El sistema nervioso

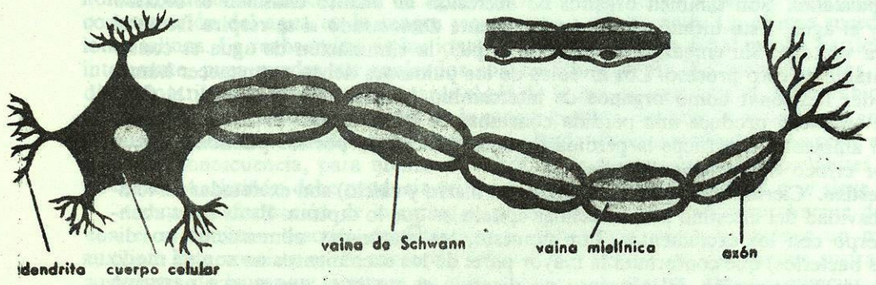
Las vías nerviosas

El sistema nervioso de los mamíferos consta de dos partes, el *sistema nervioso central (s.n.c.)* y el *sistema nervioso autónomo (s.n.a.)*. El encéfalo y la medula espinal albergan los centros nerviosos de ambos sistemas. El sistema nervioso central regula principalmente las actividades voluntarias y conscientes y el sistema nervioso autónomo, las inconscientes e involuntarias. Pero ambos sistemas están en estrecha interdependencia y, según veremos, forman un complejo funcional unificado, íntimamente coordinado.

Independientemente de que la actividad reflejada se realice en uno u otro de ambos sistemas, el material a cuyo cargo corre el trabajo interno de todo sistema nervioso es siempre el mismo: células nerviosas que producen y transmiten impulsos nerviosos. A ellas dedicaremos primeramente nuestra atención.

CELULAS NERVIOSAS

Una célula nerviosa, o *neurona*, consta típicamente de un cuerpo celular en forma de estrella, que contiene núcleo, y una o más prolongaciones filamentosas, denominadas *fibras nerviosas*, que se alejan del cuerpo celular (fig. 19.1). Los impulsos nerviosos se originan normalmente en el extremo de una de las fibras, viajan a través del cuerpo celular atravesándolo y salen después del cuerpo celular a través de una de sus fibras. Las fibras nerviosas por las cuales viajan los impulsos *hacia* el cuerpo celular, se denominan *dendritas;* mientras que las que conducen los impulsos que se *alejan* del cuerpo



celular reciben el nombre de *axones*. Una neurona posee característicamente un solo axón pero, en cambio, puede tener una o varias dendritas. En general, las neuronas son células relativamente grandes. Las dendritas y los axones pueden llegar a medir hasta un metro o más, pudiendo también ser relativamente cortas.

Las fibras nerviosas largas, sin sus centros celulares, están envueltas por una o dos vainas. La mayoría de las fibras largas del sistema nervioso central están rodeadas directamente por una capa de sustancia grasa denominada *vaina de mielina*. Esta vaina está a su vez envuelta por la denominada *vaina de Schwann* constituida por una sola capa de células delgadas y planas. En muchas fibras nerviosas del sistema nervioso autónomo, únicamente una vaina de Schwann rodea al axón, mientras que las vainas de mielina están ausentes.

Las vainas de mielina incrementan probablemente la velocidad de transmisión del impulso nervioso. Puede demostrarse cómo las fibras mielínicas del sistema nervioso central son capaces de conducir estímulos a velocidades de unos cien metros por segundo, mientras que las fibras amielínicas del sistema nervioso autónomo los conducen, cuando más, aproximadamente a unos veinticinco metros por segundo. Se ha sugerido que el efecto acelerador de la capa mielínica grasa depende de una acción aislante; la envuelta mielínica sería respecto a la fibra nerviosa lo que la envoltura de caucho es para un alambre metálico conductor de la electricidad.

Las neuronas individuales están dispuestas unas a continuación de otras formando varios trayectos nerviosos. El axón de una neurona conecta funcionalmente con una dendrita de la neurona siguiente, pero nunca existe entre ellas una conexión estructural. Las fibras terminales están muy próximas unas a otras, pero permanecen separadas por una distancia microscópica, denominada *sinapsis*. Pronto veremos cómo los impulsos nerviosos circulan a través de dichas sinapsis.

CAPILLA ALFONSINA

27-1 LOS TRES COMPONENTES DE LA COORDINACION NERVIOSA

La capacidad de un organismo de responder a los cambios que ocurren en el ambiente requiere la presencia de tres componentes diferentes. En primer lugar debe haber un **receptor** del estímulo. Esto es, una estructura capaz de captar un cierto tipo de cambio en el ambiente y de dar origen a una señal, o impulso nervioso, en la célula nerviosa a la cual se halla unido. Nuestros órganos de los sentidos son receptores de estímulos. Ellos nos capacitan para captar estímulos tales como la luz (el ojo), sonido (los oídos), sustancias químicas (los receptores del olor en la nariz).

El segundo componente de la irritabilidad y coordinación nerviosa consiste de los **conductores** del impulso, es decir, los nervios propiammente dichos. Los nervios están compuestos de haces de fibras conductoras, de la misma manera como el cable de un teléfono está hecho de haces de hilos de alambre. Estas fibras son prolongaciones considerables de células especiales que reciben el nombre de neuronas. Las fibras de dos clases de neuronas conforman la mayoría de los nervios. Las neuronas **sensoriales** transmiten impulsos desde el receptor del estímulo hacia el sistema nervioso central, es decir, el encéfalo y la médula espinal. Las neuronas **motores** transmiten los impulsos del sistema nervioso central hacia la parte del cuerpo que habrá de entrar en acción.

En unos pocos casos las neuronas sensoriales pueden transmitir sus impulsos directamente a las neuronas motores. La conjunción ocurre en el sitema nervioso central. La mayoría de las veces, sin embargo, el impulso procedente de las neuronas sensoriales atraviesa una o muchas neuronas **asociativas** antes de alcanzar la neurona motora. El sistema nervioso central se compone de millones de estas neuronas asociativas interconectadas. Su ordenación compleja proporciona un número virtualmente ilimitado de rutas por las cuales pueden ir los impulsos nerviosos a través del sistema nervioso central. Esto, a la vez, posibilita una gran variedad de acciones complejas, las cuales pueden ser ejecutadas de manera apropiadamente coordinada. Si se nos permite comparar los nervios con los cables del servicio telefónico, el sistema nervioso central podría compararse con los tableros conmutadores para intercambio de líneas.

El tercer componente de la coordinación nerviosa son los **efectores**; es decir, las estructuras que llevan a efecto alguna acción en respuesta a impulsos que les llegan a través de las neuronas motoras. Los efectores más importantes en los humanos son los músculos y las glándulas (tanto exocrinas como endocrinas).

En este capítulo examinaremos los distintos tipos de receptores de estímulos. Algunos de ellos captan estímulos que se originan dentro del cuerpo. A menudo, aunque no siempre, los impulsos nerviosos generados en los receptores por estos impulsos no son percibidos por el encéfalo y convertidos en sensaciones conscientes. Otros receptores captan estímulos en el ambiente externo. Por lo general, estos estímulos dan origen a sensaciones conscientes. Es importante notar que las sensaciones existen solamente en el encéfalo y no en el órgano que capta el estímulo. Bajo condiciones de anestesia general no existen sensaciones. No obstante, los estímulos siguen siendo captados y los impulsos nerviosos siguen siendo enviados al sistema nervioso central. Pero el encéfalo es incapaz de asignar una interpretación a esos impulsos; por consiguiente, no ocurren sensaciones. Por otra parte, una persona cuya pierna ha sido amputada, todavía puede sentir dolor («dolor fantasma») en la pierna faltante. En este caso restos de las neuronas sensoriales del muñón continúan enviando impulsos al encéfalo. Unicamente el encéfalo puede interpretar esos impulsos y darles el significado de dolor en la estructura ahora faltante.

La mayoría de los animales poseen receptores de energía radiante (**fotorreceptores**), de fuerzas mecánicas (**mecanorreceptores**) y de sustancias químicas (**quimiorreceptores**).

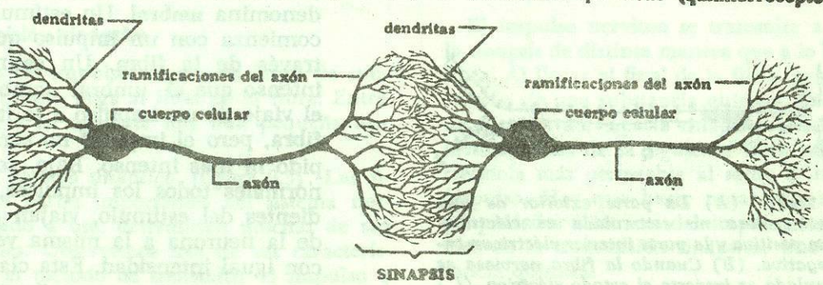


Fig. 23-10. *Parte superior: Trace la vía de un impulso a través de la sinapsis. ¿En qué*

¿Cómo viaja el impulso nervioso a través de la célula nerviosa?

Hermann, un fisiólogo alemán, sugirió hace aproximadamente 90 años, que un impulso nervioso viaja a lo largo de un nervio en una serie de etapas. Muchos experimentos con la fibra nerviosa aislada han demostrado que estas etapas son de naturaleza eléctrica y química. Un estímulo en el extremo de una fibra nerviosa inicia un proceso de cambios químicos y eléctricos que viajan como una onda a lo largo de la fibra. Esta onda de cambios se denomina *impulso nervioso*. Las reacciones químicas del impulso nervioso en cualquier segmento dado de una fibra consumen oxígeno y requieren energía. Además, las reacciones producen bióxido de carbono y un aumento en temperatura, ya que en las células nerviosas se está realizando respiración celular.

Los cambios eléctricos acompañan a los cambios químicos. La actividad eléctrica que acompaña al impulso nervioso a lo largo de una fibra ha sido ampliamente estudiada. Los experimentos han demostrado que la parte exterior de una fibra nerviosa no estimulada es eléctricamente positiva, mientras que la parte interior es negativa. (Ver la Fig. 23-11 A.) La diferencia en carga eléctrica proviene del transporte activo de iones cargados por la membrana de la célula nerviosa.

Cuando se estimulan las dendritas de una neurona, los cambios eléctricos indican el comienzo de un impulso nervioso. (Ver la Fig. 23-11 B). La parte interior del extremo estimulado se hace positiva y la parte exterior se hace negativa. Entonces el mismo impulso nervioso inicia un cambio similar en el próximo segmento pequeño. Cada segmento a lo largo de la fibra es estimulado por un impulso que viaja desde el segmento anterior. El impulso se mueve a todo lo largo de la fibra nerviosa como una onda de cambios químicos y eléctricos locales. Las fibras nerviosas necesitan tiempo para "recobrarse" antes que puedan recibir un nuevo estímulo. Después que el impulso ha pasado a través de un segmento de fibra nerviosa, el segmento debe volver a su estado original. (Ver la Fig. 23-11 C.) Si se da un segundo estímulo inmediatamente después del primero, la fibra nerviosa no responderá. Sin embargo, ciertas fibras nerviosas se recuperan en un periodo corto de tiempo. Por ejemplo, algunas fibras se recobran en una milésima de segundo. Después que la fibra se ha recobrado está lista para conducir un nuevo impulso. (Ver la Fig. 23-11 D.)

Una fibra nerviosa no transmitirá un impulso a menos que el estímulo aplicado a ella sea por lo menos de un mínimo de intensidad. Este mínimo se denomina umbral. Un estímulo umbral comienza con un impulso que viaja a través de la fibra. Un estímulo más intenso que el umbral también causa el viaje de un impulso a lo largo de la fibra, pero el impulso no será más rápido ni más intenso. Bajo condiciones normales todos los impulsos, independientes del estímulo, viajan a lo largo de la neurona a la misma velocidad y con igual intensidad. Esta clase de respuesta se conoce como "**respuesta del todo o nada**". Así, para un estímulo cualquiera la fibra transmite el impulso completo o no transmite nada. Todos

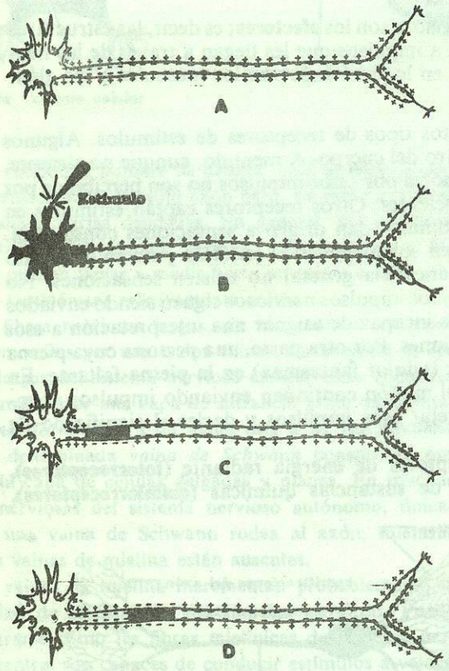


Fig. 23-11. *(A) La parte exterior de una fibra nerviosa no estimulada es eléctricamente positiva y la parte interior eléctricamente negativa. (B) Cuando la fibra nerviosa es estimulada se invierte el estado eléctrico. (C) El impulso se mueve como una onda de cambios de cargas. (D) Después que ha pasado el impulso, el segmento estimulado vuelve a su estado original.*

CAPILLA ALFONSINA

Si todos los impulsos viajan a la misma velocidad y son de igual intensidad, ¿cómo distingue el cuerpo los estímulos de intensidades variadas? Seguramente usted puede diferenciar entre un puñetazo y un golpecito. Las fibras nerviosas reaccionan a estímulos más intensos transmitiendo más impulsos en vez de transmitir impulsos más intensos. Generalmente, una vez que un impulso pasa por una sinapsis otro impulso que lo sigue puede pasar con mayor facilidad.

Por lo tanto, cuando se incrementa la intensidad del estímulo, aumenta el *número* de impulsos que cruzan la sinapsis y no la intensidad en sí del impulso. El número de impulsos transmitidos por una fibra nerviosa es afectado por varios factores: (1) La frecuencia con que se repite el estímulo, (2) la intensidad del estímulo, y (3) la duración del estímulo. La diferencia entre un golpecito y un puñetazo es afectada también por el número de neuronas estimuladas y por la disposición y conexiones entre las neuronas. Una sola neurona puede transmitir sus impulsos a otra neurona o a muchas otras neuronas. Esto depende de cuántos impulsos transmitió y cuántas neuronas estaban conectadas con ella.

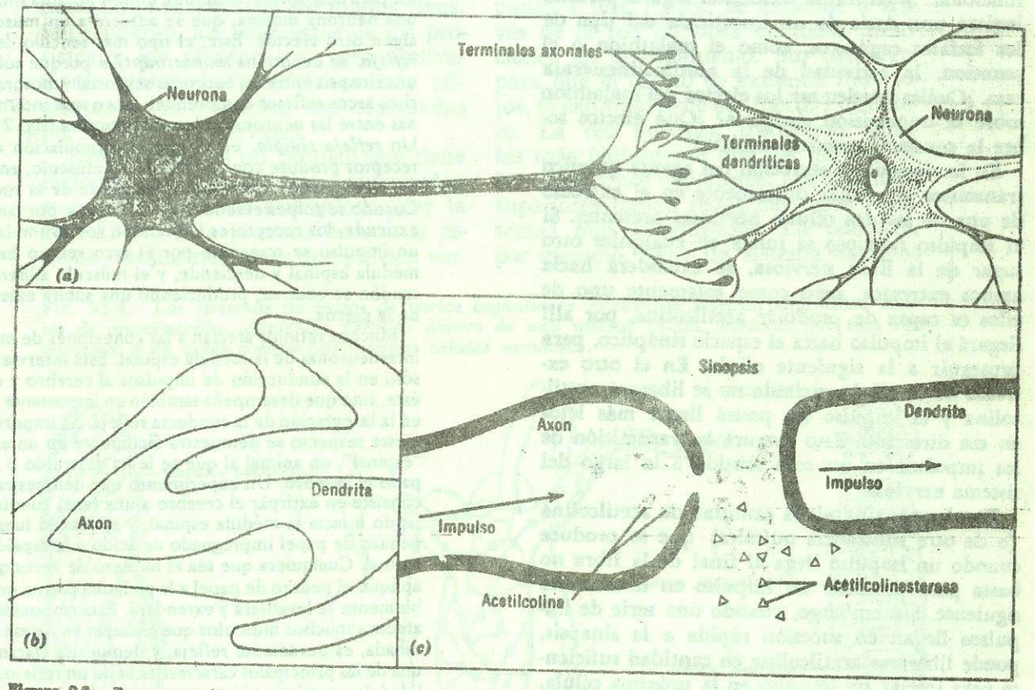


Figura 9.3. Representación de la transmisión sináptica *(a)* Relación estructural entre axón y dendrita. La parte *(b)* representa la amplificación de la área sináptica. Durante la transmisión de un impulso nervioso *(c)* el axón produce acetilcolina, la cual estimula a la dendrita a transmitir el impulso. La acetilcolinesterasa inactiva a la acetilcolina.

La transmisión sináptica

Cuando un impulso viaja a lo largo de una neurona, pronto llega al final de la fibra. Entre una fibra y la siguiente hay una pequeña distancia: el *espacio sináptico* (figura 9.3). Las sinapsis son partes importantes del sistema nervioso debido a que determinan muchas de sus propiedades. Observemos tres de sus características: 1) el método de transmitir el impulso a través de la sinapsis; 2) el patrón de transmisión en un solo sentido, y 3) la modificación de la transmisión de los impulsos nerviosos por otros impulsos nerviosos.

El impulso nervioso se transmite a través de la sinapsis de distinta manera que a lo largo de la fibra. Al llegar al final de la fibra, provoca la secreción de una substancia química, que se difunde a través del espacio sináptico y despolariza a la membrana de la siguiente fibra nerviosa, haciéndola más permeable al sodio e iniciando el impulso. Hay que hacer notar que no son las propiedades eléctricas del impulso las responsables de la transmisión sináptica, sino una substancia química.

En la mayoría de las sinapsis de nuestro cuer-