

y se disponen en haces. Luego experimentan divisiones mitóticas, con lo que aumenta la masa muscular. Por último, tiene lugar una diferenciación hasta que las células adoptan la configuración sincitial típica de los músculos estriados. Los músculos derivados de los miotomos se denominan *músculos somáticos* o *parietales*, que a su vez se dividen en *músculos axiales* y *apendiculares*, según están confinados en la pared del cuerpo o asociados con las extremidades. En los peces, los músculos axiales son de mayor importancia que los apendiculares, puesto que su contracción es responsable de la locomoción de estos animales. En cambio, en los tetrápodos, cuya locomoción depende principalmente de los movimientos de las extremidades, los músculos apendiculares han adquirido mayor importancia, mientras que los axiales, aunque funcionales, tienen un papel secundario.

*Terminología.* Los músculos lisos o involuntarios se disponen en capas continuas, como en las paredes del tubo digestivo. No se disecan con facilidad. Los músculos voluntarios, en cambio, forman masas independientes que se separan fácilmente unas de otras. Los extremos del músculo voluntario se insertan en alguna estructura del cuerpo, pero su parte media, o *vientre*, suele ser libre. Aunque la mayoría de los músculos se insertan en partes esqueléticas, óseas o cartilaginosas, esto no ocurre siempre. En general, uno de los extremos se une a la parte de menor movilidad. El primero se denomina *origen*, y el segundo *inserción*. En la mayoría de los casos la unión se realiza por medio de *tendones*, que son cordones fibrosos de tejido conjuntivo, resistentes y sin elasticidad. A los tendones anchos, planos y en forma de cinta se les denomina *aponeurosis*. En ciertas regiones puede desarrollarse un pequeño hueso en el interior de un tendón, en el punto donde este último se desliza sobre una superficie ósea. Estos huesos se llaman *huesos sesamoideos*:

La *rótula* pertenece a este tipo de huesos.

Las *fascias* son láminas o bandas de tejido conjuntivo que cubren a los músculos, grupos de músculos y al conjunto de la musculatura del organismo. Tienden a unir partes del cuerpo y en algunos casos también sirven como puntos de origen y de inserción del músculo.

Los músculos suelen estar en grupos de dos, cada uno actúa de manera opuesta al otro. Estos grupos se denominan atendiendo a su acción, así:

*Flexores* son los que tienden a doblar una extremidad, o una parte de ella, sobre la otra.

*Extensores* son los que tienden a extender un miembro o sus partes.

Los *abductores* alejan una parte de la línea media del cuerpo o de un miembro vecino. Los abductores de una extremidad hacen oscilar el miembro, alejándolo del eje longitudinal del cuerpo; los abductores de los dedos hacen que éstos se muevan alejándose del eje longitudinal de la extremidad a que pertenecen.

*Adductores* son los que mueven una parte acercándola a la línea media o hacia un miembro vecino. Los adductores de una extremidad la mueven acercándola al eje longitudinal del cuerpo; los adductores de los dedos los mueven acercándolos al eje longitudinal medio de la extremidad.

Los *rotatores* son los músculos que hacen girar una parte sobre su eje. Algunos rotatores se denominan *pronadores* cuando, como en el caso del brazo, pueden girar la palma de la mano hacia atrás o abajo. Otros, llamados *supinadores*, sirven para girar la palma de la mano hacia delante y arriba.

Los *elevadores* hacen subir una parte, como al cerrar la boca por elevación de la mandíbula inferior.

*Depresores* son los que bajan o hacen descender una parte, como el movimiento de la mandíbula inferior, al abrir la boca

Los *constrictores* constriñen distintas partes o contraen una parte. Cuando el constrictor rodea una abertura, como la boca, píloro o ano, se denomina *esfínter*.

#### MUSCULATURA PARIETAL.

La musculatura parietal, llamada también voluntaria o estriada, de los cordados se compone fundamentalmente de una serie lineal de miotomos, que se extiende desde el extremo anterior al posterior. Cada miotomo se encuentra frente al punto de articulación de dos vértebras adyacentes y está inervado por fibras motoras de un nervio espinal que sale del tubo neural a través de un agujero intervertebral. En anatomía comparada ha habido mucha especulación acerca de si la cabeza de los cordados es una estructura metamérica. En general, se admite que algunos músculos de la cabeza, como ocurre con los del tronco, son fundamentalmente metaméricos y están inervados por nervios craneales específicos. En los vertebrados superiores el metamerismo ha quedado enmascarado a través de los cambios evolutivos, y por tanto, no es fácil reconocer homologías entre los músculos de los diversos vertebrados. En muchos casos se denominan los músculos con términos idénticos a los empleados en anatomía humana, basándose en que ocupan posiciones similares, pero pueden no ser homólogos a los que en el hombre tienen nombres similares. Uno de los criterios más acertados para determinar homologías entre los

músculos es la inervación de los mismos, aunque esto no siempre es infalible. Pero en la mayoría de los casos, a pesar de los profundos cambios evolutivos, las inervaciones han permanecido relativamente constantes. La identificación y recorrido de las delgadas ramificaciones nerviosas es muy difícil, y por esta razón la homología del músculo es de los problemas más complejos. Aquí sólo se tratara de algunos de los aspectos más generales de esta cuestión.

#### 4-6 TEJIDO NERVIOSO.

En un protozoario, la misma célula recibe las sensaciones y responde a ellas. En los metazoarios, tiende a aparecer, en grado cada vez mayor, diferenciación entre células especializadas en recibir sensaciones (*receptores*) y otras que realizan la respuesta apropiada (*efectores*). En las formas inferiores, las relaciones entre estos dos tipos de células pueden ser relativamente simples. Las células receptoras, mediante actividades físicas y químicas, pueden producir respuestas de las células vecinas. Aun en los vertebrados, se conserva este tipo primitivo de estimulación en el caso de la circulación de hormonas. Pero en casi todos los metazoarios hay un medio más directo y específico para transmitir estímulos: sistema nervioso.

En los protozoarios primitivos, por ejemplo los celentéreos, este sistema puede ser simplemente una red difusa de células y fibras diseminadas en un tejido. Pero en la mayor parte de animales de cierto grado de complejidad, el sistema nervioso se encuentra más organizado, y posee centros y troncos nerviosos en donde los impulsos pasan de unas a otras fibras. En casi todos los grupos aparece un centro dominante (algún tipo de "cerebro"). En los

vertebrados, el cerebro tiene posición anterior, cerca de los principales órganos de los sentidos, y se extiende hacia atrás por todo el cuerpo un cordón nervioso hueco dorsal, único, la médula espinal. El cerebro y la médula espinal forman el *sistema nervioso central*. De ellos salen muchos pares de nervios en cuyo trayecto hay *ganglios* (acúmulos de células nerviosas); estos nervios y ganglios constituyen el *sistema nervioso periférico*. Hemos visto que embriológicamente, el tejido nervioso tenía origen ectodérmico -proviene principalmente del neuroectodermo del tubo neural y de las crestas neurales, con adiciones originadas en placodas ectodérmicas cercanas.

#### ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

*La neurona*. El sistema nervioso contiene muchísimos cuerpos celulares, pero la mayor parte de su "masa" corresponde a haces de fibras delgadas y largas. Se pensó en un tiempo que las fibras y cuerpos celulares eran independientes; pero pronto se vio que no era así, y que tales fibras son siempre prolongaciones de las células, y no estructuras independientes. Las unidades básicas del sistema nervioso son las *neuronas*. Cada una está formada por un cuerpo celular y sus prolongaciones de longitud variable.

Casi todos los cuerpos celulares de las neuronas están dentro del sistema nervioso central. A menudo tienen forma de estrella, por la presencia de múltiples prolongaciones; con tinciones especiales, pueden verse al microscopio varias estructuras características en el protoplasma. Las principales son los *cuerpos de Nissl*, que contienen grandes cantidades del ácido nucleico RNA; esto indica que el cuerpo celular es la "planta de fabricación" para toda la neurona, y que las sustancias que se for-

man en él fluyen al axón y a las demás prolongaciones. En el adulto existen muy pocas pruebas de división celular de las neuronas, lo que indica (y esto es exclusivo del sistema nervioso) que en el momento del nacimiento o la salida del huevo, el animal posee ya todas las células nerviosas que le corresponden. La destrucción de una neurona por enfermedad o lesión representa pérdida irreparable (aunque las prolongaciones de la misma pueden regenerar).

*Fibras nerviosas*. Del cuerpo de la neurona parten prolongaciones delgadas cuya distribución y longitud varían mucho. Se suele considerar neurona típica aquella que inerva a un músculo estriado. En estas neuronas motoras, existen muchas prolongaciones cortas, delgadas, ramificadas, que llevan los impulsos hacia el cuerpo celular; se llaman *dendritas* por su aspecto "de árbol". Hay solo un axón, prolongación relativamente gruesa y larga, que puede medir varios metros en los animales grandes, y que lleva los impulsos de la región del cuerpo celular hacia la periferia. Otro tipo común es el de las neuronas aferentes que llevan estímulos sensitivos hacia adentro, al interior del sistema nervioso central; en este caso, la prolongación larga que va del receptor al cuerpo celular, cerca de la médula, así como otra prolongación larga que penetra a dicha médula, tienen la misma estructura que el axón de la neurona motora. Las neuronas motoras pueden considerarse *monopolares*, y las neuronas sensitivas típicas *bipolares* (pueden existir además en el sistema nervioso central neuronas *multipolares*).

Funcionalmente, la parte más importante de una fibra nerviosa es su estructura central, llamada *cilindroeje*; es un filamento de protoplasma que se continúa con el del cuerpo celular. En preparaciones no teñidas, tiene aspecto homogéneo; sin embargo, con tinciones adecuadas o utilizando el micros-

copio electrónico, pueden verse en su interior muchísimas *neurofibrillas* longitudinales delgadísimas. La fibra nerviosa está cubierta por una vaina muy delgada, que le es propia. Habitualmente existen otras cubiertas. Salvo en los ciclóstomos, todas las fibras de cierto tamaño, centrales o periféricas, van cubiertas de una *vaina de mielina* (una sustancia grasa). Cuando la vaina está bien formada, da a las fibras aspecto brillante y lustroso. En ciertos casos (por ejemplo en las fibras posganglionares del sistema autónomo) la vaina es muy delgada, o una sola vaina puede cubrir varias fibras pequeñas. En tales circunstancias, no suele verse la vaina y se dice que no la hay (lo cual no es cierto). En el caso de fibras situadas dentro de la médula espinal o en el cerebro, se encuentra una vaina formada por elementos celulares adyacentes de soporte. En las fibras periféricas, la vaina está formada por *células en vaina* especiales (*células de Schwann*) que se enrollan alrededor de segmentos de cilindroeje en una forma que recuerda a una "hojuela" enrollada o un "taco" (salvo que en este caso las capas formadas son muchísimas, y muy delgadas). En los intervalos entre los territorios correspondientes a dos células de Schwann sucesivas, la vaina de mielina de las fibras periféricas se interrumpe, formándose un *nodo* o *nódulo de Ranvier*. En las fibras situadas fuera del sistema nervioso central, existe otra cubierta continua, formada por una membrana resistente y poco elástica, el *neurilema*; también es formada por las células de Schwann.

Cuando se corta una fibra, la porción distal en relación al corte degenera, y la región proximal y el cuerpo celular, pueden mostrar signos de lesión. Con frecuencia las fibras periféricas se regeneran a partir del muñón que sigue unido al cuerpo celular; al parecer, les ayuda a encontrar su trayecto primitivo la persistencia de la vaina que rodeaba al cilindroeje antes de ocurrir la lesión. La sección experimental de haces de fibras en el ce

rebro o la médula puede ayudar (por tinción diferencial de fibras de degeneración) a la difícil tarea de establecer el complicado "alambrado" del sistema nervioso.

Por analogía, se tiende a comparar la transmisión nerviosa a un impulso eléctrico; puede demostrarse que cuando un impulso nervioso se desplaza a lo largo de una fibra se produce un cambio momentáneo de potencial eléctrico sobre la superficie de la fibra, que se desplaza a lo largo de la membrana una "onda de permeabilidad". Simultáneamente se producen en el cilindroeje cambios metabólicos muy rápidos, análogos a los que acompañan a la contracción muscular y que permiten la liberación instantánea de energía. Sin embargo, aunque sea muy rápido el impulso nervioso, no es posible compararlo con la electricidad bajo este punto de vista. Aun en las fibras más rápidas del mamífero, la velocidad solo es de unos 100 metros por segundo; en los grupos inferiores, suele ser muy inferior. Es evidente que en un animal grande (por ejemplo el elefante) el intervalo entre la recepción del estímulo y la reacción, aun por vía del reflejo más simple, hace de la coordinación una tarea muy difícil.

Conviene que señalemos rápidamente las principales características de los impulsos nerviosos. El impulso es anónimo e inespecífico. La naturaleza de la sensación que "siente" el cerebro depende de los centros que la reciben, no de diferencias en el tipo de impulso recibido; si pudiéramos modificar estas "conexiones", los impulsos nerviosos de la nariz, por ejemplo, darían una sensación de ruido al llegar al centro auditivo. Una fibra nerviosa es perfectamente capaz de transmitir un impulso en ambas direcciones. La transmisión unidireccional normal se debe a la estructura de las uniones entre las fibras; en las neuronas existe una "polaridad" anatómica. Igual que para la contracción de la fibra muscular, el impulso nervioso es un fenómeno

"todo o nada". Sin embargo, puede variar la "fuerza" global de los impulsos sobre los nervios. Puede haber diferencias en el número de fibras estimuladas; además, los impulsos no suelen presentarse aisladamente, y una serie rápida de impulsos puede (como vimos antes) tener efecto acumulativo sobre, digamos, una fibra muscular.

*La sinapsis.* La distancia total entre el receptor sensorial y un impulso inicial y el músculo o la glándula estimulada, nunca es cubierta por una sola neurona; la acción tiene lugar a través de una cadena de neuronas, cuando menos dos, y en general muchas más. El punto de contacto entre neuronas sucesivas se llama *sinapsis*. Típicamente, el extremo de un axón se divide en finas fibrillas que se acercan mucho a las dendritas o al cuerpo celular de la neurona siguiente, pero sin hacer contacto real. El estudio de la transmisión en el tiempo muestra que se requiere un intervalo fijo, una pequeña fricción de segundo para "brincar" el espacio sináptico. Existen varias teorías acerca de cómo se hace este brinco; unos piensan que se trata de un fenómeno eléctrico, mediante una "chispa"; la mayor parte de los autores en la actualidad opinan que se trata de una transmisión química; las fibrillas liberan pequeñas cantidades de una sustancia (generalmente acetilcolina) que estimula la fibra siguiente. En ciertos casos de transmisión periférica, se ha demostrado con toda seguridad la liberación de tales sustancias químicas (*neurosecreciones*); en cuanto al sistema nervioso central, las cosas todavía no están muy claras.



Fig. 1. Músculo liso.

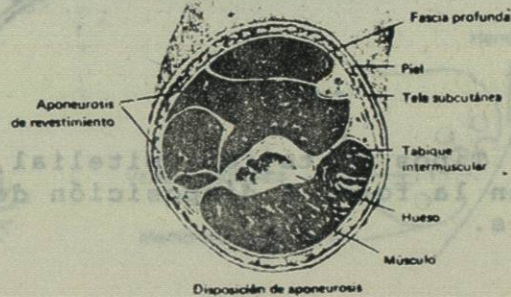
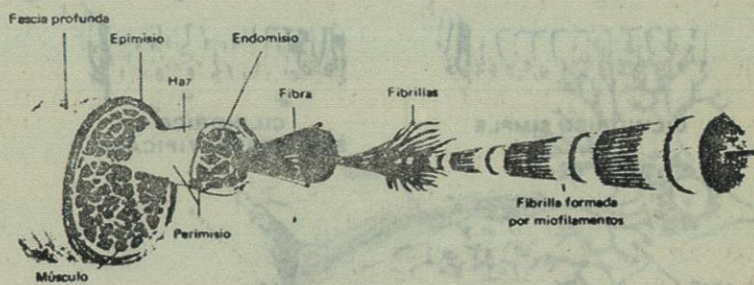


Fig. 2.

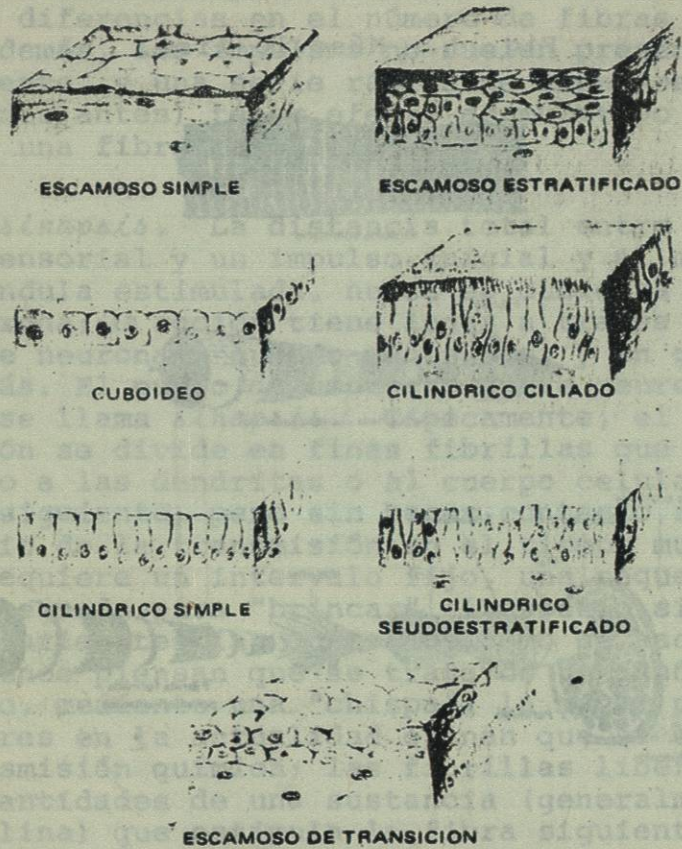


Fig. 3. Tipos de tejido epitelial, clasificados según la forma y disposición de las capas celulares.

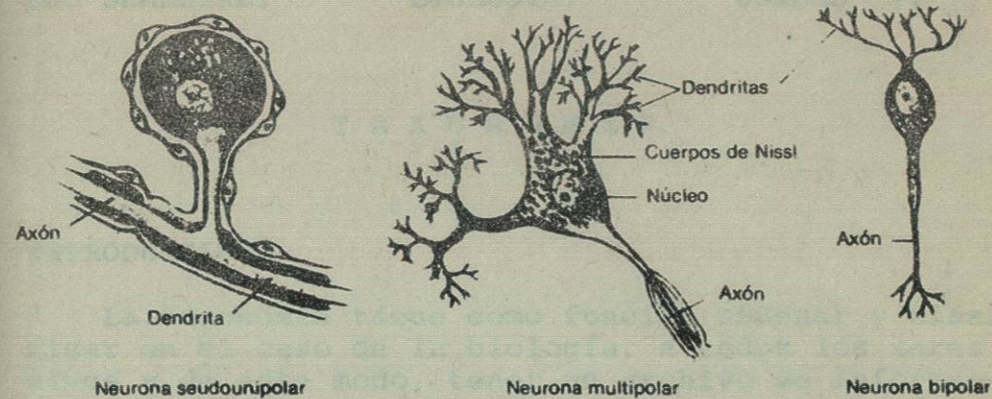


Fig. 4. Tipos de neuronas.

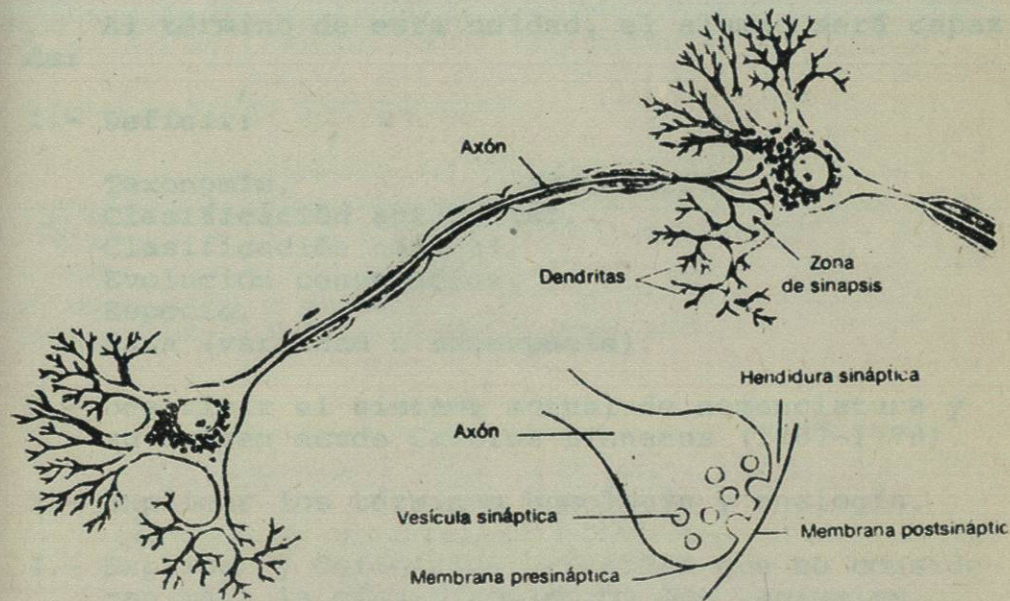


Fig. 5. Sinapsis.