

SECCION DÉCIMA

FUNCIONES DEL SISTEMA NERVIOSO.

CAPÍTULO I.

Propiedades generales del sistema nervioso.

§ 106.

Composicion y estructura. — El sistema nervioso comprende el cerebro, el cerebelo, la médula espinal, el gran simpático, los nervios y los ensanchamientos ó ganglios nerviosos que se encuentran en el trayecto de algunos nervios craneales, en el de todos los raquídeos, y que entran en la constitucion del sistema nervioso llamado gangliónico ó del gran simpático. A la parte central formada por el cerebro, cerebelo y médula espinal, se le ha dado el nombre de centro *encéfalo raquídeo*; la parte periférica está constituida por los nervios, distribuidos en diferentes partes del organismo, y á éstos se les llama raquídeos, cerebrales, ó del sistema del gran simpático, segun que tomen origen en uno ó en otro de estos puntos. El sistema nervioso es el asiento de la inteligencia y de las facultades afectivas; es el agente incitador de los movimientos voluntarios é involuntarios, y ademas preside y tiene bajo su dependencia la mayor parte de las funciones de nutricion.

Los nervios están formados de gran número de fibras

muy delgadas, perceptibles por medio del microscopio, á las cuales se da el nombre de *tubos nerviosos primitivos*. Estos tubos, formados, segun Ranvier, de células soldadas entre sí, están compuestos de una cubierta transparente y muy fina, llamada *vaina de Schwann*; de una sustancia viscosa que ocupa el interior de la cubierta, denominada *sustancia medular ó mielina*, y de una fibra blanda, *cilindro-eje ó filamento axil*, situada en el centro de dicha sustancia.

El cilindro-eje constituye la parte esencial del tubo nervioso primitivo; la mielina viene á ser una sustancia aisladora; la vaina de Schwann protege al cilindro-eje y á la mielina. Esta vaina presenta *estrangulaciones anulares* dispuestas con mucha regularidad, entre las cuales se encuentran las porciones conocidas con el nombre de *segmentos interanulares*, existiendo ademias en la cara interna de la referida vaina — al nivel de cada uno de los segmentos — un *núcleo* celular. Estos núcleos y las estrangulaciones anulares hacen muy verosímil la teoría de Ranvier, referente á la formación de cada tubo por células unidas entre sí.

El cilindro-eje tiene una contextura manifiestamente fibrilar, pudiendo descomponerse sin dificultad en fibrillas nerviosas primitivas, dirigidas en sentido longitudinal; artificialmente puede determinarse en él la aparición de estrías transversales ó de Frommann. La naturaleza de la mielina es en apariencia grasosa y albuminóidea; esta sustancia, despues de la muerte, se coagula, se retrae y se fragmenta. En cuanto á la naturaleza de la vaina de Schwann, es simplemente conjuntiva.

Algunos tubos primitivos carecen completamente de sustancia medular y se componen sólo de cilindro-eje y neurilema; otros no tienen, segun Ranvier, membrana de cubierta, y el cilindro-eje presenta ligeros abultamientos, como sucede en las llamadas fibras grises de Remack, per-

tenecientes con especialidad al gran simpático, y considerando la sustancia que las constituye como un conjunto de cilindro-eje, siendo manifiestamente granulosa ó fibrilar con núcleos superficiales.

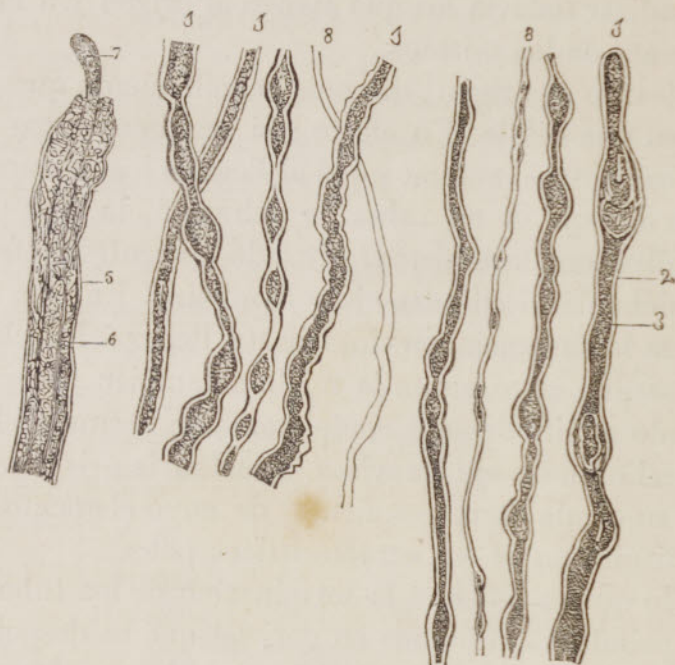


FIG. 81. — Fibras ó tubos nerviosos. — 1, tubos nerviosos de la gruesa especie. — 2, cubierta de estas fibras. — 3, contenido. — 4, otro tubo tratado por el ácido crómico. — 5, cubierta. — 6, médula. — 7, cilindro-eje. — 8, tubos finos de un sólo contorno, tomados de la médula espinal.

Esta distincion de los tubos nerviosos en *tubos con mielina* y *tubos sin mielina*, reviste una grande importancia en histo-fisiología.

Los tubos nerviosos están enlazados á las células de este nombre; todos ellos son independientes, sin que jamás comuniquen ni se anastomosén entre sí.

Estos tubos ó fibras nerviosas, no sólo forman los nervios, sino tambien la *sustancia blanca* de los centros, distinguiéndose simplemente unos de otros en que los que se encuentran en este último punto carecen de vaina de

Schwann, al paso que están revestidos por ella los destinados á los nervios. Fisiológicamente gozan de una propiedad comun : la de ser simplemente *conductores*.

Los caracteres acabados de exponer se refieren tan sólo á las fibras ó tubos nerviosos considerados en su trayecto. Falta indicar todavía los que atañen al origen y á las terminaciones de los mismos.

En cuanto al origen, diremos sencillamente que todos nacen en una célula. En efecto ; si seguimos estos tubos hasta los centros, veremos que al llegar á los mismos cada tubo se despoja de su vaina de Schwann, la cual pasa á confundirse con la cubierta íntima de los centros referidos; queda del tubo el cilindro-eje y la mielina. En esta forma atraviesa la sustancia nerviosa hasta llegar á los elementos grises, en cuyo punto la mielina tambien desaparece, quedando el cilindro-eje completamente desnudo. Finalmente, el cilindro-eje atraviesa la sustancia gris, dirigiéndose á su célula correspondiente, de cuyo elemento viene á constituir uno de sus característicos polos.

Por lo que se refiere á la terminacion de los tubos nerviosos primitivos, diremos en general que se despojan de la mielina y se ramifican en elementos de una finura extrema. En el dermis, pueden terminar en las papilas, contribuyendo á la formacion de los *corpúsculos de Meissner* ó *corpúsculos táctiles* ; en las papilas de determinadas mucosas contribuyen á la formacion de los *corpúsculos de Krause* ; en los dedos, á la de los *corpúsculos de Pacini*, etc. En los músculos vienen á constituir las *placas terminales*. Fisiológicamente podríamos decir que los nervios sensitivos *empiezan* en las extremidades periféricas y *terminan* en las células centrales, al paso que los nervios motores *comienzan* en estas últimas y *terminan* en aquellas.

El diámetro de los tubos nerviosos varía desde dos centésimos á cinco milésimos de milímetro ; los más gruesos se encuentran en los nervios de la vida de relacion ; los

más delgados corresponden á los de la vida orgánica.

Los tubos primitivos tienen la misma longitud que el nervio de que forman parte, de manera que se prolongan desde el centro nervioso de donde nacen, hasta el órgano en que terminan, siguiendo cada uno un trayecto independiente, por más que todos ellos estén unidos entre sí. Cuando dos nervios se juntan para formar un tronco común, los tubos del uno no desembocan en los del otro, sino que únicamente se yuxtaponen, tocándose sus paredes para continuar reunidos con la misma independencia que traían.

Los nervios están constituidos por la reunion de estos tubos, adheridos los unos á los otros en su direccion longitudinal y cubiertos de una membrana de tejido conjuntivo laminoso, el *perinervio*. Los nervios raquídeos y cerebrales son blancos y de una textura bastante resistente; los del gran simpático son, en su mayor parte, blandos y parduscos.

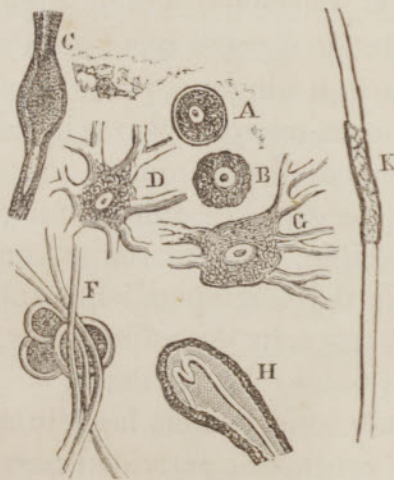


FIG. 83. — *AB*, células nerviosas esféricas. — *C*, célula bipolar. — *DC*, células multipolares. — *F*, células de ganglio y fibras nerviosas. — *K*, tubo nervioso y cilindro-eje. — *H*, terminación de una fibra nerviosa en un órgano.

Ademas de los tubos de que acabamos de hablar, el tejido nervioso contiene otro elemento anatómico de impor-

tancia ; las *células ganglionares* que se encuentran en la sustancia gris de los centros nerviosos, así como en los ganglios y en las extremidades de determinados nervios (filetes del gran simpático en el intestino, del glosso-faríngeo en la lengua).

Estas células, que pueden ser motrices, sensitivas, ó, segun Jacobowitsch, simpáticas, y cuyo diámetro varía de cinco milésimos hasta un décimo de milímetro, carecen de cubierta, su nucleo es de gran tamaño, y su protoplasma, lleno de granulaciones pigmentarias, da origen á prolongaciones microscópicas, divididas en dos categorías diferentes. Las unas constituyen el cilindro-eje del nervio que se origina en la célula ; las otras enlazan diferentes células entre sí, constituyendo una verdadera red, por cuyo intermedio la corriente nerviosa pasa probablemente en los centros de este nombre, desde unas células á otras diferentes.

Las células pueden ser *unipolares*, *bipolares* ó *multipolares*, segun estén en relacion con uno, dos ó mayor número de tubos, presentando á veces una figura esférica y como si no comunicaran con ninguno, probablemente, porque al someterlas al examen microscópico se habrán roto los puntos de enlace que con ellos las unían.

Las células de los ganglios difieren un poco de las que acabamos de describir, pues presentan una cubierta que se continúa con la del correspondiente tubo nervioso ; se encuentran en el trayecto de estos tubos, y, por consiguiente, son casi todas ellas bipolares.

Fisiológicamente consideradas las células que nos ocupan, representan centros de actividad nerviosa.

Considerada en su conjunto la disposicion de este sistema, puede decirse que consiste en un incalculable número de tubos microscópicos que desde la circunferencia se dirigen á las células ganglionales, motrices ó sensitivas de los centros nerviosos, de manera que los unos llegan di-

rectamente hasta el cerebro y los otros quedan en el gran simpático ó en la médula espinal, sin comunicar *directamente* con la masa encefálica, sino por medio de numerosas fibrillas *intercentrales* que relacionan unas células con otras.

Ademas de estos elementos específicos, tanto en la sustancia blanca como en la sustancia gris se encuentran otros elementos accesorios. El principal entre ellos es una sustancia de naturaleza conjuntiva conocida con el nombre de *neuroglia*. Esta sustancia, que sirve de apoyo á los delicados elementos que acabamos de estudiar, ha sido objeto en estos últimos tiempos de numerosas discusiones: segun la escuela alemana no es otra cosa que una red delgadísima de tejido conjuntivo, al paso que segun Robin es una ganga enteramente amorfa. El estudio del desarrollo del sistema nervioso decide la cuestion en el sentido propuesto por la escuela alemana, sin que pueda decirse que el punto sea completamente conocido, toda vez que esta sustancia, en distintas partes de los centros nerviosos, ofrece caracteres diferentes. Así, la que se encuentra en el epéndimo parece ser de una naturaleza especial, la de la sustancia gris parece constituida no sólo por tejido conjuntivo, sino tambien por fibrillas nerviosas entrelazadas y anastomosadas, pertenecientes á los mielocitos. En la sustancia gris abundan considerablemente los corpúsculos conocidos con el nombre de mielocitos. En otros elementos accesorios consisten en vasos sanguíneos y linfáticos.

§ 107.

Elementos químicos de los nervios. — En la actualidad puede decirse que todavía no se conoce por completo la naturaleza de los principios orgánicos que entran en la composicion del sistema nervioso. El cilindro-eje tiene

propiedades análogas á la de los cuerpos albuminóideos ; la sustancia medular no contiene grasa, á pesar de que por su apariencia podría sospecharse lo contrario, estando constituida principalmente por albúmina, cerebrina, colessterina y lecitina ; la vaina de Schwann pertenece segun todas las probabilidades á las sustancias colágenas.

En el cerebro se encuentra protagon, y en los nervios colessterina y creatina, dando ademas una reaccion ácida si están en actividad, y neutra si son frescos y se hallan en estado de reposo.

Considerada la sustancia nerviosa en su conjunto presenta una composicion muy complicada. En ella se encuentra agua en gran cantidad ; sustancias minerales, representadas principalmente por cloruro de sodio, fosfatos alcalinos y cierta cantidad de fluor ; sustancias no azoadas, como ácidos láctico y palmítico, inosita y colessterina ; sustancias extractivas azoadas, como bencina, urea, hipoxantina, xantina y creatina ; existe ademas la nucleina, la lecitina y la cerebrina, y varias sustancias albuminoideas representadas principalmente por albuminatos de potasa. Segun Kühne y Ewald existiría una sustancia á la cual llaman neurokeratina, por su semejanza con el tejido córneo. La colessterina y la cerebrina abundan más en la sustancia blanca que en la gris, al paso que los albuminatos, la lecitina, las sales y el agua, son más abundantes en la sustancia gris que en la blanca.

En cuanto á la neuroglia, estaría formada principalmente por la neurokeratina, segun Kühne y Ewald : pero la mayoría de los autores considera la composicion de la neuroglia, como análoga á la de los tejidos conjuntivos.

§ 108.

Electricidad de los nervios. — En los nervios, á semejanza de lo que sucede en los músculos, se manifiesta una

corriente eléctrica *cuando están en reposo*, puesto que se desvía la aguja del galvanómetro si se les pone en relacion con los hilos de este aparato. No es fácil á primera vista decidir si esta corriente, llamada *nerviosa*, se produce por el simple contacto de los conductores metálicos y del tejido nervioso, por ser cuerpos heterogéneos, así como se desarrolla en algunas pilas al tocarse metales de naturaleza diferente, ó si existe ya en el nervio y se hace perceptible al atravesar el cuerpo conductor ; pero lo que sí puede conocerse sin previo estudio del fenómeno, es que las leyes á que está sujeta son las mismas que las de las corrientes musculares. Por lo tanto, los puntos correspondientes á la superficie natural del nervio son positivos con relacion á los de la superficie artificial ; y cada punto de la superficie natural, próximo á lo que hemos llamado ecuador, es positivo con relacion á los que están más separados. Cuando el nervio está en actividad, la corriente eléctrica disminuye, tal vez porque se produce otra en direccion contraria, como sucede en los músculos, segun hemos dicho anteriormente, y á este fenómeno es al que Du Bois-Reymond llama *variacion negativa*, atribuyéndolo al desenvolvimiento de una corriente opuesta á la primera.

La demostracion de que la corriente antedicha no se debe al contacto entre el tejido nervioso y los conductores metálicos, llega á la plena evidencia haciendo uso de un aparatito que luego describiremos con el nombre de reóscopo fisiológico.

Los nervios son muy malos conductores de la electricidad ; comparando su conductibilidad á la de los metales, resulta que en los primeros viene á ser unos diez y seis millones de veces menor. A pesar de todo, presentan dichos nervios vestigios de electricidad como ya hemos dicho.

La dificultad de demostrar las propiedades eléctricas de

los nervios ha hecho precisa la invencion de ciertos instrumentos y aparatos, que en brevísimo resumen pasaremos á describir.

La *pata galvanoscópica* ó *reóscopo fisiológico* puede servirnos perfectamente para conocer que el nervio está dotado de poder electro-motor : es decir, nos indica la existencia de cambios ocurridos en las tensiones eléctricas, pero no nos proporciona ningun conocimiento relativo á la intensidad, á la direccion, ni á la duracion precisa. A pesar de todo, presta grandes servicios en electro-fisiología, por cuyo motivo lo describiremos someramente.

Presenta este aparato una suma sencillez y su disposicion puede variar en gran manera. Para los estudios de neurología, una de las disposiciones preferibles es la siguiente : se toman tres almohadillas de papel de fieltro cuya longitud exceda en mucho á la anchura ; dos de ellas se colocan paralelamente sobre una lámina de cristal y se humedecen con una disolucion de sal comun ; de los cuatro extremos de estas dos almohadillas, dos se cubren con un pedazo de la membrana envolvente de la clara del huevo, humedecida previamente con dicha clara, y los otros dos extremos se unen entre sí por medio de una tercera almohadilla. En los dos primeros se coloca transversalmente — apoyado sobre la membrana antedicha — el nervio aislado de una pata de rana, separada completamente del cuerpo del animal. En esta disposicion, siempre y cuando se separe la almohadilla transversal, se producirá una contraccion en la referida pata, y siempre que se vuelva á colocar sobre las almohadillas paralelas, se obtendrá asimismo otra contraccion. Este fenómeno depende simplemente de la oscilacion que experimenta en el nervio la corriente eléctrica ; la cual, cuando se abre el circuito aumenta de intensidad, porque se acumula en el nervio, y al cerrarse dicho circuito disminuye, porque se esparce por el arco conductor.

Este aparatito, como ya hemos indicado, nada nos dice relativamente á la intensidad, direccion ni duracion precisa de la corriente eléctrica del nervio; limitándose tan solo á darnos á conocer la existencia de esta corriente. Para los demas datos referentes á este punto, nos es preciso echar mano de otros instrumentos, conocidos en electro-fisiología con el nombre de *reóscopos físicos*.

Entre los principales reóscopos físicos se encuentran el *galvanómetro*, cuya aguja debe ser perfectamente astática, y cuyo hilo debe dar por lo menos de 20 á 30.000 vueltas, para que su sensibilidad no deje nada que desear: la *brújula de las tangentes* con la modificacion ideada por Wiedemann y el *electrómetro capilar* de Lippman.

Entre todos los galvanómetros preferimos el inventado por Du Bois-Reymond y conocido con el nombre de *Nerven multiplicator*, cuya aguja se hace astática á beneficio del procedimiento de Nobili. No describiremos este aparato, no sólo porque viene explicado en muchas obras de fisica, sino porque creemos ha de ser sustituido muy pronto en los laboratorios de fisiología por la brújula de que hemos hecho mencion, y que en breves palabras pasaremos á explicar.

Tambien se debe á Du Bois-Reymond el uso de la brújula en los laboratorios de fisiología. La brújula hace lo que no puede hacer el galvanómetro, pues nos sirve perfectamente para la evaluacion de las fuerzas electromotrices en los tejidos. Recordaremos que la *brújula*, considerada bajo un punto de vista físico, puede afectar cuatro disposiciones, á saber: de declinacion, de inclinacion, de las tangentes y de los senos. A nosotros únicamente nos interesa la brújula de las tangentes, la cual indica con toda precision, no sólo la direccion de las corrientes eléctricas, sino la intensidad que éstas afectan, pues siempre que se trata de desviaciones débiles, la desviacion experimentada por la aguja es proporcional á la tangente del

arco. Sabemos por física que cuando las desviaciones se hacen mucho mayores es preciso echar mano de la brújula de los senos, pues la acción directriz de una corriente es, para los grandes ángulos, proporcional al seno de la desviación. Pero en fisiología no se presenta este caso, por cuyo motivo no necesitamos de esta brújula.

Volviendo á la brújula de las tangentes, haremos notar que ofrece muchas ventajas comparada con la mayor parte de los aparatos de este género : con ella se pueden medir corrientes originadas en manantiales, cuyas resistencias sean muy distintas ; la aguja es completamente astática ; toma instantáneamente su posición de equilibrio, sin ofrecer la serie de oscilaciones que no pueden evitarse en la aguja galvanométrica. Es, pues, un aparato muy perfeccionado y cuyo uso en fisiología nunca será suficientemente encarecido.

Las principales partes de que se compone este aparato son las siguientes : un cilindro de cobre en cuyo interior se puede mover un imán de forma anular y de muy poco peso, presenta una corredera por medio de la cual, según convenga, se hacen avanzar las bobinas, provistas de hilos de diferentes grosores. Según se alejen más ó menos las bobinas, la sensibilidad queda disminuida ó aumentada. Cuando el imán se desplace induce corriente de sentido opuesto, y estas oscilaciones resultan disminuidas por el referido cilindro de cobre. Un espejo sumamente ligero y movable con el imán, está fijado por encima de éste, cuyo espejo sirve para reflejar la imagen de un foco luminoso, enviándola á una escala graduada que se encuentra á distancia de 0,50 metros. El centro del foco luminoso acabado de indicar se halla marcado por una sombra sumamente limpia, determinada por un hilo colocado verticalmente delante de la luz. Cada desviación del imán resulta de esta manera sumamente amplificadas. La observación es muy sencilla, pues el desplazamiento de la sombra sobre la es-

cala se puede observar á simple vista. Sin embargo, es preferible, bajo el concepto de la precision, hacer uso de un antejo dirigido al espejo, con el cual se observa perfectamente la imagen de la referida escala, pudiendo ésta iluminarse artificialmente ó por medio de la luz solar.

El aparato debe orientarse, de manera que el iman de forma anular esté en el meridiano magnético. La corredera de que antes hemos hablado y que sirve de sosten al aparato, está dirigida perpendicularmente á dicho meridiano. El espejo, así como el antejo, pueden tambien orientarse, segun convenga, con relacion al iman, y cuando la brújula no es atravesada por ninguna corriente, el cero de la escala debe verse en medio del antejo ; la desviacion de la imagen viene indicada por el número de la escala existente en el centro del antejo referido. En el caso de mirarse la sombra á simple vista, debe procurarse que puesta en el centro de la luz empleada, vaya á reflejar en dicho cero.

El iman, influido por las variaciones diurnas del magnetismo terrestre, se desplaza poco á poco, pero se corrige este pequeño defecto, mediante desplazamientos laterales de la barra d'Haüy, que llevan el instrumento al punto cero.

Ya hemos dicho más arriba que la brújula de las tangentes ofrece entre otras ventajas la de ser una aguja completamente astática y la de no dar lugar á las oscilaciones de la aguja galvanométrica. Para conseguir este resultado se fija una regla en la mesa sobre la que se apoya el instrumento, y á lo largo de esta regla se desliza un iman de gran potencia, de manera que tenga el polo boreal dirigido hácia el polo Sur de la tierra. Este iman ó barra d'Haüy, se aproxima por medio de tanteos á la brújula de las tangentes, hasta conseguir que el sistema sea completamente astático y que las referidas oscilaciones queden, como hemos dicho, enteramente suprimidas.

El *electrómetro capilar de Lippmann* es preferible, para los experimentos delicados, á la brújula de las tangentes á

consecuencia de su sensibilidad verdaderamente extraordinaria. Además, no sólo posee esta gran sensibilidad, sino que con él podemos medir perfectamente la tensión estática de la electricidad en un punto cualquiera del nervio. Si en vez de enlazar á un nervio, á un músculo ó á un tejido orgánico cualquiera los dos hilos del electrómetro, ponemos el uno en relación con el tejido y el otro en contacto con la tierra, la diferencia de tensión eléctrica entre aquél y ésta vendrá indicada por un desplazamiento de la columna de mercurio. La comprensión de este aparato no es difícil.

En un tubo de cristal estirado á la lámpara, de manera que su extremidad inferior venga á hacerse capilar, están contenidas dos columnas, una de mercurio y otra de agua acidulada. La capilaridad se opone á que el mercurio se derrame por la parte inferior. Dicho tubo lleno de mercurio, está sumergido en un vaso lleno de agua acidulada, la cual va ascendiendo en el interior del tubo capilar hasta ponerse en contacto con el mercurio. En el fondo del vaso existe una gota de mercurio. Si en estas condiciones tiende á pasar una corriente eléctrica por el indicado tubo de cristal, la forma capilar del mercurio cambia : el mercurio se desplaza en el interior del tubo en el mismo sentido de la corriente eléctrica. Por pequeñas que sean las variaciones de intensidad de la corriente eléctrica, la columna de mercurio se moverá, por ser como es tan extremadamente pequeña. En estas condiciones, por medio de un microscopio se examina el menisco de mercurio, ó sea el punto de contacto existente entre la citada columna de este metal y otra de agua acidulada ; ambas, como hemos dicho, contenidas en el tubo. Para que el aparato funcione bien, la corriente debe ser de pequeña intensidad, pues en caso contrario descompondría el agua, y como las corrientes nerviosas así como también las musculares, tienen una intensidad relativamente muy pequeña, el aparato funciona

con ellas perfectamente. La corriente dirigida al electrómetro viene á ser anulada por otra opuesta á ella y engendrada al nivel del referido disco de mercurio, de manera que el aparato no es atravesado por corriente alguna.

Electrodos. — No siempre en los delicados experimentos de electro-fisiología pueden servirnos como electrodos los dos extremos de los hilos de cobre, y aun en este caso, es conveniente darles una disposicion especial. Así, por ejemplo, en la mayoría de los casos cubriremos dichos extremos (ligeramente encorvados) hasta la misma punta, y obtendremos ventajas muchas veces con la sustitucion de los extremos de estos hilos de cobre por medio de hilos de platino.

Sin embargo, aun mediante las indicadas precauciones, los referidos electrodos no nos podrán servir para todos los experimentos, á consecuencia de la polarizacion de que son siempre susceptibles, toda vez que siempre que una corriente eléctrica pasa á traves de un conductor húmedo, determina la electrolisis del conductor, produciéndose una resistencia al paso de esta corriente porque en los polos se depositan los productos de descomposicion. De ahí se sigue que la corriente no puede permanecer constante. Además, los indicados productos vienen á constituir un nuevo par por su tendencia á combinarse otra vez, y en este par de nueva formacion la corriente va, por regla general, en sentido opuesto de la corriente primera. Esta polarizacion externa determina casi siempre una disminucion en la intensidad de la corriente total y de la fuerza electro-motriz. Ahora bien, no sólo los nervios, sino todos los tejidos, vienen á representar *conductores húmedos*, y la polarizacion indicada se hace sentir, no sólo en los dos electrodos, como hemos dicho, sino tambien en el interior del conductor cuando éste es húmedo y cuando no es homogéneo. Esta segunda polarizacion, conocida con el nombre de polarizacion interna, deberá, pues, presentarse forzosamente en

todos los tejidos por su doble carácter de conductores húmedos y heterogéneos. En la práctica, no obstante, podemos despreciar esta polarización interna, dada la pequeña intensidad de las corrientes originadas en los tejidos muscular y nervioso.

Para oponerse á los funestos efectos de la polarización externa, los fisiólogos se han dedicado á construir electrodos *impolarizables*, de los cuales se conocen dos formas diferentes; la de Bois-Reymond, modificada por Donders, y la de los conocidos con el nombre de *electrodos forrados*.

Los electrodos impolarizables de Du Bois-Reymond son muy sencillos: consisten en un tubo de cristal de ocho milímetros de diámetro y de una longitud que puede variar desde cinco centímetros, cuando se hace uso de la cámara húmeda, á doce, catorce, quince centímetros; una de sus extremidades permanece abierta y la otra se obtura mediante un tapon de kaolin, disuelto en una solución de sal comun á 0,75 por 100. Viértese encima de este tapon un poco de sulfato de zinc (algunas gotas) en solución saturada. Introdúcese en el tubo hasta que quede sumergido en la solución indicada, á 2 centímetros por encima del tapon, un hilo de zinc barnizado en toda su extensión, excepto en su extremidad, en la que debe estar amalgamado con un líquido compuesto de una mezcla de 15 partes de ácido clorhídrico y 75 de ácido nítrico, en el cual, á un calor moderado, se hacen disolver 4 partes de mercurio, añadiendo despues 20 partes de ácido clorhídrico; el líquido, finalmente, se diluye en un volumen de agua 10 veces mayor. El extremo del hilo de zinc que sale fuera del tubo se encorva por encima del borde del mismo; por último, va á un anillo de laton que se encuentra en la parte exterior del tubo de cristal, y es movable á lo largo de este tubo. En el mismo anillo se fija el hilo de cobre.

A las extremidades de los electrodos de Du Bois-Reymond se les puede dar diferentes formas. A veces conviene

que su extremidad sea aguda, otras que tenga el mismo diámetro del tubo, otras que esté cortada oblicuamente; el tapon puede terminar al nivel de la extremidad del tubo ó salir al exterior, etc. Siempre y cuando estos electrodos deban ponerse en contacto con los nervios, la extremidad debe estar cerrada y encorvada, dejando cerca de la punta una pequeña cavidad.

La aplicacion de estos electrodos no ofrece la menor dificultad ; sobre el tejido que se quiere estudiar se aplican las puntas de kaolin de los electrodos ; el hilo de zinc se enlaza al hilo metálico que forma parte de un circuito: el aparato está sostenido por un porta-electrodos, cuya disposicion varía. El hilo de zinc puede ser sustituido por una placa, amalgamada en su extremidad inferior y barnizada en el resto.

De esta disposicion resulta que el tejido sólo está relacionado *indirectamente* con el hilo de la placa de zinc, pues su contacto inmediato se verifica con el kaolin ; éste, á su vez, lo está con la solucion de sulfato de zinc, y esta última es la que comunica directamente con la placa ó el hilo amalgamados.

El electrodo *forrado* no es otra cosa que una lámina de zinc amalgamado, cubierto de una piel de camello impregnada de una solucion saturada de sulfato de zinc.

Cubre á esta envoltura una capa de una solucion salina de kaolin, pudiendo unirse, lo que á veces es conveniente, el tapon de kaolin con el tejido orgánico por medio de un hilo previamente mojado en una solucion de sal. El electrodo forrado sólo sirve para la cámara húmeda.

Reocordo. — Es indispensable muchas veces en los experimentos delicados que la intensidad de una corriente constante pueda variar á voluntad del operador. Por medio del reocordo no sólo conseguimos este resultado, sino tambien el de que la variacion de intensidad pueda obtenerse en una cantidad perfectamente determinada y de

antemano conocida. Se sabe que interponiendo un segundo circuito en el circuito de una pila, la corriente eléctrica se bifurca hácia el polo positivo, ó sea en el primer punto de insercion ; de manera que una de las corrientes pasa por el circuito derivado, al paso que la otra continúa por el circuito inicial. Hácia el polo negativo, ó sea en el segundo punto de insercion, se reconstituyen en una corriente única las dos corrientes elementales, cuya corriente única penetra en la pila por dicho polo negativo. Generalmente, en los reocordos que se usan en física, el circuito derivado está compuesto de un hilo de plata ó de cobre, cuyo diámetro y cuya longitud perfectamente calculados dan una resistencia al paso de la corriente conocida de antemano. Du Bois-Reymond, teniendo en cuenta la delicadeza exigida por los experimentos fisiológicos, ha construido un reocordo que nada deja que desear, y en el cual la intensidad de la corriente cambia de una manera gradual y sin la más pequeña sacudida.

Conmutador de Pohl. — Este aparato, como todos los de su género, sirve para cambiar la direccion de una corriente. A su gran sencillez reúne la ventaja de hacer pasar una corriente eléctrica desde un par de electrodos á otro par. Los dos hilos de una batería se fijan en dos pinzas ; las cápsulas llenas de mercurio que corresponden á estas pinzas se ponen en mutua comunicacion á beneficio de un mango formado en sus extremidades por gruesos hilos de cobre y en su centro por una sustancia mal conductora de la electricidad. Los hilos de cobre que forman las extremidades del mango son cruzados por un arco de este mismo metal en el punto en que penetran en el referido mango. Los arcos á su vez, cuando el mango se inclina, se sumergen cada uno en una cápsula. En otras dos pinzas van á fijarse los hilos de un par de electrodos, y, finalmente, en otras dos los de un segundo par. Las cápsulas indicadas están llenas de mercurio. Quitando los

hilos de comunicacion que enlazan entre sí diferentes cápsulas, una vez unidos á sus respectivas pinzas los dos hilos de la batería eléctrica, si se inclina el mango á derecha ó á izquierda, la corriente pasa á los hilos de unas ó de otras pinzas.

Palanca-llave de Du Bois-Reymond. — Es muy usada en los laboratorios de Fisiología, si bien haremos notar que para circuitos de débil resistencia es completamente inútil. En una tabla de cauchuc endurecido existe un prisma de laton, provisto de un mango aislador. Este prisma, por medio de un movimiento de báscula, puede establecer y romper alternativamente la comunicacion entre dos pinzas fijadas en la tabla de cauchuc. Además, este aparato puede funcionar intercalando el nervio y la palanca en la corriente. Colocado el nervio sobre los electrodos, se introducen en las pinzas los hilos de éstos, al mismo tiempo que los hilos de la pila. Cuando se baja la palanca, la corriente pasa por completo á través de la llave, sin que pase la más pequeña fraccion por el nervio, á causa de que el prisma de laton apenas ofrece resistencia alguna, al paso que, como ya sabemos, la resistencia que ofrecen los tejidos animales es muy grande. Al contrario, cuando abrimos la llave, la corriente atraviesa el nervio durante todo el tiempo en que la llave permanece abierta. La corriente se llama ascendente cuando el anodo ó polo positivo está situado en un punto del nervio más cercano al músculo que el catodo ó polo negativo; y se llama descendente en el caso contrario.

Hay algunos peces dotados de aparatos especiales para desarrollar y acumular la electricidad y hasta para producir descargas que tienen la mayor analogía con las de nuestros aparatos; pero es preciso no perder de vista que no es el sistema nervioso el encargado de desarrollarla ni de transmitirla. El aparato eléctrico del *torpedo* consiste en unas quinientas columnas ó prismas exágonos, colocados

á cada lado de su cuerpo, dirigidos perpendicularmente desde el dorso hácia el vientre, de modo que abrazan todo el espesor del animal en una extension de cuatro centímetros poco más ó menos. Cada prisma viene á ser un tubo estrechísimo, dividido en pequenísimas porciones por tabiques ó diafragmas y lleno de un líquido albuminoso. En la cara inferior de cada diafragma terminan ramificaciones nerviosas que tienen su origen en el llamado lóbulo eléctrico ó cuarto lóbulo cerebral del torpedo. En la anguila de Suriman — *gymnotus electricus* — el aparato eléctrico, situado en las partes laterales del cuerpo, ocupa unos sesenta centímetros de longitud y se compone tambien de prismas y diafragmas con espacios interdiafragmáticos algo mayores que en el torpedo. En estos animales, lo mismo que en el *mormyrus longipinnis*, en el *siluro*, etc., las descargas son voluntarias ; se emplean como medio de ataque ó de defensa, y el sistema nervioso relacionado con estos aparatos tiene por objeto, ademas de provocar estas descargas de la misma manera que produce las contracciones musculares, contribuir á que la electricidad desarrollada á consecuencia de los fenómenos químicos, se mantenga en los órganos eléctricos con sus dos flúidos separados y no se combine á medida que se forma, como sucede en los demas tejidos.

§ 109.

Excitantes funcionales de los nervios. — La actividad del nervio se despierta, lo mismo que la de los músculos, por medio de los excitantes, y estos pueden ser normales ó fisiológicos, mecánicos, químicos y físicos.

Los *excitantes fisiológicos* de los órganos centrales son la voluntad y la accion refleja de que nos ocuparemos más adelante, y los de los órganos de los sentidos, son los agentes del mundo exterior, como la luz, el sonido, el

calor, los olores, etc. Los primeros obran en los centros, los segundos en las extremidades terminales periféricas.

Los *excitantes mecánicos* son aquellos que cambian con cierta rapidez la forma del nervio, como la compresion, el magullamiento, etc. ; pero si su accion es persistente, destruyen al fin la excitabilidad nerviosa.

Graduando convenientemente la accion mecánica, puede ser conservada esta excitabilidad, en cuyo caso, puesto el nervio en relacion con un excitante nuevo, todavía responde con otra excitacion. La rápida sucesion de excitaciones mecánicas produce en los nervios motores una modificacion especial, caracterizada por un tétanos en los músculos por ellos enervados.

Para producir semejante tetanizacion, podemos emplear el *tétano-motor mecánico* ideado por Heidenham, cuyo aparato consiste simplemente en un martillo movido por una rueda dentada, destinado á percutir sobre un nervio que cambia de sitio paulatinamente, para presentar al martillo partes aun no fatigadas. A ejemplo de Dubois-Reymond, podemos hacer funcionar como tétano-motor una rueda dentada girando rápidamente sobre su eje. O tambien, á imitacion de Marey, podemos hacer servir de tétano-motor un simple diapason de 10 vibraciones por minuto.

Entre los *excitantes químicos* figuran las sustancias que modifican ó alteran la composicion de los nervios, como las disoluciones concentradas de los ácidos minerales, los álcalis fijos, las sales estípticas, el alcohol, el éter, la creosota, etc.

El modo de actuar de estos agentes es distinto, sin que sepamos muchas veces en qué consiste la especificidad de su accion ; algunos de ellos sólo obran robando al nervio cierta cantidad de agua, otros uniendo á su accion química una accion térmica. Así, por medio de deshidratan-

tes, como polvos de goma, de azúcar, de sales metálicas, de corrientes de aire seco, de glicerina, etc., obtenemos la excitacion de los nervios por simple desecacion ; por medio del ácido sulfúrico, obtenemos un doble efecto, en parte químico y en parte térmico, á causa de la elevacion de temperatura que se produce, etc. El amoniaco estimula los nervios sensitivos. La estricnina, el opio, etc., tambien son excitantes.

Los principales *excitantes físicos* son el calórico y la electricidad. El calórico excita los nervios motores de la rana mientras la temperatura no excede de unos 40°; pero si pasa de este límite, deja de obrar como agente excitador, y hasta destruye la excitabilidad nerviosa.

Una temperatura superior á 70° c. mata al nervio por coagulacion. Los estímulos de la categoría térmica presentan una especificidad de accion para los nervios táctiles.

Con respecto á la electricidad, produce efectos iguales que los excitantes mecánicos y químicos, de modo que ocasiona dolor cuando se aplica á los nervios sensitivos; contracciones musculares cuando obra sobre los nervios motores ; dolor y contracciones si se dirige su accion sobre los nervios mixtos, y sensacion de luz, de sonidos, de olores, etc., si la corriente atraviesa el nervio óptico, el acústico, el olfatorio, etc. A pesar de todo, la manera de obrar de la electricidad presenta algunas particularidades dignas de llamar la atencion, con tanto más motivo, cuanto que se les ha dado mayor importancia de la que en realidad les corresponde.

Por de pronto, se observa que los nervios son malos conductores de la electricidad : así es que, aun cuando las corrientes débiles desvían la aguja del galvanómetro si los conductores son metálicos, no producen este efecto si forma parte del círculo conductor una porcion de nervio, necesitándose en este caso que las corrientes sean mucho

más fuertes para que el galvanómetro señale su presencia. Comparando la conductibilidad del tejido nervioso con la de los demas de la economía, se ve que es igual á la de los tendones y muy inferior á la de los músculos ; si esta comparacion se hace con relacion á los conductores físicos, se observa que el nervio se halla, con corta diferencia, en la misma categoría que los cordones de hilo, de algodón ó de otra sustancia parecida, empapados en una disolucion de sal comun.

Las corrientes de la pila comunican á los nervios un estado eléctrico particular, llamado por Du Bois-Reymond *estado electro-tónico*, y como, segun se supone, no producen el mismo efecto cuando obran sobre un conductor físico cualquiera ó sobre los nervios que han perdido su excitabilidad, se atribuye este fenómeno á una *especialidad* en la manera de obrar de las corrientes eléctricas sobre los nervios vivos. Veamos en qué consiste este estado electro-tónico.

Si aplicamos los dos polos de una pila á dos puntos de un conductor físico, como, por ejemplo, un cordon empapado en agua salada, la corriente comunicada por la pila no pasa del espacio comprendido entre sus dos polos ; así es que, si ponemos en relacion los hilos de un galvanómetro con otros dos puntos del mismo cordon separados de los primeros, la aguja de este aparato no experimenta la menor desviacion.

Si despues de observado este hecho se repite el mismo experimento, con idénticas condiciones, pero sustituyendo el cordon empapado en agua con un tronco nervioso vivo, ó, lo que es igual, que no haya perdido su excitabilidad, la corriente eléctrica no se limita ya al espacio comprendido entre los polos, sino que atraviesa el nervio en toda su longitud, segun lo demuestra la instantánea desviacion que experimenta la aguja del galvanómetro. Pues bien ; á esta propiedad, que sólo poseen los nervios vivos, y de la

que, según asegura Du Bois-Reymond, no participa ningún otro tejido, es á la que se llama *fuerza electro-tónica*.

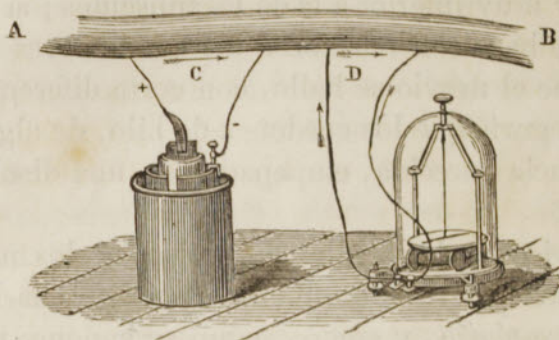


FIG. 83. — A, B, tronco nervioso puesto en relación con una pila y con un galvanómetro. C, D, dirección de la corriente que traspasa los límites comprendidos entre los polos y que indica el estado electro-tónico.

Por medio de la fuerza electro-tónica explica Du Bois-Reymond el fenómeno designado con el nombre de *contracción muscular inducida*, y el que se conoce con el de *contracción paradógica*. Consiste el primero en que, si un tronco nervioso, electro-tonizado, como hemos visto en el experimento anterior, se pone en contacto con el nervio de una pata galvanoscópica, entra ésta inmediatamente en contracción á consecuencia de la corriente que en ella se produce. Está reducido el segundo, á que cuando un nervio se divide en dos ramas que van á distribirse en músculos diferentes, basta que una de ellas adquiera el estado electro-tónico por medio de la pila, para que se comuniquen también á la otra; de manera que no sólo se contraen los músculos que están en relación con la rama directamente excitada por la corriente, sino también los que corresponden á la otra que no ha sufrido, al menos directamente, la menor excitación.

A pesar de la importancia de los trabajos de Du Bois-Reymond, se nos figura que ni el estado electro-tónico es una propiedad exclusiva de los nervios, ni se necesita su

electro-tonificacion para que puedan comprenderse fácilmente los fenómenos que acabamos de citar. Matteucci ha demostrado que enroscando un hilo sobre un alambre de platino hasta formar dos capas sobrepuestas que lo cubran por completo, y poniéndole en comunicacion con los polos de una pila, la corriente que ésta le comunica no sólo circula por el espacio comprendido entre los polos, sino que, *al igual de lo que sucede en los nervios*, se extiende por el resto del alambre hasta 50 ó 60 centímetros de distancia. Dado este hecho, exclusivamente físico, y en el que no interviene para nada la vitalidad, no debe sorprendernos que la corriente de la pila aplicada á un nervio lo recorra en un espacio más ó menos considerable, ni que esta corriente se transmita á otra rama del mismo nervio, como en los casos de contraccion paradógica, ó á otro nervio distinto que esté en comunicacion con el primero, como al de la pata galvanoscópica en el caso de contraccion muscular inducida, porque en último resultado, no se ve más que un fenómeno de conductibilidad eléctrica; y precisamente porque los nervios no son buenos conductores, es por lo que se necesita que la corriente sea bastante fuerte, sin cuya circunstancia no tienen lugar los hechos que acabamos de referir.

Se ha considerado tambien como una *particularidad* de la excitacion eléctrica el que el dolor ó la contraccion que provoca, segun la clase de nervios á que se aplica, se manifieste sólo en el momento en que la corriente empieza ó en el en que termina, y no durante todo el tiempo de su aplicacion; pero como la energía de la excitacion es proporcional al grado de tension eléctrica, y como esta tension es mucho mayor al cerrar ó al abrir el circuito que en el período en que la corriente es continua, durante el cual desaparece casi por completo, no es de extrañar que en este período sus efectos sean casi nulos. Así se observa que si la pila tiene una fuerte tension, por estar compuesta

de gran número de pares, provoca el dolor ó la contraccion, no sólo al establecerse ó al interrumpirse la corriente, sino aun despues de estar establecida.

De una causa análoga depende otra llamada *particularidad*, y que indudablemente está comprendida tambien en las reglas comunes de los efectos fisicos. Cuando los polos de la pila tocan los dos extremos del diámetro transversal de un nervio, la corriente eléctrica no despierta su excitabilidad motriz, y, sin embargo, los efectos de la excitacion se manifiestan en seguida con sólo colocar uno de los polos á mayor altura que el otro, para que de este modo la corriente sea oblicua ó longitudinal, en vez de transversal. Esto depende de que la tension eléctrica disminuye á medida que aumenta el diámetro del conductor interpuesto, y como cuando la electricidad recorre el nervio longitudinalmente, el diámetro de este conductor, representado por la seccion transversal del nervio, es mucho menor que cuando lo recorre en sentido horizontal, porque en este último caso el diámetro del conductor está representado por la seccion longitudinal del mismo nervio, es natural que las corrientes horizontales no produzcan casi ningun efecto, puesto que pierden su tension al atravesar el conductor nervioso por la parte que representa mayor diámetro.

Si se tiene en cuenta, por otra parte, segun resulta de los experimentos de M. Chaveau, confirmados tambien por Baierlacher y Fick, que el polo negativo ejerce una influencia excitadora mucho más enérgica que el positivo — probablemente porque los productos de la accion electrolítica son alcalinos cerca del primero y ácidos en la proximidad del segundo, y porque las disoluciones alcalinas aumentan la excitabilidad de los nervios, mientras que las ácidas la disminuyen — se comprenderán otros fenómenos, que sin esta circunstancia hubieran sido inexplicables. Así, por ejemplo, si un nervio fresco manifiesta su accion

excito-motora sobre los músculos en que se distribuye, lo mismo si se emplea una corriente ascendente que descendente, consiste en que siendo igualmente excitable en todos los puntos de su extension el *nervio fresco*, cualquiera que sea el sitio á que corresponda el polo negativo le estimula lo bastante para que los efectos de la excitacion sean perceptibles.

Si un nervio que no está completamente fresco sólo manifiesta su accion excito-motriz cuando la corriente es descendente, consiste en que la excitabilidad de los nervios, *no siendo frescos*, disminuye del centro á la periferia, y como en las corrientes descendentes el polo negativo corresponde á la periferia del nervio, que es excitable todavía, siente el estímulo, mientras que en la corriente ascendente no lo puede sentir porque el polo negativo corresponde á un punto en que el nervio ha perdido ya su excitabilidad.

Un nervio magullado con unas pinzas en un punto comprendido entre los dos polos de la pila no pierde su conductibilidad para la corriente, pero se interrumpe su accion excito-motora cuando se le estimula por encima del punto magullado; así es que hay contraccion si la corriente es descendente, es decir, si el polo negativo está debajo del magullamiento, y no la hay en el caso contrario.

Una de las circunstancias que más contribuyen á que varie el efecto producido por la excitacion eléctrica, es la mayor ó menor fuerza de la corriente, y aunque es muy difícil, ó tal vez imposible, comprender en una regla general los diferentes resultados que por este medio se pueden obtener, Pflüger ha intentado condensar los referentes á la excitacion motriz en una fórmula, á la que da el nombre de *ley de contraccion*, representada en el siguiente cuadro:

FUERZA de la corriente.	CORRIENTE ASCENDENTE.	CORRIENTE descendente.
Corriente fuerte....	{ Al establecer el circuito, reposo. Al interrumpirle, con- traccion.	{ Al establecer el circuito, contraccion. Al interrumpirle, re- poso.
Corriente regular...	{ Al establecer el circuito, contraccion. Al interrumpirle, con- traccion.	{ Al establecer el circuito, contraccion. Al interrumpirle, con- traccion.
Corriente débil.....	{ Al establecer el circuito, contraccion. Al interrumpirle, re- poso.	{ Al establecer el circuito, contraccion. Al interrumpirle, re- poso.

Es casi inútil advertir que, aunque en las indicaciones que preceden nos hemos referido á las pilas de corriente continua, pueden emplearse tambien como excitantes del sistema nervioso, lo mismo la electricidad estática obtenida con la máquina eléctrica, la botella de Leyden ú otros condensadores, que las corrientes intermitentes ó las de induccion. Los efectos son análogos en todos estos casos, y para el examen de las diferencias de detalle que se observan en su accion, segun cuáles sean los aparatos empleados, los órganos ó tejidos á que se aplican, el mayor ó menor tiempo que funcionan y las demas condiciones que cambian ó modifican su influencia, recomendamos el estudio de las obras especiales.

§ 110.

Clasificacion de las fibras nerviosas con arreglo á las funciones que desempeñan. — Los nervios puestos en actividad por la accion de los excitantes entran en ejercicio para desempeñar las funciones de que se hallan encar-