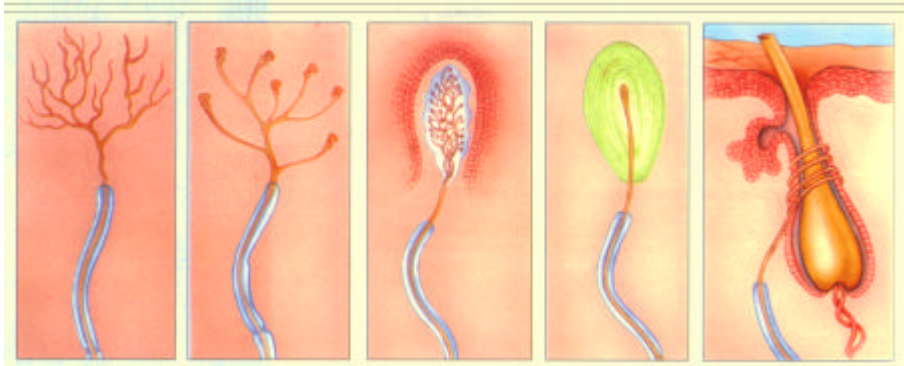


El sistema somato-sensorial

M^a Jesús Ledesma Carbayo (B-104)
mledesma@die.upm.es
Ingeniería Neurosensorial
Departamento de Ingeniería Electrónica



Indice

- Introducción
- Mecanorreceptores
- Receptores del dolor
- Receptores de temperatura
- Propioceptores
- Transmision de Informacion
- Cortex somato-sensorial

El sistema somato-sensorial

Es un grupo de al menos cuatro sentidos:

- Tacto
- Temperatura
- Posición de partes del cuerpo
- Dolor

Sus receptores están repartidos por todo el cuerpo y permiten detectar estímulos mecánicos, químicos y físicos (temperatura).

3

El sistema sensorial somático nos proporciona algunas de las experiencias más agradables de la vida, así como algunas de las más desagradables. La sensibilidad somática permite a nuestros cuerpos sentir, experimentar dolor, tener escalofríos y saber que están haciendo las diversas partes del cuerpo. Es sensible a muchos tipos de estímulos: presión de objetos contra la piel, la posición de músculos y articulaciones, la distensión de la vejiga y la temperatura de las distintas partes del cuerpo. Cuando los estímulos pueden ser perjudiciales existe una sensación somática que nos permite percibir estas circunstancias: el dolor.

A diferencia de otros sentidos sus receptores están distribuidos por todo el cuerpo. Por otra parte al responder a varios estímulos diferentes se puede considerar como un grupo de al menos cuatro sentidos:

Tacto

Temperatura

Posición de partes del cuerpo

Dolor

Un estímulo individual suele activar muchos receptores y un solo receptor ya es capaz de codificar características del estímulo, como la intensidad, duración, posición, velocidad... Etc

Receptores



4

La sensibilidad somática se ocupa de muchos tipos de información procedente de casi todas las partes del cuerpo. Empezando por los receptores sensoriales de la piel, y la paredes corporales, de los músculos, tendones, ligamentos, y tejido conectivo de las articulaciones, y de los órganos internos.

Los estímulos varían desde los mecánicos (p. ej. cosquillas), químicos (el veneno de una abeja) y los físicos (una ducha fría) por lo cual existen muchos tipos diferentes de receptores, algunos ejemplos se pueden observar en la figura. En las siguientes diapositivas estudiaremos los distintos tipos de receptores: mecanorreceptores, nociceptores, termorreceptores, propioceptores y quimiorreceptores.

Mecanorreceptores

- Sensibles a la deformación física: flexión, presión, estiramiento.
- Poseen axones con canales iónicos mecanosensibles.
 - Corpusculo de Meissner
 - Corpusculo de Pacini
 - Terminación de Rufini
 - Receptor de Merkel
 - Mecanorreceptores de los folículos pilosos

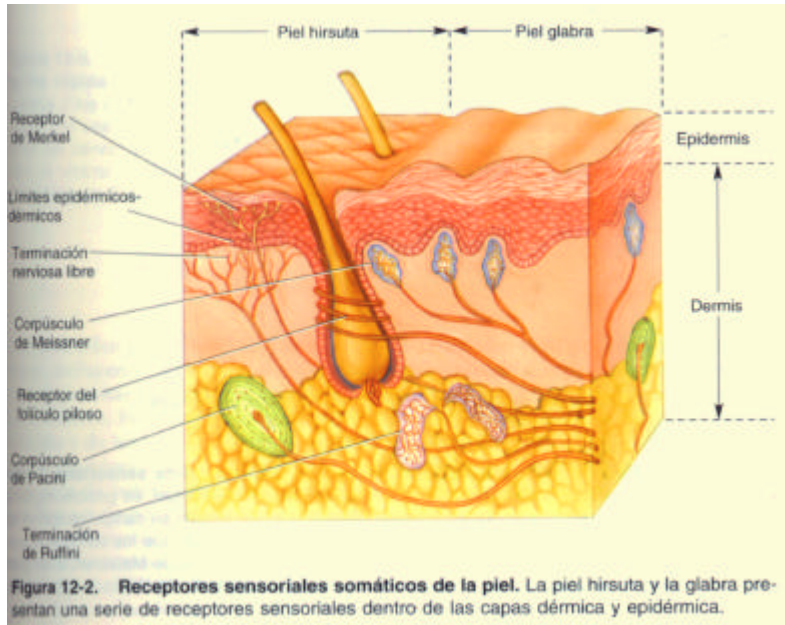
5

Los mecanorreceptores

La mayor parte de los receptores sensoriales del sistema sensorial somático son mecanorreceptores, que son sensibles a la deformación física. Están presentes en todo el cuerpo, monitorizan el contacto con la piel, la presión del corazón y los vasos sanguíneos, la distensión de los órganos digestivos, y la vejiga, y la fuerza contra los dientes.

En el centro de cada mecanorreceptor existen ramas de axones no mielinizados- Estos axones poseen canales iónicos mecano sensibles, cuya apertura depende del estiramiento o de los cambios de tensión de la membrana que los rodea.

Mecanorreceptores de la piel



6

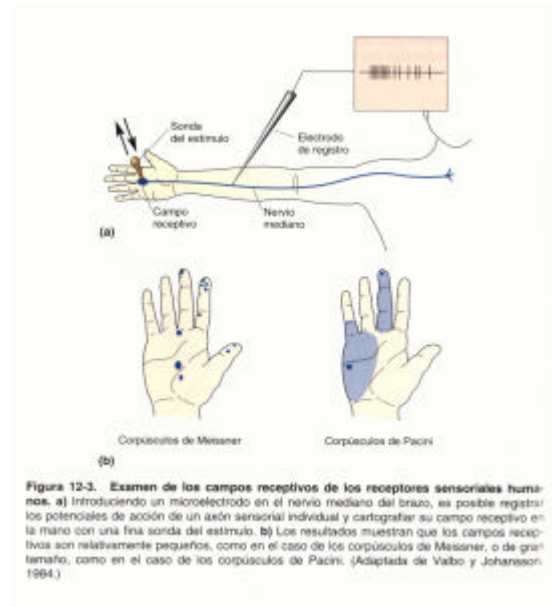
Los mecanorreceptores de la piel

Nos centraremos fundamentalmente en los mecanorreceptores de la piel. Debemos distinguir los dos tipos de piel que existen en el cuerpo ya que cada uno de estos tipos contiene distintos mecanorreceptores. La piel lampiña o glabra (sin pelo que aparece en las palmas de las manos), y la piel hirsuta que aparece por ejemplo en el dorso de la mano y los brazos. En la figura aparecen la mayoría de los mecanorreceptores de la piel.

- El Corpúsculo de Pacini
- Terminaciones de Ruffini
- Corpúsculos de Meissner
- Receptores de Merkel
- Mecanorreceptores de los Folículos pilosos

Los distintos mecanorreceptores se distinguen por el tamaño de su campo receptivo, la persistencia de su respuesta y el margen de frecuencias al que responden, como veremos en las siguientes diapositivas.

Campo Receptivo



7

Campo Receptivo

El neurocientífico Ake Vallbo y su grupo desarrollaron un método para evaluar la respuesta de los mecanorreceptores de la mano registrando los potenciales de acción de axones individuales accediendo al nervio mediano del brazo humano (Fig. (a)). De esta manera se pudo determinar que el campo receptivo de corpúsculos de Meissner y los receptores de Merkel es pequeño (algunos mm) y sin embargo para las terminaciones de Ruffini y los corpúsculos de Pacini los campos receptivos son más extensos (Fig. (b))

Campo Receptivo / Tasa de Adaptacion

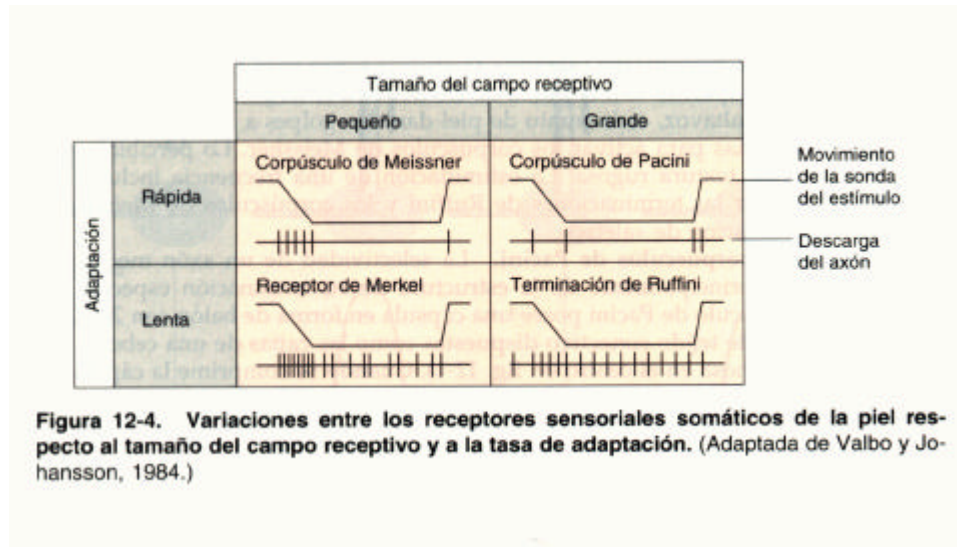


Figura 12-4. Variaciones entre los receptores sensoriales somáticos de la piel respecto al tamaño del campo receptivo y a la tasa de adaptación. (Adaptada de Valbo y Johansson, 1984.)

8

Campo receptivo y Tasa de Adaptación

También podemos observar la persistencia de la respuesta de los distintos mecanorreceptores a estímulos de larga duración. Como se puede observar en la figura los corpúsculos de Meissner y los corpúsculos de Pacini, tienen tendencia a responder rápidamente al principio, pero después interrumpen las descargas, aunque el estímulo se mantenga, lo que denominaremos receptores de adaptación rápida. Otros receptores, como los receptores de Merkel y las terminaciones de Ruffini, son de adaptación lenta y generan una respuesta más persistente durante el estímulo prolongado.

Mecanorreceptores de los folículos pilosos

Los folículos pilosos están inervados por terminaciones nerviosas libres. Existen varios tipos de folículos pilosos y pueden ser de adaptación rápida o lenta. Algunos tienen músculos eréctiles que permiten mediar las sensaciones extrañas como es el caso de la denominada “carne de gallina”.

Sensibilidad de frecuencia

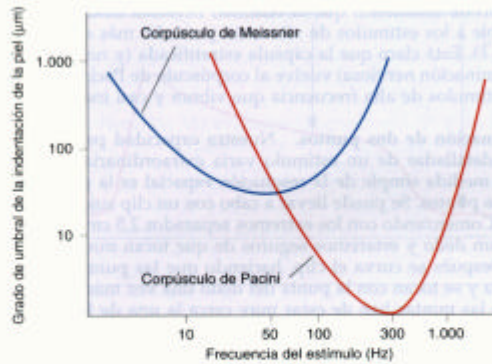


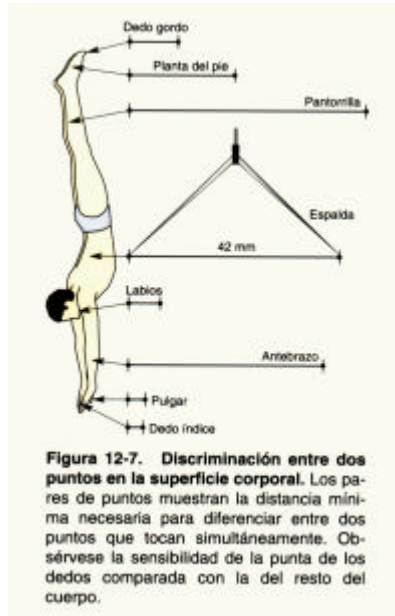
Figura 12-5. Sensibilidad de frecuencia de dos mecanorreceptores cutáneos de adaptación rápida. Los corpúsculos de Pacini son muy sensibles a los estímulos de alta frecuencia y los corpúsculos de Meissner lo son a los estímulos de baja frecuencia. Se indentó la piel con una sonda de presión a diversas frecuencias mientras se efectuaba un registro a partir del nervio. Se aumentó la amplitud del estímulo hasta que generó potenciales de acción; el umbral se determinó como el grado de indentación de la piel en micrómetros (μm). (Adaptada de Schmidt, 1978.)

9

Sensibilidad de Frecuencia

Los distintos mecanorreceptores también son sensibles a diferentes frecuencias, así los Corpúsculos de Pacini son más sensibles a vibraciones alrededor de 200-300 Hz, mientras que los corpúsculos de Meissner responden mejor a los 50 Hz. Esto es fácilmente perceptible poniendo la mano sobre la pantalla de un altavoz. Según las diferentes frecuencias del sonido (música) se estimulan los distintos mecanorreceptores percibiendo sensaciones diferentes.

Discriminación entre dos puntos



10

Discriminación entre dos puntos

Se han hecho pruebas para determinar la capacidad de discriminación de dos puntos próximos (la resolución). Es muy distinta en cada parte del cuerpo, siendo muy buena en las puntas de los dedos y muy mala en zonas como la espalda.

La lectura Braille puede ser muy eficiente (unas 600 letras por minuto) debido a la alta sensibilidad de las puntas de los dedos que contienen una gran cantidad de mecanorreceptores, especialmente de campos receptivos pequeños, y además porque existe mayor cantidad de tejido cerebral dedicado a la información sensorial proveniente de las puntas de los dedos.

Receptores de dolor

- Receptores de dolor = Nociceptores
- Mecanismo de alarma que detecta situaciones anormales posiblemente nocivas. Se detectan estímulos de varios tipos:
 - Mecánicos: presión excesiva
 - Térmicos: calor y frío extremos
 - Químicos: pH excesivo, determinados iones o sustancias neuroactivas, etc.
- Los receptores están repartidos por todo el cuerpo (no sólo en la piel), excepto en el cerebro.

11

Receptores de dolor-Nociceptores

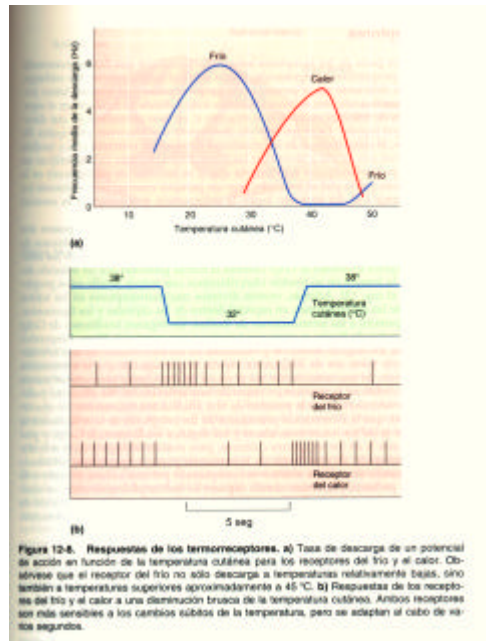
(Etimología latina *nocere* = 'herir' (ej. nocivo))

Existen receptores especializados en la sensación de dolor. Esta sensación es muy útil para la supervivencia del individuo pues actúa como un mecanismo de alarma que detecta situaciones anormales posiblemente nocivas. Se detectan estímulos de varios tipos:

- Mecánicos: presión excesiva, en especial de objetos punzantes
- Térmicos: calor y frío extremos
- Químicos: pH excesivo, determinados iones o sustancias neuroactivas, etc.

Los receptores están repartidos por todo el cuerpo (piel, músculo, hueso, órganos internos, vasos sanguíneos y el corazón), excepto en el cerebro. Este hecho en ocasiones permite a los neurocirujanos llevar a cabo intervenciones quirúrgicas utilizando solamente anestesia local, y permitiendo explorar las regiones cerebrales con funcionalidades esenciales mientras el paciente esta consciente.

Termorreceptores



12

Receptores de temperatura=Termorreceptores

Todas las células del cuerpo son sensibles a la temperatura ya que puede afectar a su funcionamiento químico, pero en especial el cerebro, por su complejidad, requiere una temperatura más estable que otras partes del cuerpo, de tal manera que es vital que la temperatura se mantenga alrededor de los 37° y no supere los 40.5°.

Aunque todas las neuronas son sensibles a la temperatura, no todas son termorreceptores. Existen algunas neuronas que son exquisitamente sensibles a la temperatura (diferencias de 0.01°C). Podemos diferenciarlas entre detectores de calor (30°C-45°C) y de frío (10°C-35°C y por encima de 45°C), localizados preferentemente en la piel (fig (a)). También hay neuronas sensibles a la temperatura en el hipotálamo y en la médula espinal que contribuyen a regular la temperatura corporal.

Los receptores en la piel detectan principalmente cambios súbitos y variaciones de temperatura, y se adaptan durante los estímulos de larga duración (fig (b)). Esto se puede observar fácilmente introduciendo una mano en agua fría y caliente, al principio la sensación del cambio de temperatura es muy acusada, pero después de un tiempo se adapta y la sensación disminuye.

Proprioceptores

- Percepción de:
 - La posición relativa de los miembros del cuerpo.
 - Movimiento
 - Velocidad, etc.
- Hay detectores en los músculos, articulaciones, ligamentos,...
- Sirven para explorar objetos, guiar el movimiento de las extremidades, etc.

13

Proprioceptores

(Etimología latina *proprius* = 'de uno mismo')

A diferencia los receptores sensoriales somáticos que hemos estudiado hasta ahora, los propioceptores proporcionan información sobre nuestro medio interno, en vez del medio externo. Permiten percibir la posición relativa de los miembros del cuerpo, si se están moviendo o no, y con qué rapidez. Esta sensibilidad es fundamental para orientar los movimientos y para el conocimiento de las posiciones de nuestras extremidades ayudándonos a explorar objetos...

Hay detectores en los músculos, articulaciones, ligamentos, ... En los músculos esqueléticos están presentes los husos musculares (miden la longitud y la tasa de estiramiento de los músculos), y los órganos tendinosos de Golgi (calibran la fuerza generada por un músculo determinando la tensión de su tendón).

En las articulaciones existen mecanorreceptores que responden a los cambios del ángulo, dirección y velocidad de un movimiento en una articulación, son de adaptación rápida y proporcionan más información en presencia de movimiento que en reposo. La información procedente de los distintos receptores se integra para evaluar el ángulo de la articulación. En el caso de carecer de una fuente de información puede compensarse

La transmisión de información

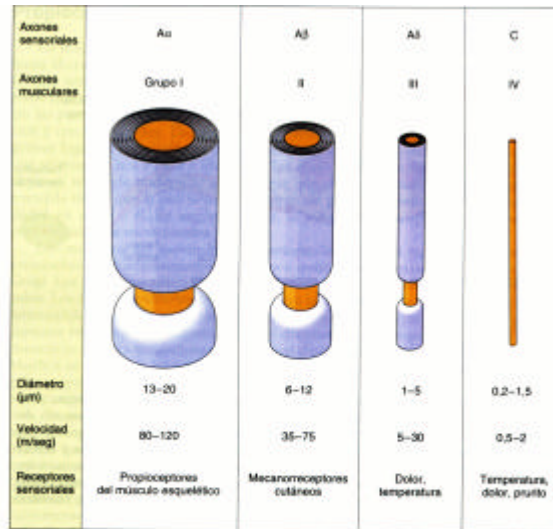


Figura 12-10. Diversos tamaños de los axones aferentes primarios. Los axones se han dibujado a escala, pero se muestran 2.000 veces más grandes que su tamaño real. El diámetro de un axón se correlaciona con su velocidad de conducción y con el tipo de receptor sensorial al que está conectado.

14

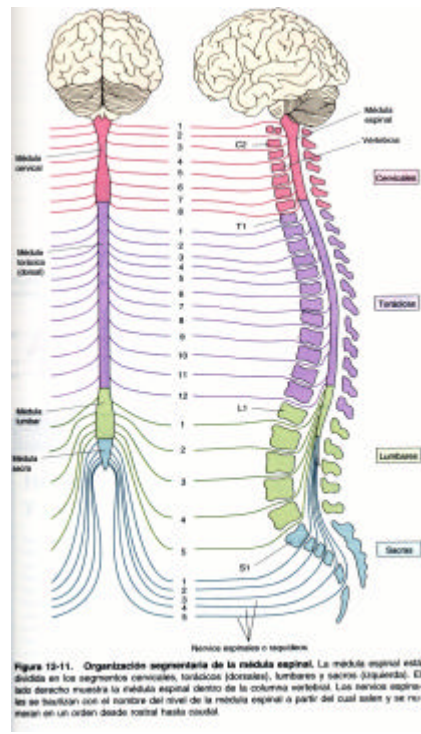
La transmisión de información

La transmisión de información desde los sensores hasta el sistema nervioso central se realiza a través de nervios de varios tipos (figura). El grosor de cada nervio determina su velocidad de transmisión. Se han agrupado en cuatro clases, a las que se les han dado los nombres AI , AII , AIII y C (ordenados desde los más gruesos y rápidos hasta los más finos y lentos). La velocidad de transmisión puede variar desde más de 100 m/s hasta menos de 1 m/s. Por tanto el tiempo que tarda una sensación en llegar hasta el sistema nervioso central desde los pies o las manos puede variar entre aproximadamente 10 ms hasta más de 1 s.

Las sensaciones de los propioceptores utilizan los nervios más rápidos (se necesitan tiempos de respuesta rápidos para poder coordinar el movimiento de las extremidades), mientras que para sensaciones como las de temperatura basta con canales de transmisión más lentos (es una forma de optimizar el consumo de energía y de proteínas necesarias).

La diferencia en la rapidez de transmisión de las sensaciones es perceptible por ejemplo ocurre una picadura de una abeja, en ese caso la sensación de dolor se sentirá después de algunos segundos, sin embargo la sensación del pinchazo se percibirá rápidamente ya que también se habrán estimulado los mecanorreceptores de la piel que son mucho más rápidos.

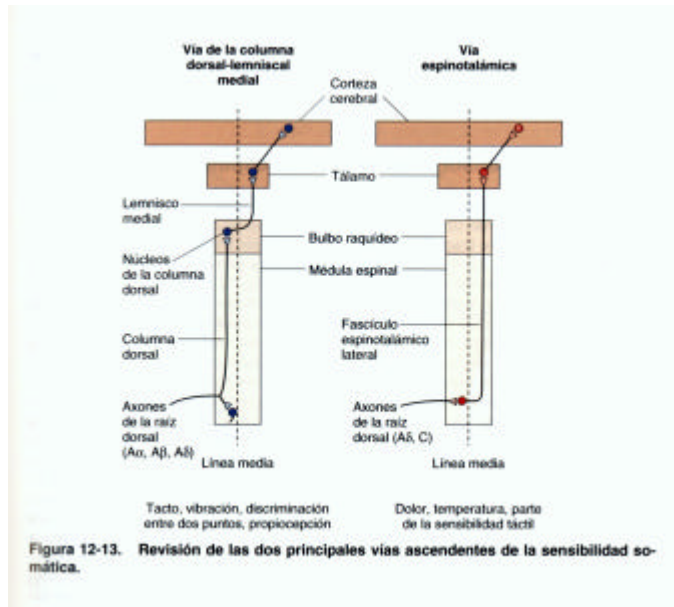
Organización de la columna vertebral



Organización de la columna vertebral

Los nervios que transmiten sensaciones somato-sensoriales entran en la columna vertebral, estando organizados por zonas del cuerpo *dermatomas*. A cada zona le corresponde un grupo de nervios y un segmento de la columna.

Vías de la sensibilidad somática



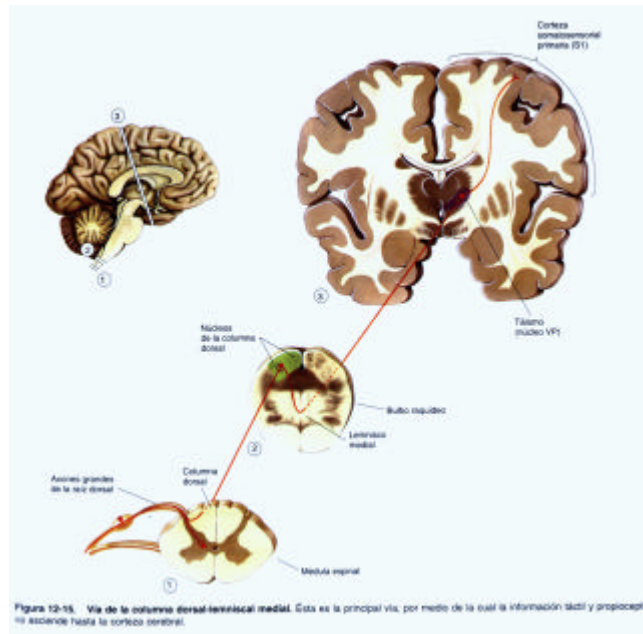
16

Vías de la sensibilidad somática

Hay dos caminos principales ascendentes hacia el cerebro:

- Los receptores mecánicos y de propiocepción utilizan un camino más rápido, en el que la primera sinapsis no se produce hasta la médula (aunque puede haber sinapsis a neuronas próximas, motoras principalmente, en el mismo segmento de la columna).
- Los receptores térmicos y de dolor utilizan nervios más lentos y forman una sinapsis nada más entrar en la columna.

Vía dorsal-lemniscal medial



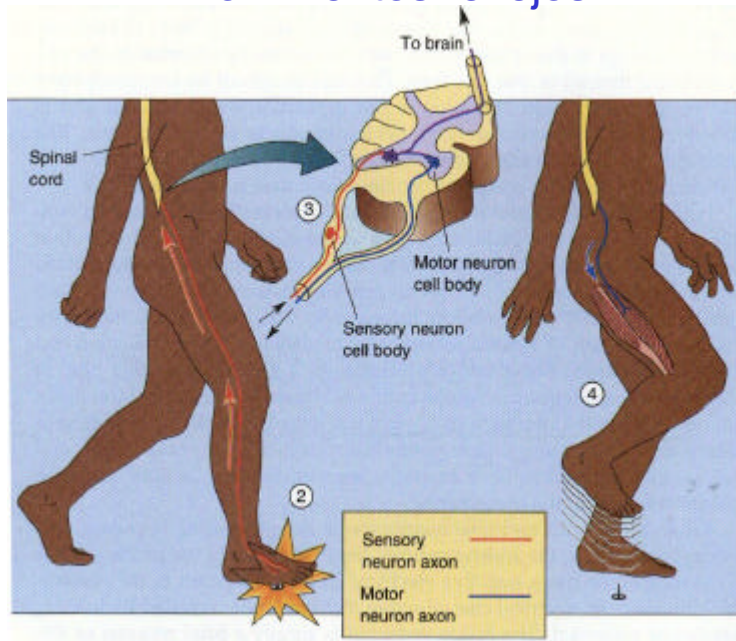
17

Vía dorsal-lemniscal medial

Los receptores mecánicos (tacto y vibración) y de propiocepción utilizan un camino más rápido, en el que la primera sinapsis no se produce hasta la médula (aunque puede haber sinapsis a neuronas próximas, motoras principalmente, en el mismo segmento de la columna).

Esta información se transmite a través de las columnas dorsales de la médula espinal, transmitiendo la sensación táctil y propioceptiva del lado derecho, por la columna dorsal derecha y análogamente para el lado izquierdo. Al llegar al bulbo raquídeo se produce una sinapsis con las células de los núcleos de la columna dorsal produciendo un cruzamiento de las aferencias mecanorreceptoras y propioceptoras pasando por el lemnisco medial del bulbo raquídeo. Después se produce otra sinapsis a nivel del tálamo para terminar proyectándose en las regiones específicas de la corteza somatosensorial.

Movimientos reflejos

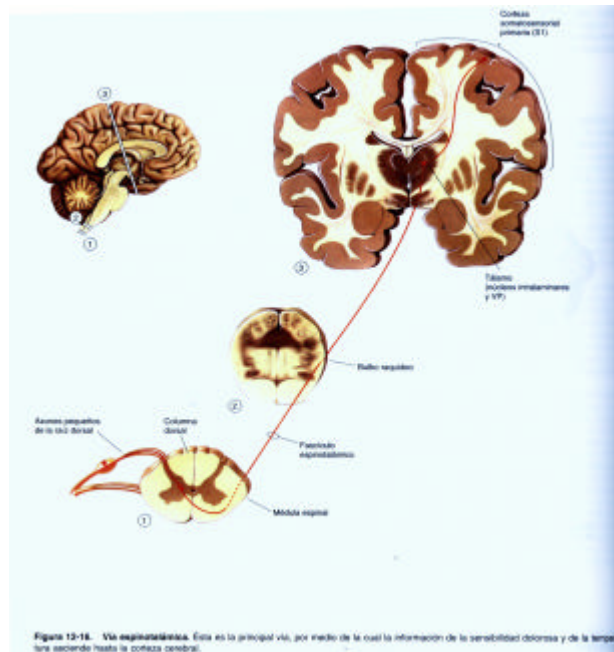


18

Movimientos reflejos

Las sensaciones propioceptivas y táctiles participan en muchos procesos que tienen realimentación rápida sobre las neuronas motoras mediante una sinapsis al nivel de la médula espinal. De esta manera una sensación desagradable puede producir el reflejo de contraer un músculo rápidamente. O bien al recibir un objeto pesado de forma inesperada (propriocepción) se produce un reflejo de ejercer mayor fuerza para no dejar caer el objeto.

Vía espinotalámica



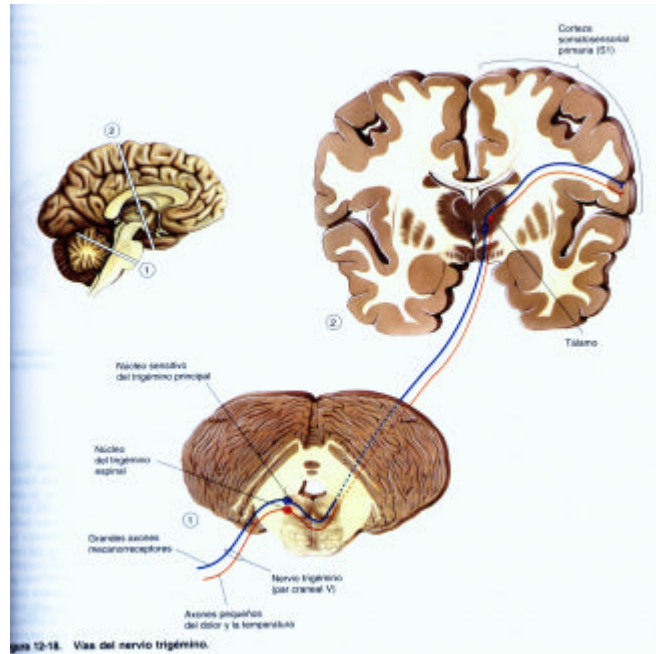
19

Vía espinotalámica

Los receptores térmicos y de dolor utilizan nervios más lentos y forman una sinapsis nada más entrar en la columna. Esta información se transmite a través del tracto o fascículo espinotalámico, proyectándose directamente en el tálamo. A partir de aquí se proyecta a la corteza sensorial. En este caso la información que se transmite es contralateral desde que llega a la médula espinal a diferencia de la información propioceptiva y táctil.

Las dos vías son paralelas y se aproximan especialmente a partir del bulbo raquídeo pero permanecen separadas.

Vía del nervio trigémico



20

Vía del nervio trigémico

Existe un tercer camino por el que se transmiten las sensaciones procedentes de la parte de la cara, los labios, lengua... que lógicamente no circulan por la columna vertebral. Estas sensaciones se transmiten principalmente por los nervios trigéminos que penetran en el cerebro a la altura de la protuberancia. De nuevo existirán axones rápidos para la transmisión de propiocepción de la mandíbula y de la sensación táctil de la cara, y axones lentos para la transmisión de temperatura y dolor. Se proyectan en el tálamo para terminar en la corteza somatosensorial.

Corteza somatosensorial

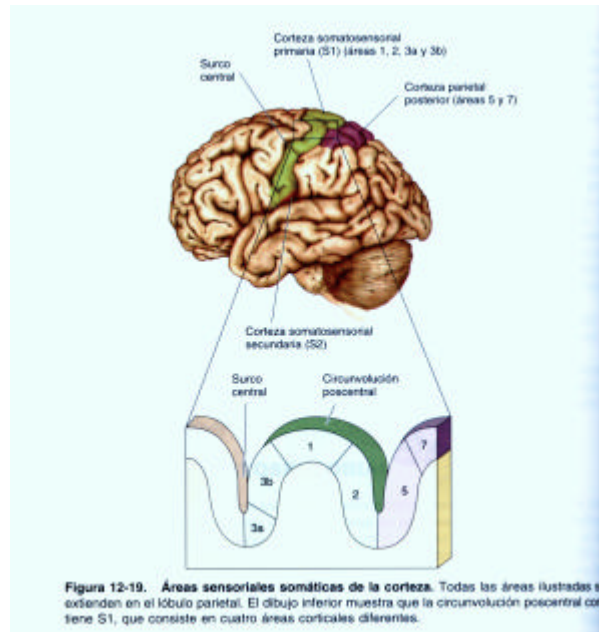


Figura 12-19. Áreas sensoriales somáticas de la corteza. Todas las áreas ilustradas se extienden en el lóbulo parietal. El dibujo inferior muestra que la circunvolución poscentral contiene S1, que consiste en cuatro áreas corticales diferentes.

21

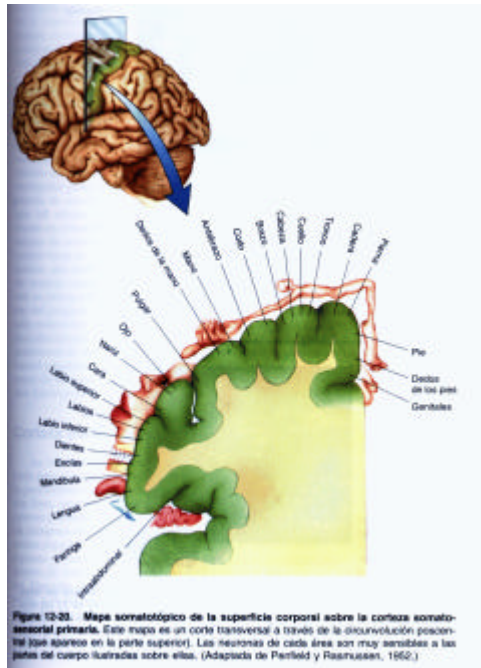
La corteza somatosensorial

Está estructurado por zonas, todas dentro del lóbulo parietal.

- S1 o corteza somatosesnsorial primaria, compuesta por tres áreas de Brodmann (1, 2, 3a, 3b)
- S2 o corteza somatosensorial secundaria
- Corteza parietal posterior, compuesta por otras dos áreas de Brodmann (5 y 7). En ella se producen procesos complejos que relacionan distintas sensaciones para la identificación de objetos (por ej. diferenciar una llave de una cuchara)

Los axones de las neuronas que proceden del tálamo forman sinapsis en las capas 3a y 3b. Éstas a su vez están conectadas con las zonas 1 y 2, y con la capa S2 del córtex somatosensorial (siendo esta comunicación bidireccional). En la capa 3b se analizan las sensaciones de textura y de tamaño y forma, posteriormente se proyectan diferenciadamente a las áreas 1 (textura) y 2 (tamaño y forma).

Mapa somatosensorial

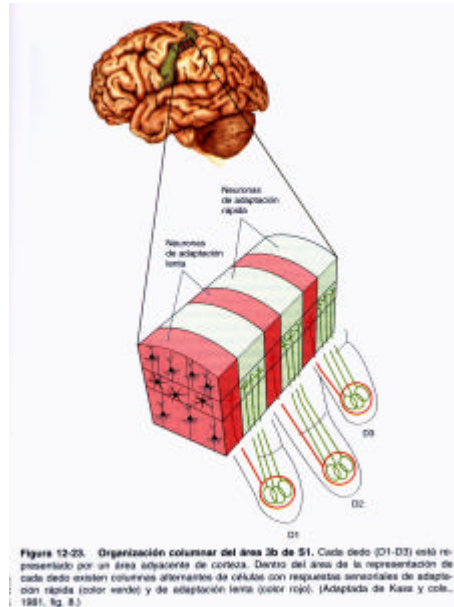


22

El Mapa somatosensorial

El córtex tiene el equivalente a un mapa de todo el cuerpo, reflejándose en este mapa la procedencia original de cada sensación. La correspondencia entre sensaciones superficiales y corteza cerebral se denomina *somatotopia cortical*. La superficie dedicada a cada órgano depende del número de terminaciones nerviosas en el mismo, siendo muy distinta para unas partes del cuerpo que para otras y especialmente grande para la boca, lengua y dedos de las manos.

Organización en columnas



23

Organización en columnas de la corteza

El córtex somatosensorial, al igual que el córtex visual y auditivo, está organizado en columnas, cada una de ellas especializada en las diferentes sensaciones procedentes de una misma zona del cuerpo.

En las capas siguientes del córtex la información se integra de manera que se perciban objetos, más que características separadas. Las sensaciones de textura, tamaño, forma se entienden como características de un mismo objeto.

Existen muchos paralelismos con la percepción visual. Las sensaciones se transmiten pasando por el tálamo hacia el córtex. En éste se analizan inicialmente las características independientes que son proyectadas en módulos corticales y que posteriormente se van a integrar integrando hasta tener percepción de los objetos del entorno.

Bibliografía

- M. Bear, B. Connors, M. Pardiso. "Neurociencia. Explorando el cerebro." MANSON-Williams & Wilkins España. 1998.
- A. Despopoulos, S Silbernagl. "Color Atlas of Physiology".Thiem Medical Publ. (4th edition). 1991.
- E. Kandel, J. Schwartz, T. Jessell. "Principles of Neural Science. Prentice-Hall International Inc. (3rd edition). 1991.