

RECEPTORES SENSITIVOS

Los receptores transforman los estímulos sensitivos en señales nerviosas.

Tipos de receptores sensitivos y estímulos que detectan

1. Mecanorreceptores: compresión mecánica o estiramiento.
2. Termorreceptores: cambios de temperatura
3. Nocirreceptores: dolor, daños físicos o químicos.
4. Receptores electromagnéticos: luz en la retina ocular.
5. Quimiorreceptores: gusto, olfato, oxígeno, osmolaridad y dióxido de carbono.

Sensibilidad diferencial de receptores

La sensibilidad diferencial permite a los distintos tipos de receptores detectar clases diferentes de estímulos sensitivos, cada tipo de receptor resulta muy sensible a una clase de estímulo para el que está diseñado y casi insensible a otras clases.

Modalidad sensitiva

La modalidad de sensación es cada uno de los principales tipos sensitivos que podemos experimentar. El principio de la línea marcada es la especificidad de las fibras nerviosas para transmitir una modalidad de sensación.

Transducción de estímulos sensitivos en impulsos nerviosos

Corrientes eléctricas locales en las terminaciones nerviosas

Todos los receptores sensitivos, cualquiera que sea el tipo de estímulo que los excite, su efecto inmediato consiste en modificar su potencial eléctrico de membrana, cambio llamado como potencial de receptor.

Mecanismos de los potenciales de receptor

La causa básica del cambio en el potencial de membrana es una modificación en la permeabilidad de la membrana del receptor, que permite la difusión iónica con mayor o menor facilidad y variar el potencial transmembrana.

1. Por deformación mecánica del receptor, abre canales iónicos.
2. Por la aplicación de un producto químico a la membrana, abre canales iónicos.
3. Por un cambio en la temperatura de la membrana, modifica su permeabilidad.
4. Por efectos de la radiación electromagnética, modifica características de la membrana.

La amplitud máxima del potencial de receptor sensitivo es de unos 100 mV.

Condiciones

Cuanto más asciende el potencial de receptor por encima del nivel umbral, se vuelve mayor la frecuencia del potencial de acción.

Potencial de receptor: mayor positividad dentro de la fibra.

La frecuencia de los potenciales de acción repetidos que se transmiten desde los receptores sensitivos aumenta proporcionalmente al incremento del potencial de receptor.

Adaptación de los receptores

Todos los receptores sensitivos comparten la adaptación parcial o total a cualquier estímulo constante después de haber transcurrido un tiempo. Los corpúsculos de Pacini se adaptan a la extinción en unas pocas centésimas de segundo. Los mecanorreceptores se adaptan casi por completo, pero necesitan horas o días, por lo que se llaman receptores inadaptables.

Mecanismo de adaptación de los receptores

Los conos y bastones del ojo se adaptan al modificarse las concentraciones de sus sustancias químicas sensibles a la luz. El corpúsculo de Pacini se adapta de dos maneras: 1. por ser una estructura viscoelástica, se aplica una fuerza deformadora (compresión), esta fuerza se transmite al instante directamente al mismo lado de la fibra nerviosa central, lo que desencadena un potencial de receptor; En unas pocas centésimas de segundo, el líquido contenido se redistribuye para dejar de generarse el potencial de acción. 2. de manera más lenta, el proceso de acomodación consiste en que si una fibra continua deformada ésta se acomoda paulatinamente al estímulo, causando una inactivación progresiva de los canales de sodio.

Los receptores tónicos

Los receptores de adaptación lenta siguen transmitiendo impulsos hacia el cerebro mientras siga presente el estímulo, tienen una gran capacidad de seguir transmitiendo información (tonicidad). Algunos receptores de adaptación lenta son: la mácula del aparato vestibular, los receptores para el dolor, los barorreceptores del árbol arterial y los quimiorreceptores de los cuerpos carotídeo y aórtico.

Los receptores de velocidad, de movimiento o fásicos.

Los receptores que se adaptan con rapidez solo se activan cuando cambia la intensidad del estímulo, o sea, reaccionan siempre que esté teniendo lugar un cambio de hecho. (p. ej. El corpúsculo de Pacini)

Función predictiva

Si se conoce la velocidad a la que tiene lugar un cambio en la situación corporal, se podrá predecir cuál será el estado del organismo a su juicio unos cuantos segundos o incluso minutos más tarde. (p. ej. Los receptores en los conductos semicirculares del aparato vestibular del oído, los receptores en las articulaciones)

Fibras nerviosas que transmiten diferentes tipos de señales y su clasificación fisiológica

Hay fibras nerviosas de todos los tamaños y diámetros. Entre mayor sea el tamaño, más rápida será su velocidad de conducción -entre 0.5 y 120 m/s).

Clasificación general de las fibras nerviosas

1. Tipo A: fibras nerviosas mielínicas de tamaños grandes y medio pertenecientes a los nervios raquídeos. Subdividida en α , β , γ y δ .
2. Tipo C: fibras nerviosas amielínicas que conducen impulsos a bajas velocidades.

Clasificación alternativa empleada por los fisiólogos de la sensibilidad

1. Grupo Ia: procedentes de terminaciones anuloespirales de los husos musculares, fibras A tipo α .
2. Grupo Ib: procedentes de los órganos tendinosos de Golgi, fibras A tipo α .
3. Grupo II: procedentes de los receptores táctiles cutáneos aislados y de las terminaciones en ramillete de los husos musculares, fibras A tipo β y γ .
4. Grupo III: transportan la temperatura, el tacto grosero y las sensaciones de dolor y escozor, fibras A tipo δ .
5. Grupo IV: amielínicas que transportan las sensaciones de dolor, picor, temperatura y tacto grosero, fibras tipo C.

Transmisión de señales de diferente intensidad por los fascículos nerviosos

Una característica de toda señal que siempre ha de transportarse es su intensidad.

Sumación espacial: se transmite la intensidad creciente de una señal mediante un número progresivamente mayor de fibras. (p. ej. Cuando un pinchazo ocurre en el centro del campo receptor de una fibra para el dolor concreta, su grado de estimulación es muy superior si sucede en la periferia, porque el número de terminaciones nerviosas es mucho mayor en dicho caso, aumentando la intensidad por aumento del radio).

Sumación temporal: consiste en acelerar la frecuencia de los impulsos nerviosos que recorren cada fibra.

Transmisión y procesamiento de las señales en grupos neuronales

Cada grupo neuronal posee su propia organización especial que le hace procesar las señales de un modo particular y singular.

Transmisión de señales a través de grupos neuronales

La zona neuronal estimulada por cada fibra nerviosa que entra se llama campo de estimulación. Contiene dos: la zona de descarga de la fibra de entrada es llamada la zona excitada o zona liminal; y las zonas facilitadas no excitadas. También está la zona inhibidora donde descargan las ramas inhibidoras.

Normalmente, la descarga de un solo terminal sináptico excitador nunca causa un potencial de acción en una neurona postsináptica, se necesitan más de un terminal para hacer que la neurona descargue por medio de un estímulo excitador o estímulo por encima del umbral. Cuando los terminales no son suficientes para suscitar su excitación se dice que los estímulos de estas neuronas están por debajo del umbral y que las neuronas están facilitadas.

Divergencia de señales

Las señales débiles que penetran en un grupo neuronal acaban excitando a una cantidad mucho mayor de las fibras nerviosas que lo abandonan.

1. Divergencia amplificador: una señal de entrada se disemina sobre un número creciente de neuronas a medida que atraviesa sucesivos órdenes de células en su camino. (p. ej. vía corticoespinal)
2. Divergencia en múltiples fascículos: la transmisión de la señal desde un grupo sigue dos direcciones distintas. (p. ej. la médula transmite hacia el cerebelo (1) y hacia el tálamo y corteza cerebral (2))

Convergencia de señales

Significa que un conjunto de señales procedentes de múltiples órdenes se reúnen para excitar una neurona concreta. Permite la sumación de información. Es uno de los medios importantes que utiliza el SNC para relacionar, sumar y clasificar distintas clases de información.

1. Convergencia desde una sola fuente: numerosos terminales derivados de llegada de un solo fascículo de fibras acaban en la misma neurona.
2. Convergencia derivada de múltiples fuentes: (p. ej. interneuronas de la médula espinal)

Circuito neuronal con salida excitadora e inhibidora

Una señal de entrada de un grupo neuronal hace que una señal excitadora de salida siga una dirección y a la vez otra señal inhibidora hacia otro lugar. Este tipo de circuitos es característico en el control de todos los pares de músculos antagonistas (circuito de inhibición recíproca).

Prolongación de una señal: posdescarga

Una descarga de salida prolongada se llama posdescarga.

1. Posdescarga sináptica: cuando las sinapsis excitadoras descargan sobre la superficie de las dendritas o del soma de una neurona, surge un potencial eléctrico postsináptico que dura muchos milisegundos. Mientras se mantenga este potencial, puede seguir excitando la neurona.
2. Circuito reverberante u oscilatorio: ocasionado por una retroalimentación positiva dentro del circuito neuronal encargada de reexcitar la entrada del mismo circuito, lo que hace que una vez estimulado el circuito puede descargar repetidamente durante mucho tiempo. Una señal facilitadora fermenta la intensidad y la frecuencia de reverberación, mientras que otra inhibidora la deprime. La interrupción de la reverberación es causada por la fatiga de las uniones sinápticas, lo que reduce la estimulación de la siguiente neurona en esta cadena hasta dejar de alcanzar el nivel del umbral.

Emisión de señales continuas desde circuitos neuronales

Algunos circuitos neuronales emiten señales de salida de forma continua sin señales de entrada excitadoras.

1. Descarga neuronal intrínseca continua: los potenciales de membrana de muchas neuronas son suficientemente altos incluso en situaciones normales como para hacer que emitan impulsos de forma continua.
2. Señales reverberantes continuas: un circuito reverberante que no alcance un grado de fatiga suficiente como para detener la reverberación es una fuente de impulsos continuos.

Todas o casi todas las señales rítmicas derivan de circuitos reverberantes o de una sucesión suya en serie que suministra señales excitadora e inhibidoras de forma circular desde un grupo neuronal al siguiente.

Inestabilidad y estabilidad de los circuitos neuronales

Circuitos inhibidores

1. Los circuitos de retroalimentación inhibidores que vuelven desde el extremo terminal de una vía hacia las neuronas excitadoras iniciales de la misma vía. (p. ej. circuitos neuronales sensitivos)
2. Ciertos grupos neuronales que ejercen control inhibitor global sobre regiones del cerebro. (p. ej. ganglios basales)

Fatiga sináptica

La transmisión sináptica se vuelve cada vez más débil cuanto más largo e intenso sea el período excitador. (p. ej. cuanto más breve sea el intervalo entre los reflejos flexores sucesivos, menor será la intensidad de la respuesta refleja posterior)

Regulación al alza o baja

Cuando las sinapsis se emplean demasiado de manera que una cantidad excesiva de sustancia transmisora se combina con las proteínas receptoras, muchos de estos receptores quedan inactivados y retirados de la membrana sináptica. El alza y la baja de receptores de membrana corrigen permanente esta propiedad hasta el nivel necesario para su correcto funcionamiento.

La fatiga como la recuperación constituye un medio importante a corto plazo para moderar la sensibilidad de los diferentes circuitos del sistema nervioso.

SENSIBILIDADES SOMÁTICAS

Mecanismo nervioso que recopila la información sensitiva de todo el cuerpo.

Clasificación de las sensibilidades somáticas (fisiológicos)

1. Sensibilidades somáticas mecanorreceptoras, formadas por las sensaciones táctiles (tacto, presión, vibración y cosquilleo) y posicionales (posición estática y velocidad de movimiento).
2. Sensibilidades termorreceptoras.
3. Sensibilidad al dolor.

Otras clasificaciones de las sensibilidades somáticas

1. Sensibilidad exteroceptora: procedente de la superficie del cuerpo.
2. Sensibilidad propioceptora: estado fisiológico del cuerpo.
3. Sensibilidad visceral: deriva de las vísceras del cuerpo.
4. Sensibilidad profunda: viene de los tejidos profundos.

Detección y transmisión de las sensaciones táctiles

Interrelaciones entre las sensaciones táctiles de contacto, presión y vibración

La sensación de tacto en general deriva de la estimulación de receptores táctiles. La sensación de presión obedece a la deformación de los tejidos profundos. La sensación de vibración resulta de la repetición de señales sensitivas con rapidez.

Receptores táctiles

Hay seis tipos de receptores táctiles totalmente diferentes, con características especiales:

1. Terminaciones nerviosas libres distribuidas por toda la piel son capaces de detectar el tacto y la presión.
2. Un receptor al tacto dotado de una gran sensibilidad es el corpúsculo de Meissner, una terminación nerviosa encapsulada perteneciente a una gran fibra nerviosa sensitiva mielínica tipo A β . Está presente en partes de la piel lampiñas. Se adaptan en cuestión de una fracción de segundo después de ser estimulados, son sensibles al movimiento y a las vibraciones de baja frecuencia.
3. Los receptores táctiles de terminación bulbar (discos de Merkel), presentes en partes de piel dotadas de pelo, al principio transiten una señal intensa parcialmente adaptable, y después una señal más débil y continua. Estos discos se encuentran agrupados en un receptor de cúpula de Iggo.
4. Cada pelo junto a su fibra nerviosa basal (órgano terminal del pelo) se adapta con rapidez, detecta básicamente el movimiento de objetos sobre la superficial del cuerpo o su contacto inicial con el mismo.

5. En las capas más profundas de la piel y en los tejidos internos profundos, las terminaciones de Tuffini, multirramificadas, se adaptan lentamente y resultan importantes para comunicar el estado de deformación continua en el tejido (contacto intenso prolongado y de presión) y el grado de rotación articular.
6. Los corpúsculos de Pacini por debajo de la piel, se adaptan en unas pocas centésimas de segundo, por lo que son importantes para detectar la vibración y otros cambios rápidos del estado mecánico.

Transmisión de señales táctiles en las fibras nerviosas periféricas

Todos los tipos más decisivos de señales sensitivas se transmiten utilizando las variedades más rápidas de las fibras nerviosas sensitivas de conducción (Pacini y Ruffini, fibras A β , 30-70 m/s). Los tipos de señal más groseros, recurren a fibras nerviosas muy pequeñas y más lentas que necesitan un espacio menor en el haz nervioso (fibras C, 1-2 m/s).

Detección de la vibración

Los corpúsculos de Pacini detectan vibraciones con señales desde 30 hasta 800 ciclos por segundo debido a que responden con una rapidez extrema. Los corpúsculos de Meissner detectan vibraciones de baja frecuencia de desde 2 hasta 80 ciclos por segundo, debido a su adaptación más lenta.

Determinación del cosquilleo y el picor por terminaciones nerviosas libres mecanorreceptoras

La existencia de terminaciones nerviosas libres mecanorreceptoras de adaptación rápida y muy sensible que tan sólo suscitan sensaciones de cosquilleo y picor, sensaciones que se transmiten por fibras amielínicas muy pequeñas de tipo C. Las señales de dolor suprimen las señales de picor en la médula por una inhibición lateral.

Vías sensitivas para la transmisión de señales somáticas en el SNC

Estas señales son transmitidas por la médula y más tarde por el encéfalo a través de una de las dos vías sensitivas: el sistema de columna dorsal-lemnisco medial o el sistema anterolateral, para más tarde reunirse parcialmente en el tálamo.

El sistema de columna dorsal-lemnisco medial transporta señales en sentido ascendente por las columnas dorsales hacia el bulbo raquídeo del encéfalo. Después de hacer sinapsis y cruzar al lado opuesto a este nivel, siguen subiendo a través del tronco del encéfalo hasta el tálamo dentro del lemnisco medial. Está compuesto por fibras nerviosas mielínicas grandes (30-110 m/s). Se encuentra limitado a tipos puntuales de sensibilidad mecanorreceptora.

En el sistema anterolateral, las señales entran en la médula espinal procedentes de los nervios raquídeos, forman sinapsis en las astas dorsales de la sustancia gris medular, cruzan al lado opuesto y ascienden a través de sus columnas blancas anterior y lateral. Su

terminación se produce en los niveles de la parte inferior del tronco del encéfalo y el tálamo. Está compuesto por fibras mielínicas pequeñas (40 m/s). Posee capacidad de transmitir distintas modalidades sensitivas.

S. columna dorsal-lemnisco medial	S. anterolateral
Tacto fino y localizable. Sensaciones fásicas, que indiquen movimiento contra la piel, posicionales y de presión fina.	Dolor, sensaciones térmicas, presión y tacto grosero, cosquilleo y picor, sensaciones sexuales.

Transmisión por el sistema de la columna dorsal-lemnisco medial

Anatomía del sistema

Fibras mielínicas, se dividen para dar lugar a una rama medial y una rama lateral. Las neuronas locales cumplen tres funciones: 1) emisión de fibras que entran en las columnas dorsales, 2) muchas de las fibras acaban en la sustancia gris de la médula espinal para producir reflejos locales, 3) otras dan origen a los fascículos espinocerebelosos.

Las fibras nerviosas siguen su trayecto sin interrupción hasta la zona dorsal del bulbo raquídeo donde hacen sinapsis en los núcleos de la columna dorsal (cuneiforme y grácil). Las neuronas de segundo orden cruzan al lado opuesto y continúan ascendiendo a través de los lemniscos mediales. En el tálamo, las fibras del lemnisco medial terminan en la zona talámica de relevo sensitivo (complejo ventrobasal).

Orientación espacial de las fibras nerviosas

Las fibras nerviosas adquieren una diversa orientación espacial. En el tálamo, se representa el extremo caudal del cuerpo en las porciones más laterales del complejo ventrobasal y la cabeza y la cara en sus zonas mediales. El lado izquierdo del cuerpo queda representado a la derecha en el tálamo y viceversa.

Corteza somatosensitiva

Las señales sensitivas pertenecientes a cualquier modalidad de sensación terminan en la corteza cerebral inmediatamente por detrás de la cisura central. La porción de la corteza cerebral delante de la cisura central se llama corteza motora y está dedicada a controlar las contracciones musculares y los movimientos del cuerpo.

Áreas somatosensitivas I y II

El área somatosensitiva I es mucho más extensa e importante. El área somatosensitiva I recibe señales de las diferentes porciones corporales, mientras que el área II solo de la cara, brazos y piernas. Son necesarias las protecciones desde el área somatosensitiva I para que funcione el área II.

Orientación espacial de las señales en el área somatosensitiva I

El área somatosensitiva I detrás de la cisura central, en la circunvolución poscentral (áreas de Brodmann 3, 1 y 2). Cada lado de la corteza recibe información sensitiva exclusivamente del lado corporal opuesto. Los labios, la cara y el pulgar están representados en grandes zonas de corteza somática, el tronco y la parte inferior del cuerpo en pequeñas zonas. Los tamaños de los territorios son directamente proporcionales al número de receptores sensitivos especializados en cada zona periférica respectiva del organismo. La cabeza está representada en la porción más lateral y la parte inferior del cuerpo en la zona medial del área somatosensitiva I.

Capas de la corteza somatosensitiva y su función

1. La señal sensitiva entrante excita la capa IV, y se propaga hacia la superficie de la corteza.
2. Las capas I y II reciben señales de entrada difusas procedentes de los centros inferiores del encéfalo que facilitan regiones corticales.
3. Las capas II y III envían axones hacia las porciones emparentadas entre sí de la corteza cerebral a través del cuerpo caloso.
4. Las capas V y VI mandan axones hacia las partes más profundas del sistema nervioso. La capa V a las zonas más alejadas y la capa VI hacia el tálamo.

Organización en columnas verticales

Cada una de estas columnas se dedica a una sola modalidad sensitiva específica. A medida que uno se aleja hacia atrás en el área somatosensitiva I, las columnas verticales responden cada vez más a los receptores cutáneos de adaptación lenta.

Funciones del área somatosensitiva I

La resección bilateral provoca:

1. Incapacidad de localizar las diversas sensaciones de forma diferenciada.
2. Incapacidad de valorar un grado crítico de presión.
3. Incapacidad de valorar el peso de los objetos.
4. Incapacidad de valorar las formas o la configuración de los objetos (astereognosia).
5. Incapacidad de valorar la textura de los materiales.

Características generales

1. Existe una divergencia en cada etapa sináptica.
2. Distinción entre dos puntos. La razón de esta discrepancia reside en la cantidad diferente de receptores táctiles especializados que existe entre dos regiones diferentes. La capacidad del sistema sensitivo para distinguir esta situación es influenciada por la inhibición lateral.

3. Las señales inhibitoras laterales se propagan hacia los lados de la señal excitadora e inhiben las neuronas adyacentes. La inhibición lateral bloquea la dispersión lateral de las señales excitadoras y acentúa el grado de contraste en el patrón sensitivo percibido por la corteza cerebral.
4. Informa al sistema sensitivo sobre la producción de cambios rápidos en las condiciones periféricas.
5. Las señales vibratorias se transmiten por la vía de la columna dorsal.
6. El objetivo final de la mayor parte de la estimulación sensitiva consiste en informar a la psique sobre el estado del cuerpo y su entorno. El corpúsculo de Pacini es capaz de medir con precisión cambios sumamente minúsculos del estímulo a niveles de intensidad bajos.
7. Principio de Weber-Fechner: la proporción de cambio necesaria en la potencia del estímulo para su detección permanece básicamente constante.
8. Ley de la potencia: existe una relación lineal entre la potencia del estímulo interpretado y la del estímulo real.

Sensibilidades posicionales

También llamadas sensibilidades propioceptoras, se dividen en dos tipos: sensibilidad posicional estática y velocidad de la sensibilidad al movimiento (cinestesia o propiorecepción dinámica).

El conocimiento de la posición depende la información sobre el grado de angulación de todas las articulaciones. Intervienen tantos receptores táctiles cutáneos como receptores profundos cercanos a las articulaciones. Los receptores más relevantes figuran en los husos musculares. La angulación extrema es detectada por los corpúsculos de Pacini, las terminaciones de Ruffini y otros receptores semejantes a los tendinosos de Golgi. Los corpúsculos de Pacini y los husos musculares están especialmente adaptados para detectar una velocidad de cambio rápida.

Las neuronas talámicas son las encargadas de procesar la información de sensibilidad posicional. Estas señales se emplean para decirle al psiquismo cuál es el grado de rotación de una articulación. Pertenecen a dos categorías: 1) las que presentan una máxima estimulación cuando la articulación se halla en rotación plena, 2) las que la presentan cuando están en la rotación mínima.

Áreas de asociación somatosensitiva

Las áreas 5 y 7 de Brodmann tienen la labor de descifrar los significados más profundos de la información sensitiva, por lo que se les denomina como áreas de asociación somatosensitiva. Recibe las señales del área somatosensitiva, los núcleos ventrobasales del tálamo, otras zonas talámicas, la corteza visual y la corteza auditiva. La amorfosíntesis es el efecto causado por la eliminación de esta área donde el individuo no es capaz de reconocer objetos y formas complejas percibidas.

Transmisión por la vía anterolateral

Esta vía se encarga de la transmisión de señales sensitivas ascendentes por la médula espinal y en dirección al encéfalo; transporta señales que no requieren una localización muy diferenciada ni una distinción de intensidad.

Anatomía

Las fibras anterolaterales de la médula espinal se origina sobre todo en las láminas I, IV, V y VI del asta dorsal. Cruzan de inmediato por la comisura anterior de la médula hacia las columnas blancas anterior y lateral del lado opuesto en sentido ascendente hacia el encéfalo. La estación terminal es doble: 1) núcleos de la formación reticular en el tronco encefálico, 2) el complejo ventrobasal y núcleos intralaminares. Las señales finalizan en los núcleos talámicos, donde se mandan hacia la corteza somatosensitiva.

Las señales doloras terminan en los núcleos de la formación reticular en el tronco del encéfalo.

Características

1. La velocidad oscila entre 8 y 40 m/s.
2. El grado de localización espacial de las señales es escaso.
3. La gradación de las intensidades también es mucho menos precisa.
4. Mala capacidad para transmitir señales que se repitan o varíen con rapidez.
5. Se transite: el dolor, la temperatura, el cosquilleo, el picor, las sensaciones sexuales, el tacto grosero y la presión.

Aspectos especiales del funcionamiento somatosensitivo

1. Función del tálamo: el tálamo posee una pequeña capacidad de distinguir las sensaciones táctiles, porque se encarga solamente de transmitir este tipo de información a la corteza.
2. Señales corticófugas: siguen un sentido retrógrado desde la corteza cerebral hacia las estaciones de relevo sensitivo inferiores en el tálamo, el bulbo raquídeo y la médula espinal. Se encargan de controlar la intensidad de la sensibilidad que presentan las entradas sensitivas (carácter inhibidor).
3. Dermatomas: cada nervio raquídeo se encarga de un campo segmentario de la piel. Entre estos, existe solapamiento. Este recurso se emplea para determinar el nivel de la médula espinal en el que se ha producido una lesión cuando quedan alteradas las sensaciones periféricas por lesión.

El dolor como mecanismo protector

El dolor es la respuesta ante un estímulo doloroso cuando un tejido resulta dañado y aleja al individuo para que se aleje de ese estímulo.

Tipos y cualidades del dolor

Dolor rápido	Dolor lento
Dolor intenso, punzante, agudo y eléctrico, no es perceptible en los tejidos más profundos del organismo. Puede localizarse con mucha precisión en diversas partes del cuerpo.	Dolor lento urente, sordo, pulsátil, nauseoso y crónico. Asociado a destrucción tisular. Propicia sufrimiento insoportable y prolongado. Perceptible en la piel y tejidos u órganos profundos. Resulta difícil de localizar puntualmente.

Receptores para el dolor y su estimulación

Los receptores para el dolor son terminaciones nerviosas libres extendidos por las capas superficiales de la piel y de ciertos tejidos internos (periostio, paredes arteriales, hoces y tienda en la bóveda craneal y superficies articulares).

Tipos de estímulos

Se dividen en mecánicos, térmicos y químicos. El dolor rápido es causado por estímulos mecánicos y térmicos; el dolor lento por los tres.

El dolor químico puede ser causado por bradicinina, serotonina, histamina, iones potasio, ácidos, acetilcolina y enzimas proteolíticas. La sustancia P y las prostaglandinas favorecen la sensibilidad pero no la activan.

Naturaleza no adaptativa

La adaptación de los receptores para el dolor es muy escasa o nula en absoluto. La excitación de las fibras para el dolor crece cada vez más. El aumento de la sensibilidad en los receptores para el dolor se llama hiperalgesia.

Velocidad de lesión tisular como estímulo para el dolor

Cualquier persona comienza a percibir dolor cuando la piel se calienta por encima de los 45° C; el dolor producido por el calor guarda íntima relación con la velocidad de la lesión tisular y con el daño total sucedido. La intensidad del dolor también mantiene relación con la velocidad de la lesión tisular ocasionada por infecciones bacterianas, isquemia y contusión tisular.

Estímulos dolorosos químicos durante la lesión tisular

La bradicinina es la sustancia que parece más dolorosa y es el agente con mayor responsabilidad sobre el dolor generado después de un daño celular.

Isquemia como causa de dolor

Cuando queda bloqueado el flujo sanguíneo hacia un tejido, este se vuelve muy doloroso en cuestión de minutos. Entre mayor sea el metabolismo de este tejido, más rápido

aparece el dolor. Esto es causado por la acumulación de grandes cantidades de ácido láctico en los tejidos y la producción de bradicinina y enzimas proteolíticas que estimulan las terminaciones nerviosas para el dolor.

Espasmo como causa de dolor

Causa fundamental de muchos síndromes clínicos dolorosos, el espasmo acelera el metabolismo del tejido muscular, lo que acentúa la isquemia relativa y crea condiciones ideales para la liberación de sustancias químicas inductoras del dolor.

Vías dobles para la transmisión de señales de dolor en el SNC

Las terminaciones nerviosas libres utilizan dos vías distintas para transmitir sus señales.

Fibras periféricas

Fibras rápidas	Fibras lentas
Transmiten señales que nacen con estímulos mecánicos o térmicos a través de pequeñas fibras A δ (6-30 m/s). El glutamato es el neurotransmisor de estas fibras.	Transmiten señales que se suscitan de estímulos químicos, mecánicos y térmicos persistentes por medio de fibras C (0.5-2 m/s). La sustancia P, que se libera con mayor lentitud, se encarga de transmitir el dolor crónico.

Vías dobles

El doble sistema de inervación genera una sensación dolorosa doble: un dolor rápido llega al cerebro, para informar acerca de la situación y suscitar una reacción inmediata, seguido de un dolor lento 1s después del estímulo, que incrementa el dolor y obliga a mitigar la causa. Al entrar a la médula a través de las raíces dorsales, las fibras terminan en neuronas de proyección situadas en las astas dorsales, y toman dos caminos hacia el encéfalo:

Fascículo neoespinal	Fascículo paleoespinal
Las fibras rápidas transmiten esta sensación en la modalidad térmica aguda y mecánica. Acaban en la lámina marginal de las astas dorsales donde excitan neuronas de segundo orden que dan origen a fibras largas que cruzan de inmediato al lado opuesto a través de la comisura anterior y giran en sentido ascendente hacia el encéfalo por las columnas anterolaterales. Pocas fibras terminan en la formación reticular y la mayoría terminan en el complejo ventrobasal en el tálamo junto al fascículo de la columna dorsal-lemnisco medial.	Transmite el dolor lento crónico. Las fibras periféricas acaban en la médula entre las láminas II y III (sustancia gelatinosa). Las fibras atraviesan neuronas de axón corto antes de entrar a la lámina V, donde dan origen a axones largos que se reúnen con las fibras rápidas atravesando la comisura anterior hacia el lado opuesto y ascienden después hacia el encéfalo por la vía anterolateral. Pocas fibras continúan hacia el tálamo. La mayoría acaban en los núcleos de la formación reticular, la región tectal del mesencéfalo y la zona gris periacueductal, que son regiones inferiores del encéfalo que perciben el dolor que causa sufrimiento.

Función de la formación reticular, tálamo y corteza cerebral

Los impulsos dolorosos que penetran en la formación reticular del tronco del encéfalo, el tálamo y otros centros inferiores provocan la percepción consciente del dolor. La corteza cerebral representa un papel importante en la interpretación de las cualidades del dolor.

Capacidad de avivar la excitabilidad cerebral global

La estimulación eléctrica de las zonas donde acaba el dolor de tipo lento que causa sufrimiento posee un potente efecto potenciador de la actividad nerviosa por todo el encéfalo.

Interrupción quirúrgica de las vías para el dolor

Cuando una persona sufre dolor intenso e incoercible es necesario aliviarlo por medio de cordotomía, un corte en las vías nerviosas para el dolor en cualquier punto entre varios posibles. Se efectúa una sección medular parcial del lado contrario al dolor a lo largo de su cuadrante anterolateral para interrumpir la vía sensitiva anterolateral. Otro método es cauterizar las regiones específicas encargadas de esta función en los núcleos intralaminares del tálamo.

Analgesia en el encéfalo y la médula espinal

Propiedad que posee el encéfalo en sí mismo para suprimir la entrada de señales dolorosas al SN y bloquea reflejos medulares (reflejo de retirada). Consta de tres componentes fundamentales:

1. Región gris periacueductal y las áreas periventriculares del mesencéfalo, la parte superior de la protuberancia y las porciones del tercer y cuarto ventrículo; envían señales hacia (2).
2. El núcleo magno del rafe y el núcleo reticular paragigantocelular; envían señales descendentes de segundo orden por las columnas dorsolaterales hacia (3).
3. Complejo inhibidor del dolor localizado en las astas dorsales de la médula espinal. A este nivel las señales analgésicas tienen la capacidad de bloquear el dolor antes de su transmisión al encéfalo.

La estimulación eléctrica de la región gris y el núcleo del rafe es capaz de suprimir señales de dolor potentes que penetran a través de las raíces medulares dorsales. La activación que excita la región gris a niveles más altos del cerebro (núcleos periventriculares del hipotálamo y fascículo prosencefálico medial) puede suprimir el dolor.

Las sustancias transmisoras encefalina y serotonina son liberadas cuando se estimulan diferentes componentes. La encefalina propicia una inhibición presináptica y postsináptica de las fibras del dolor C y Aδ al hacer sinapsis en las astas dorsales.

Opioides cerebrales

La inyección de una cantidad minúscula de morfina en el núcleo periventricular o en la región gris periacueductal provoca un grado extremo de analgesia. Las sustancias opioides de secreción natural en el encéfalo tienen la misma función. Son productos de degradación de la proopiomelanocortina, proencefalina y prodinorfina. Las sustancias opioides más importantes: β -endorfina (hipotálamo e hipófisis), metencefalina, leuencefalina y dinorfina (tronco encefálico y médula espinal). Éstas se encargan de la activación del sistema de analgesia y de la inactivación de las vías para el dolor.

Inhibición por señales sensitivas táctiles simultáneas

La estimulación de fibras sensitivas grandes A β procedentes de los receptores táctiles periféricos pueden deprimir la transmisión de las señales de dolor procedentes de la misma región corporal por inhibición lateral. Este mecanismo y la excitación psicógena presentan el fundamento de alivio doloroso de la acupuntura. La estimulación eléctrica también es un tratamiento para el dolor.

Dolor referido

El dolor de una parte del cuerpo situada bastante alejada del tejido que lo origina. El mecanismo del dolor se da porque las ramas de las fibras para el dolor visceral hacen sinápsis en la médula sobre las mismas neuronas de segundo orden que reciben las señales dolorosas desde la piel.

Dolor visceral

Útil para el diagnóstico de inflamación visceral, enfermedades infecciosas y otros padecimientos. El dolor visceral consiste en que los daños de tipo muy localizado en las vísceras rara vez originan un dolor intenso; en cambio, cualquier fenómeno que produzca estimulación difusa de las terminaciones nerviosas para el dolor en una víscera provoca un dolor intenso.

Causas del dolor visceral verdadero

1. Isquemia: produce un dolor visceral del mismo modo que en otros tejidos.
2. Estímulos químicos: p.ej. las sustancias perjudiciales pasan desde el tubo digestivo a la cavidad peritoneal, lo que produce un fenómeno de terrible intensidad.
3. Espasmo de las vísceras huecas: por estimulación mecánica de las terminaciones nerviosas o por la reducción del flujo sanguíneo que se dirige al músculo.
4. Hiperdilatación de una víscera hueca: hiperestiramiento de los propios tejidos que puede llevar al colapso de vasos sanguíneos y favorecer el dolor isquémico.
5. Vísceras insensibles: el parénquima hepático y los alveolos pulmonares son insensibles al dolor, pero las estructuras circundantes son muy sensibles al dolor.

Dolor parietal

Las superficies parietales (peritoneo, pleura y pericardio) reciben amplia inervación dolorosa de los nervios raquídeos periféricos, por lo que el dolor procedente de la pared que recubre una víscera con frecuencia tiene carácter agudo.

Localización de dolor visceral

Las sensaciones abdominales y torácicas se transmiten a través de dos vías hacia el SNC. La vía visceral verdadera recurre a las fibras sensitivas para el dolor contenidas en los haces nerviosos autónomos y resultan referidas a regiones superficiales. La vía parietal transporta directamente hacia los nervios raquídeos locales, y suelen quedar localizados directamente sobre la zona dolorosa.

Localización del dolor referido

Cuando el dolor visceral queda referido a la superficie, en general el dolor se localiza en el dermatoma del segmento del que procedía este órgano visceral en el embrión. (p.ej. el dolor cardíaco queda referido en la zona lateral del cuello, el hombro, los músculos pectorales, el brazo y el área subesternal del tórax. El dolor gástrico queda referido al epigastrio anterior por encima del ombligo). El dolor procedente de las vísceras suele estar localizado en dos regiones superficiales del cuerpo al mismo tiempo debido a su transmisión doble a través de la vía visceral referida y parietal directa.

Alteraciones clínicas del dolor y sensibilidades somáticas

Hiperalgesia: cuando una vía para el dolor se vuelve demasiado excitable. Es excesivamente sensible a los propios receptores para el dolor (hiperalgesia primaria) o posee excesiva facilitación de la transmisión sensitiva (hiperalgesia secundaria).

Herpes zóster: la causa del dolor se supone que es la infección vírica de las neuronas infectadas en el ganglio raquídeo, lo que causa un exantema. El dolor es correspondiente al dermatoma inervado por el ganglio raquídeo infectado.

Tic doloroso: neuralgia del trigémino o del glosofaríngeo, dolor lancinante en un lado de la cara que sigue la zona de distribución sensitiva del quinto o el noveno par craneal.

Síndrome de Brown-Séquard: cuando la médula espinal sufre una sección en un lado. Cualquier función motora queda bloqueada en todos los segmentos del mismo lado del corte por debajo de su nivel, se pierden algunas modalidades sensitivas en el lado contrario, las sensaciones de dolor, calor y frío desaparecen en todos los dermatomas del lado opuesto del cuerpo, las sensibilidades que no se transmiten más que por las columnas dorsales y dorsolaterales se pierden en el mismo lado de la sección en todos los dermatomas inferiores a su nivel, el tacto ligero queda alterado del mismo lado del corte y el tacto grosero aún persiste debido a su transmisión parcial por el fascículo espinotalámico opuesto.

Cefalea

Tipo de dolor referido a la superficie de la cabeza desde sus estructuras profundas.

Cefaleas de origen intracraneal

La tracción sobre los senos venosos que rodean al cerebro, la lesión de la tienda, el estiramiento de la duramadre en la base del encéfalo o cualquier estímulo que traumatice los casos sanguíneos de las meninges (en especial la arteria menígea media) tienen la capacidad de despertar un dolor intenso. La estimulación de los receptores para el dolor situados en la bóveda craneal desencadena impulsos dolorosos en la porción cerebral del quinto par referida hacia la mitad anterior de la cabeza. Los impulsos dolorosos procedentes de la zona infratentorial penetran a través de los nervios glosofaríngeo, vago y segundo cervical y causan cefalea occipital referida en parte posterior de la cabeza.

Cefalea de la meningitis: de las cefaleas más intensas. La inflamación de las meninges puede provocar cefalea extrema con dolor referido a toda la cabeza.

Cefalea ocasionada por descenso en la presión del LCR: al perder LCR se elimina el componente de flotación cerebral, por lo que el peso del cerebro estira y deforma las diversas superficies de la duramadre y desencadena el dolor.

Jaqueca: puede derivar de fenómenos vasculares anormales. El vasoespasmo produce una isquemia de ciertas porciones cerebrales, que es la responsable de los síntomas prodrómicos. El estiramiento excesivo de las paredes arteriales intra y extracraneales despierta el dolor auténtico de las jaquecas. La diseminación de la depresión cortical, alteraciones psicológicas y el vasoespasmo originado por el exceso local de potasio en el líquido extracelular cerebral son causas de la jaqueca.

Tipos extracraneales de cefalea

Resultante de un espasmo muscular: la tensión emocional a menudo hace que muchos músculos de la cabeza queden espásticos lo que puede causar cefalea.

Por irritación de las estructuras nasales y paranasales: una infección u otro proceso irritante en extensas regiones de las estructuras nasales suman y propician una cefalea.

Por trastornos oculares: los problemas para enfocar la vista originan contracción muy potente de los músculos ciliares, la contracción tónica provoca cefalea retroorbitaria. Cuando los ojos quedan expuestos a una radiación excesiva por rayos luminosos y se irritan las conjuntivas o quema la retina queda referido un dolor en la superficie de la cabeza o en posición retroorbitaria.

Sensibilidad térmica

El ser humano puede percibir diferentes gradaciones de frío y calor. Las gradaciones térmicas se distinguen como mínimo por tres tipos de receptores sensitivos: receptores para el frío, para el calor y para el dolor. Los receptores para el frío y para el calor están situados inmediatamente por debajo de la piel en puntos sueltos separados entre sí. Las señales de calor se transmiten en fibras C y las de frío en tipo A δ , C y terminaciones libres.

Estimulación de los receptores térmicos

Cuatro tipos de fibras nerviosas:

1. Fibra para el dolor estimulada por el frío: temperaturas por debajo de los 15°C.
2. Fibra para el frío: temperaturas entre 7 y 42°C.
3. Fibra para el calor: temperaturas entre 30 y 49°C.
4. Fibra para el dolor estimulada por el calor: temperaturas sobre 45°C.

Un grado extremo de frío o de calor puede tener un carácter doloroso y estas dos sensaciones, cuando alcanzan la intensidad suficiente, ofrecen casi una sensación de la misma calidad (la sensación de frío helado y calor ardiente es casi idéntica).

Adaptación de los receptores térmicos

El receptor térmico se adapta en gran medida pero nunca en un 100%. Las sensaciones térmicas responden notablemente a los cambios de temperatura.

Mecanismo de estimulación de los receptores térmicos

Se cree que los receptores para el frío y para el calor se estimulan por cambios producidos en sus índices metabólicos, pues la temperatura modifica la velocidad de reacciones químicas intracelulares. La detección de la temperatura deriva de su estimulación química al verse modificada por la temperatura. Si un área grande es estimulada a la vez, las señales térmicas en ella se suman entre sí (sumación espacial).

Transmisión de señales térmicas en el SN

Las señales térmicas se transmiten por vías paralelas a las que siguen las señales dolorosas. Al entrar en la médula espinal, ascienden y descienden por el fascículo de Lissauer y después terminan en las láminas I, II y III de las astas dorsales. Después, las señales se incorporan a fibras térmicas ascendentes largas que cruzan hacia el fascículo sensitivo anterolateral opuesto y acaban en la formación reticular del tronco del encéfalo o en el complejo ventrobasal del tálamo. Pocas señales llegan a la corteza sensitiva somática del cerebro. La eliminación de la circunvolución poscentral de la corteza en su integridad va a reducir la capacidad de distinguir gradaciones de temperatura pero no abolirla.

FUNCIONES MOTORAS DE LA MÉDULA ESPINAL: REFELEJOS MEDULARES

La información sensitiva genera respuestas motoras que comienzan en la médula espinal, se extienden hacia el tronco del encéfalo y finalmente alcanzan el cerebro. El cerebro no hace más que enviar señales que hacen llegar órdenes a la médula espinal para poner acción en los procesos.

Organización de la médula espinal para las funciones motoras

La sustancia gris medular es la zona de integración para los reflejos medulares. Las señales sensitivas penetran por las raíces sensitivas posteriores. Después de entrar: 1) una rama del nervio sensitivo termina casi de inmediato en la sustancia gris de la médula y suscita reflejos medulares, 2) la otra rama transmite sus impulsos hacia niveles más altos del sistema nervioso.

Motoneuronas anteriores

Se encuentran en las astas anteriores de la sustancia gris medular y son más grandes que las demás. En ellas nacen las fibras nerviosas que salen de la médula a través de las raíces anteriores e inervan directamente las fibras de los músculos esqueléticos. Pueden ser:

Motoneuronas α : dan origen a fibras nerviosas motoras grandes de tipo A α . Inervan las grandes fibras musculares esqueléticas; una sola fibra nerviosa excita de tres a varios cientos de fibras musculares esqueléticas a cualquier nivel (en conjunto forman la unidad motora).

Motoneuronas γ : son mucho más pequeñas y están situadas en las astas anteriores de la médula. Estas células transmiten impulsos a través de fibras tipo A γ dirigidas hacia las fibras intrafusales del músculo esquelético.

Interneuronas

Presentes en todas las regiones de la sustancia gris medular, son de tamaño pequeño y poseen naturaleza muy excitable. Entre sí presentan múltiples interconexiones. Las conexiones entre las interneuronas y las motoneuronas anteriores son responsables de la mayoría de las funciones integradoras que cumple la médula. Posee circuitos divergentes, convergentes y de descarga repetida. Unas pocas señales sensitivas aferentes acaban directamente sobre las motoneuronas anteriores; casi todas pasan antes a través de las interneuronas.

Células de Renshaw: son pequeñas neuronas localizadas en las astas anteriores. Tienen función inhibitoria que transmite señales de este carácter hacia las motoneuronas adyacentes. La estimulación de cada neurona tiene a inhibir a las motoneuronas contiguas según el efecto de inhibición lateral.

Fibras propioespinales: más de la mitad de todas las fibras nerviosas que ascienden y descienden por la médula son fibras propioespinales, que hacen su recorrido de un segmento medular a otro. Estas fibras propioespinales suministran una vía para los reflejos multisegmentarios.

Receptores sensitivos musculares y sus funciones

El control adecuado del funcionamiento muscular exige la excitación del músculo por parte de las motoneuronas anteriores y una retroalimentación permanente con la información sensitiva para indicar su estado funcional. Los músculos y sus tendones reciben una inervación abundante por parte de dos tipos especiales de receptores sensitivos: los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi. Las señales procedentes de estos dos receptores tienen como propósito el control muscular intrínseco. Operan prácticamente por completo a un nivel subconsciente y transmiten información hacia la médula, el cerebelo y la corteza cerebral.

Función receptora del huso muscular

Estructura e inervación motora del huso muscular

Dispuesto alrededor de fibras musculares intrafusales (no se contraen por carencia de miosina y actina), funciona como un receptor sensitivo. Las porciones finales que sí se contraen reciben su excitación de fibras nerviosas motoras y o fibras aferentes y. Las fibras eferentes a grandes inervan el músculo esquelético extrafusar.

Inervación sensitiva del huso muscular

La porción receptora se localiza en la parte central del huso. Su estimulación procede del estiramiento de dicha porción intermedia del huso. El receptor puede excitarse por dos mecanismos: 1) por alargamiento que estira la porción intermedia, o 2) por la contracción de las porciones finales de la fibra. Las terminaciones pueden ser:

Terminación primaria o anuloespiral: gran fibra nerviosa sensitiva que rodea la porción de cada fibra intrafusar, de tipo Ia, que envía señales sensitivas hacia la médula (70-120 m/s).

Terminación secundaria: fibra nerviosa sensitiva más pequeña de tipo II que se extiende como las ramas de un arbusto.

División de las fibras intrafusales

1) Fibras musculares de bolsa nuclear: varios núcleos de las fibras se encuentran agregados en bolsa en la porción central, estimula las terminaciones nerviosas sensitivas primarias.

2) Fibras de cadena nuclear: núcleos están alineados formando una cadena a lo largo de toda la región receptora, estimula las terminaciones nerviosas sensitivas primarias y secundarias.

Respuesta estática: las terminaciones primarias y secundarias siguen enviando sus impulsos durante varios minutos como mínimo si el propio huso muscular permanece estirado.

Respuesta dinámica: cuando la longitud de huso aumenta de forma repentina, la terminación primaria recibe un estímulo potente al que responde de un modo vivísimo a una velocidad de cambio rápida en la longitud del huso. En el momento en que su longitud deje de crecer, esta frecuencia regresa al nivel de respuesta estática.

Control de la intensidad por los nervios motores

Los nervios motores y que se dirigen hacia el huso muscular pueden dividirse en dos tipos: γ -dinámicos (γ -d) que excitan sobre todo las fibras intrafusales de la bolsa nuclear, y γ -estáticos (γ -s) que excitan la cadena nuclear. Cuando las fibras γ -d activan las fibras de bolsa nuclear, la respuesta dinámica del huso muscular queda enormemente potenciada. La estimulación de las fibras γ -s favorece la respuesta estática.

Descarga continua de los husos musculares

Los husos son capaces de enviar hacia la médula espinal señales positivas (estiramiento muscular) o negativas (contracción).

Reflejo miotático muscular

Es la manifestación más sencilla del funcionamiento del huso. La activación de los husos causa la contracción refleja de las fibras musculares esqueléticas grandes.

Circuito neuronal del reflejo miotático

Una fibra nerviosa propioceptora de tipo Ia que se origina en el huso muscular y penetra por una raíz posterior de la médula espinal, se encamina directamente hacia el asta anterior y hace sinapsis con las motoneuronas anteriores que devuelven fibras nerviosas motoras al mismo músculo, construyendo una vía monosináptica que permite el regreso al músculo de la señal refleja. La mayoría de fibras de tipo II procedentes del huso muscular acaban en interneuronas de la sustancia gris medular.

Reflejos miotáticos dinámicos y estáticos

- 1) El reflejo dinámico: surge con la potente señal dinámica transmitida desde las terminaciones sensitivas primarias, originado por su estiramiento o distensión rápida. Sirve para oponerse a los cambios súbitos sufridos en la longitud muscular.

- 2) El reflejo estático: deriva de las señales receptoras estáticas continuas transmitidas por las terminaciones primarias y secundarias. Produce un grado de contracción muscular que puede mantenerse razonablemente constante.

Función amortiguadora: capacidad de evitar las oscilaciones o las sacudidas en los movimientos corporales.

Mecanismo amortiguador

Cuando el aparato del huso muscular no funciona satisfactoriamente, la contracción del músculo adquiere un carácter entrecortado durante el curso de una señal. La capacidad del mecanismo amortiguador es suavizar las contracciones musculares (función de promediado de la señal).

Inervación del huso muscular en la actividad motora voluntaria

El 31% de todas las fibras nerviosas motoras dirigidas al músculo son fibras eferentes y tipo A pequeñas. Siempre que se transmiten señales hacia las motoneuronas α , las motoneuronas γ reciben un estímulo simultáneo (coactivación de las motoneuronas α y γ). Esto hace que se contraigan al mismo tiempo las fibras musculares esqueléticas extrafusales (α) y las fibras intrafusales del huso muscular (γ).

La coactivación impide que el reflejo miotático muscular se oponga a la contracción del músculo. Si el huso muscular no se contrajera y relajara al unísono con las grandes fibras musculares, su porción receptora estaría oscilando y otras veces se encontraría hiperestirada.

Áreas encefálicas que regulan el sistema motor y

El sistema eferente γ se activa de forma específica con las señales procedentes de la región facilitadora bulborreticular del tronco encefálico y los impulsos transmitidos hacia la zona bulborreticular desde el cerebelo, los ganglios basales y la corteza cerebral.

Estabilización de la posición corporal durante la tensión

Una de las funciones más importantes que desempeña el sistema de los husos musculares consiste en estabilizar la posición corporal durante las acciones motoras a tensión. La región facilitadora bulborreticular transmite señales estimuladoras a través de las fibras nerviosas γ . La excitación de los husos musculares adecuados por parte de las señales procedentes de la región facilitadora bulborreticular del tronco encefálico estabiliza la posición de la mayoría de articulaciones.

Aplicación clínica del reflejo miotático

El reflejo rotuliano puede explorarse golpeando el tendón rotuliano con un martillo de reflejos, generando un reflejo miotático dinámico. El estiramiento de los husos

musculares es el único que hace falta para originar un reflejo miotático dinámico. Estos efectos se emplean para determinar la presencia o ausencia de una espasticidad muscular ocasionada por lesiones en las regiones motoras. Las grandes lesiones en las áreas motoras de la corteza cerebral provocan unas sacudidas musculares muy exageradas en los músculos del lado opuesto del cuerpo.

Clono

Fenómeno en que las sacudidas musculares pueden oscilar. Suele suceder cuando el reflejo miotático está muy sensibilizado por los impulsos facilitadores del encéfalo.

Reflejo tendinoso de Golgi

El órgano tendinoso de Golgi es un receptor sensitivo encapsulado por el que pasan las fibras del tendón muscular. Identifica la tensión muscular. El órgano tendinoso ofrece una respuesta dinámica y una respuesta estática siendo potente su reacción cuando la tensión aumenta y calmándose en cuestión de una fracción de segundo hasta un nivel constante de disparo más bajo. El órgano aporta información instantánea sobre el grado de tensión en cada músculo.

Transmisión de impulsos hacia el SNC

Las señales procedentes del órgano tendinoso se transmiten a través de fibras nerviosas grandes de conducción rápida Ib. Tales fibras envían impulsos hacia las zonas locales de la médula y después de hacer sinapsis en el asta posterior, siguen a través de las vías de fibras largas. Las señales medulares locales estimulan una sola interneurona inhibidora que actúa sobre la motoneurona anterior.

Naturaleza inhibidora

Cuando los órganos tendinosos se estimulan al aumentar la tensión, sus señales se transmiten hacia la médula espinal para provocar unos efectos reflejos de carácter inhibitor. Aporta un mecanismo de retroalimentación negativa que impide la producción de una tensión excesiva en el propio músculo. La reacción de alargamiento brusca en la médula espinal es capaz de causar la relajación instantánea de todo el músculo.

Misión del reflejo tendinoso

Igualar las fuerzas de contracción de distintas fibras musculares para dispersar la carga muscular entre todas las fibras e impedir la lesión de zonas aisladas de un músculo.

Función de los husos y los órganos tendinosos en combinación con el control motor

Los fascículos espinocerebelosos dorsales transportan datos inmediatos de los husos musculares y de los órganos tendinosos de Golgi directamente hacia el cerebelo.

Reflejo flexor y reflejo de retirada

El reflejo flexor permite retirar la extremidad del objeto estimulador; se suscita con mayor potencia mediante la estimulación de las terminaciones para el dolor (reflejo nociceptivo). El reflejo de retirada alejará una parte del cuerpo que reciba estímulos de dolor, pero el reflejo puede no quedar limitado a los músculos flexores.

Mecanismo neuronal del reflejo flexor

Se aplica un estímulo doloroso, se activan los músculos flexores del brazo y aparta la región de la fuente de dolor. Las vías para desencadenar el reflejo flexor alcanzan antes al conjunto de interneuronas de la médula espinal; la mayoría de las señales de este reflejo atraviesan muchas más células y abran los tipos: 1) circuitos divergentes con el fin de diseminar el reflejo hasta los músculos necesarios; 2) circuitos de inhibición recíproca a los músculos antagonistas; 3) circuitos para provocar una posdesarga, que depende de la intensidad del estímulo sensitivo que suscitó el reflejo. Debido a la posdescarga, el reflejo es capaz de mantener la zona irritada parta del estímulo durante 0.1-3s después de su acción.

Patrón de retirada

Depende del nervio sensitivo estimulado. Los centros integradores de la médula hacen que se contraigan los músculos que puedan resultar más eficaces para apartar la zona dolorosa del cuerpo del objeto causante del dolor (principio del signo local).

Reflejo extensor cruzado

Después de que cualquier estímulo suscite un reflejo flexor en una extremidad, la extremidad contraria comienza a extenderse.

Mecanismo neuronal

En el circuito formado entre la neurona sensitiva aferente y las motoneuronas del lado contrario de la médula encargadas de la extensión cruzada participan muchas interneuronas. Cuando ha desaparecido el estímulo doloroso, el reflejo extensor cruzado presenta un período posdescarga que deriva de los circuitos reverberantes establecidos entre las interneuronas.

Inhibición e inervación recíprocas

La excitación de un grupo de músculos normalmente está asociada a la inhibición de otro grupo. (p.ej. cuando el reflejo miotático activa un músculo, inhibe simultáneamente a sus antagonistas (inhibición recíproca-inervación recíproca)).

Reflejos posturales y locomotores

Reacción de apoyo positiva

Cuando se ejerce presión sobre la almohadilla plantar, el animal tensa lo suficiente las extremidades como para soportar el peso del cuerpo. Su aplicación sobre un lado causa la extensión en esa misma dirección (reacción del imán). Implica un circuito de interneuronas complejo.

Reflejos medulares de enderezamiento

Cuando un animal espinal está tendido sobre su costado realizará movimientos descoordinados para tratar de incorporarse. Algunos reflejos asociados a la postura tiene lugar en la médula espinal.

Movimientos de marcha y deambulación

Movimientos rítmicos de la marcha en un solo miembro

La oscilación hacia atrás y hacia adelante entre los músculos flexores y extensores puede darse incluso después de que se hayan cortado los nervios sensitivos, que deriva sobre todo de los circuitos mutuos de inhibición recíproca contenidos en la propia matriz de la médula, que provocan una alternancia entre las neuronas que controlan los músculos agonistas y los antagonistas.

El reflejo de tropezón consiste en que cuando un animal se tropieza con un obstáculo, esta maniobra sufrirá una detención transitoria seguida por una rápida sucesión de alza y movimiento hacia adelante. Por tanto, la médula representa un mecanismo controlador inteligente de la marcha.

Marcha recíproca en extremidades opuestas

Cada vez que se den pasos en sentido hacia delante con una extremidad, la opuesta corrientemente se desplazara hacia atrás. Este efecto deriva de la inervación recíproca existente entre ambos miembros.

Marcha en diagonal, reflejo de marcar el paso

Los pasos siguen un patrón de diagonal entre las patas delanteras y las traseras, manifestación de la inervación recíproca.

Reflejo de galope

Las extremidades anteriores se desplazan hacia atrás al unísono a la vez que las posteriores se mueven hacia adelante.

Reflejo de rascado

Se pone en marcha cuando se percibe una sensación de prurito o cosquilleo. Abarca dos funciones: 1) sensibilidad postural que permite a la garra encontrar el punto exacto de

irritación y 2) un movimiento de vaivén para el rascado, que implica circuitos de inervación recíproca que dan lugar a la oscilación.

Reflejos que causan espasmo muscular

Por fractura ósea

En los músculos que rodean a un hueso fracturado, el espasmo obedece a los impulsos dolorosos que hacen que los músculos experimenten una contracción tónica. Los anestésicos pueden atenuar el espasmo.

Abdominal por peritonitis

Los impulsos dolorosos procedentes del peritoneo parietal suelen hacer que los músculos del abdomen se contraigan intensamente (pueden expulsar los intestinos a través de la herida quirúrgica).

Calambres musculares

La causa de los calambres musculares es cualquier factor local irritante o la perturbación metabólica de un músculo. Se cree que la contracción estimula los mismos receptores sensitivos todavía más, lo que hace que la médula acentúe la intensidad de la contracción por retroalimentación positiva.

Reflejos autónomos de la médula espinal

Muchos reflejos autónomos segmentarios tienen lugar en la médula espinal. Los cambios de tono vascular, la sudoración, los reflejos intestino-intestinales, los reflejos peritoneo-intestinales, y los reflejos de evacuación para vaciar la vejiga o colon.

Reflejo de automatismo medular

El estímulo habitual que provoca este fenómeno es un dolor intenso o llenado excesivo de una víscera. El reflejo resultante afecta a grandes porciones de la médula. Sus efectos: 1) músculos esqueléticos que entran en un intenso espasmo flexor, 2) evacuación del colon y de la vejiga, 3) elevación de la presión arterial y 4) profusa sudoración.

Shock medular

Situación de silencio total. La actividad normal de las neuronas medulares depende en gran medida de su estimulación tónica continua por la descarga de las fibras nerviosas que llegan a la médula desde los centros superiores. Una vez que las neuronas pierden su fuente de impulsos facilitadores, potencian su propio grado de excitabilidad natural para compensar al menos parcialmente esta ausencia.

Parte de las funciones medulares que se ven afectadas durante el shock o después:

1. Al comienzo del shock, la presión desciende de forma radical por el bloqueo de la actividad del sistema nervioso simpático.
2. Los reflejos musculares esqueléticos integrados en la médula espinal resultan bloqueados. Los primeros reflejos en recuperarse son los miotáticos (reflejos flexores, posturales antigravitatorios y vestigios de la marcha).
3. Reflejos sacros encargados de controlar el vaciamiento de la vejiga y el colon quedan abolidos durante las primeras semanas.