de 7.7 miligramos por milímetro.

b.) *Procedimiento de los polvos inertes o de Hay.*—Arrojamos flor de azufre en un tubo de ensayo que contenga ciertos líquidos, tales como alcohol, éter, cloroformo, ácido acético, fenol, bilis, orina que contenga bilis, etc.; constataremos, entonces, que el polvo atraviesa la superficie del líquido y desciende al fondo del vaso. Al contrario, la flor de azufre arrojada sobre el agua, los ácidos y sales minerales, la orina nor-

mal, el suero, etc., permanece en la superficie. Para algunos líquidos la reacción es dudosa; la flor de azufre desciende en muy pequeña cantidad a través de la masa líquida.

Se ve, pues, cómo por el empleo de la flor de azufre se puede distinguir tres clases de líquidos: 1.º aquellos como el alcohol y la bilis, cuya superficie se deja atravesar por la flor de azufre y en los que, por lo tanto, la tensión superficial es débil; 2.º aquellos, como el agua y las soluciones acuosas de las sales minerales, cuya superficie no se deja atravesar por el polvo y en los que, por consiguiente, la tensión es relativamente fuerte; y 3.º en fin, los líquidos, como ciertas mezclas de agua y de bilis, de agua y de alcohol, que presentan una reacción dudosa y cuya tensión superficial tiene un valor medio.

*Tensión superficial de los líquidos del organismo.*—Los líquidos del organismo son soluciones acuosas de sales minerales, que elevan, y de materias orgánicas, que bajan, la tensión superficial.

a.) *Líquidos normales.*—Casi todos los líquidos del organismo tienen una tensión superficial ligeramente inferior a la del agua. Así, la orina, el suero sanguíneo, el jugo gástrico, el líquido céfalo-raquídeo, el jugo pancreático, la saliva no dejan caer la flor de azufre (reacción de HAY, negativa) y dan con el cuenta gotas normal, de 110 a 140 gotas.

La tensión superficial de estos líquidos es así comprendida entre 7 y 5. 7. miligramos por milímetro. Al contrario, la bilis y la leche poseen una tensión superficial mucho más débil que la del agua; estos líquidos dejan caer la flor de azufre (reacción de HAY, positiva) y dan un número de gotas superiores a 200. Son, sobre todo, las materias grasas, solas (caso de la leche) o asociadas a las sales biliares, (caso de las bilis) las que determinan esta tensión superficial débil.

b.) *Líquidos que contienen bilis.*—La presencia de muy pequeñas cantidades de bilis es suficiente para bajar, considerablemente, la tensión superficial de los líquidos del organismo. Así, es suficiente agregar 5 por 1000 de bilis a una orina normal, que da 110 gotas, para obtener 185 gotas y al mismo tiempo una reacción de HAY positiva.

Inversamente, toda orina que tiene 15.º deja caer la flor de azufre; (reacción de HAY, positiva) la que da más de 150 gotas al cuenta gotas DUCLAUX contiene bilis. La bilis es, en efecto, el sólo cuerpo que puede encontrarse en la orina, entre aquellos que son capaces de bajar considerablemente la ten-

sión superficial. Las condiciones precedentes se aplican, lo mas a menudo, a todos los líquidos del organismo que tienen normalmente una tensión vecina a la del agua; pero, no pueden aplicarse, sin embargo, al contenido estomacal, a los vómitos o a las heces porque se encuentra a menudo en estos líquidos, sea ácido acético o alcohol, (líquido gástrico) sea fenoles y sus derivados (líquidos intestinales, heces) que dan, como la bilis, una tensión superficial muy débil.

## CAPILARIDAD

Entre las propiedades físicas de los líquidos la mas importante es la capilaridad; desempeña un papel capital en la vida y un número considerable de los fenómenos más diferentes son debidos a este factor. La capilaridad está en relación estrecha con la tensión superficial; depende de ella, de manera que, por la medida de la constante de la capilaridad se puede evaluar la magnitud de la tensión superficial y vice-versa.

Para demostrar la importancia del papel de la capilaridad en la biología vamos a dar algunos ejemplos. JAMÍN ha demostrado la influencia de los fenómenos capilares en la vida de las plantas. Ha construído un aparato que demuestra la manera cómo los líquidos se elevan en los tejidos por su evaporación en la superficie de las hojas. Pero, se puede hacer mucho mas simplemente esta elevación de los líquidos en los tubos capilares, atravesando los cuerpos porosos. Un pedazo de creta, en el cual se escava un agujero cilíndrico que comunica con un tubo capilar y un manómetro, se sumerge en un líquido; se puede, entonces, constatar el pasaje del líquido en el tubo, a través de los poros de la creta y se observa, así, que al cabo de algunos días se hace manifiesta una compresión del aire, alcanzando 3-4 atmósferas.

Otro fenómeno capilar ha sido indicado por LUDWIG. Una membrana animal que contiene solución de sal en el agua pierde una cantidad importante de agua pura, de suerte que la concentración en sal se encuentra aumentada.

*Tubos capilares.*—Los fenómenos capilares que se inician al contacto de un sólido y de un líquido son diferentes según el valor de la adhesión entre el sólido y el líquido, relativamente a la cohesión de este.

Cuando se sumerge un sólido en un líquido y se le retira permanece adherida al sólido una capa líquida o sale completamente seco. En el primer caso, la adhesión del sólido para el líquido ha sido superior a la cohesión de las moléculas líquidas entre sí, puesto que estas han permanecido adheridas al sólido; se dice, entonces, que el líquido moja el sólido; en el segundo caso, la cohesión ha sido, al contrario, superior a la adhesión y se dice que el líquido no moja el sólido.

Sean, por ejemplo, dos tubos de la misma substancia sumergidos, el primero en un líquido que le moja y el segundo en un líquido que no le moja; los valores relativos de la adhesión y de la cohesión hacen que la superficie libre del líquido se vuelva cóncava, en el primer tubo y convexa, en el segundo. En el exterior y alrededor del primer tubo.—la superficie libre será, también, cóncava, mientras que en la vecindad del segundo será convexa.

*Drenaje capilar.*—La resistencia a la ruptura que posee la capa superficial de un líquido explica porqué el aire no puede, sino difícilmente, circular en un tubo estrecho que contiene un líquido, y porqué este no puede deslizarse, por su propio peso, si el orificio de salida tiene un diámetro pequeño. MONODER ha sacado partido de esta propiedad para explicar por medio del drenaje capilar el mecanismo por el que se vacía una colección purulenta.

Haciendo una abertura en las paredes de un absceso, con un trocar, se introduce una cánula provista de un manojo de crines. El pus no se deslizará, a través de la abertura hecha por el trocar, cuando las paredes de la cavidad purulenta están desprovistas de elasticidad; pero, merced a los crines, la cavidad, aún en este caso, se vacía del pus que ella contiene. El deslizamiento es debido a la subdivisión del conducto de la cánula en cierto número de canales secundarios, constituidos por los intervalos que existen entre los crines o entre estos y la cánula; el líquido circula por algunos de estos canales, mientras que el aire exterior se introduce por los otros.

*Cuenta gotas.*—Cuando un líquido se desliza por un tubo muy estrecho su salida, en lugar de ser continua, se hace por medio de gotas. El mecanismo de la formación de estas gotas es el siguiente:

En el momento en que el líquido sobrepasa, un poco, el orificio de deslizamiento, su superficie libre es fuertemente convexa. Si la componente normal de la tensión superficial es muy grande, visto el pequeño valor del radio de curvatura para oponerse al descenso del líquido, las cosas permanecerán en ese estado, el deslizamiento no se producirá; si esta componente es demasiado débil para oponerse al descenso, la gota aumenta, progresivamente, su curvatura disminuye, la componente normal se vuelve más y más pequeña y, en fin, una gota se desprende. La ruptura se hace en una región estrangulada de la gota, un poco por debajo de la extremidad del tubo.

El peso de las gotas de un mismo líquido es proporcional al radio o al diámetro del tubo que las suministra; para un mismo tubo, el peso de las gotas depende de la naturaleza del líquido o, exactamente, de su densidad y de su tensión superficial.

De aquí el uso del cuenta gotas en Medicina, en donde puede desempeñar el papel de una balanza para el dosaje de un cierto número de medicamentos.

*Embolias gaseosas y líquidas.*—Burbujas gaseosas, o formadas de líquidos no mixibles con la sangre, se forman en el interior de los capilares en ciertas circunstancias. El aire, por ejemplo, puede introducirse en el torrente circulatorio cuando un tronco, grueso, venoso se abre; si este aire no puede ser disuelto completamente, en la sangre, se subdivide, en los capilares pulmonares, en finas burbujas o embolias, que ofrecen una resistencia total superior a la que la contracción ventricular puede vencer. La muerte súbita es la consecuencia fatal de esta detención de la circulación.

La muerte, por detención brusca de la circulación puede, también, sobrevenir en una persona cuando, después de una permanencia en el aire comprimido, es sometida a una descompresión muy rápida. En efecto, bajo la acción de una presión superior a la presión atmosférica, los gases del aire se disuelven en la sangre en cantidad superior a aquella que este líquido puede tener en disolución a la presión normal. Si la descompresión es rápida y el desprendimiento del exceso de gas disuelto no puede hacerse, por el acto de la respiración, se formarán embolias gaseosas en toda la extensión del sistema vascular, en particular en la red capilar.

Embolias líquidas pueden formarse a consecuencia de las inhalaciones prolongadas de cloroformo. La formación de

embolias gaseosas es, también, de temerse en las operaciones de transfusión de sangre, por la introducción de burbujas de aire mezcladas a la sangre transformada; por esta razón, se ha procurado evitar este peligro en la construcción de los diversos aparatos imaginados para esta operación.

Probablemente, á la formación de rosarios capilares, se debe la imposibilidad de vaciar completamente los pulmones, extraídos del torax, del aire que ellos contienen, áun comprimiéndoles fuertemente.