

Tema 21-22

Control y organización motora

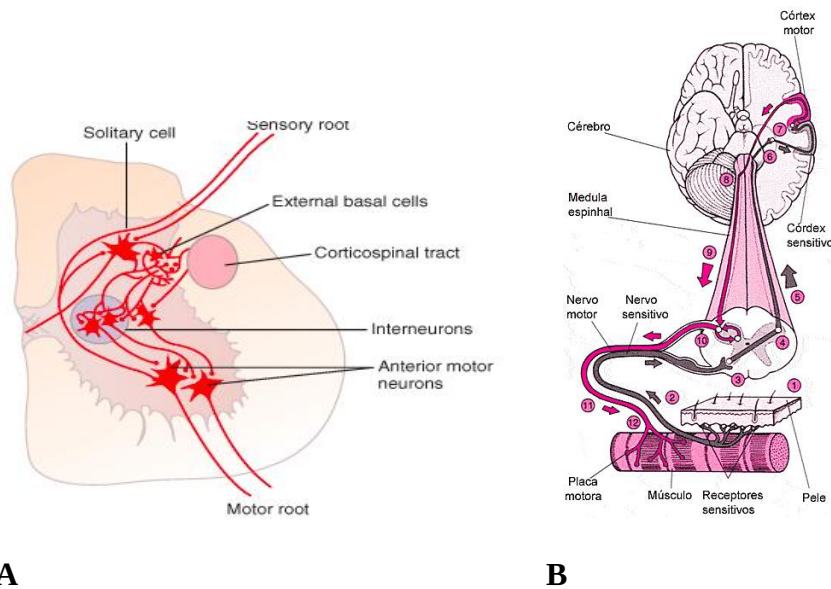
Índice:

1. Introducción
2. Receptores sensitivos musculares
 - 2.1 Los husos musculares
 - 2.2 Los órganos tendinosos de Golgi
 - 2.3 Respuestas de los órganos sensoriales del músculo
3. Efectos centrales de la señal del huso muscular
 - 3.1 Efectos restringidos al mismo segmento de la médula espinal
 - 3.1.1 Reflejo
 - 3.1.2 Reflejo
 - 3.2 Efectos entre segmentos medulares adyacentes
 - 3.2.1 Reflejo
 - 3.3 Efectos de orden mayor, participan estructuras cerebrales
4. Reflejo extensor cruzado
5. Función amortiguadora de los reflejos monosinápticos
6. Reflejo del órgano tendinoso de Golgi
 - 6.1 Amortiguamiento básico
 - 6.2 Amortiguamiento global
7. Control del músculo
 - 7.1 Trasmisión de las señales de la corteza a los músculos
 - 7.2 Tronco del encéfalo
 - 7.3 Cerebelo
 - 7.4 Ganglios basales

1. Introducción

Organización de la médula espinal para las funciones motoras

La sustancia gris medular es la zona de integración para los reflejos medulares.



La figura A muestra su organización típica en un único segmento medular. Conexiones de las fibras sensitivas periféricas y las fibras corticoespinales con las interneuronas y las motoneuronas anteriores de la médula espinal.

Figura B : Las señales sensitivas penetran en ella casi exclusivamente por las raíces sensitivas(posteriores).

Después de entrar, cada una viaja hacia dos destinos diferentes:

- 1) una rama del nervio sensitivo termina casi de inmediato en la sustancia gris de la médula y suscita reflejos medulares segmentarios de ámbito local y otros efectos a este nivel.
- 2) La otra rama termina sus impulsos hacia niveles más altos del sistema nervioso: las zonas superiores de la propia médula, el tronco de encéfalo o incluso la corteza cerebral.

Cualquier segmento de la médula espinal (a nivel de cada nervio raquídeo) contiene varios millones de neuronas en su sustancia gris. A parte de las neuronas sensitivas de relevo, encontramos de dos tipos:

- 1) Motoneuronas anteriores
- 2) Interneuronas

1) Motoneuronas anteriores:

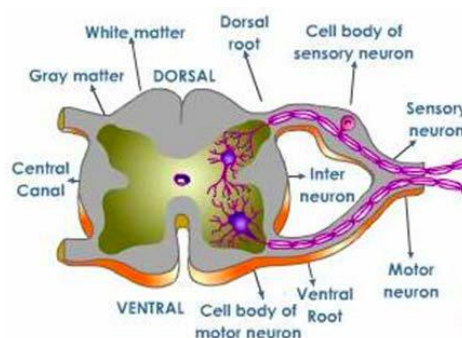
En cada segmento de las astas anteriores de la sustancia gris medular existen varios miles de neuronas cuyas dimensiones son de un 50 a un 100% más grandes que la mayor parte de las demás y se denominan motoneuronas anteriores.

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. Estas neuronas son de dos tipos:

- Motoneuronas α
 - Dan origen a fibras nerviosas motoras grandes tipo A α .
 - Se ramifican muchas veces y entran en el músculo esquelético inervando grandes fibras musculares esqueléticas.
 - Cada fibra A α puede inervar de 3 a cientos de **fibras musculares esqueléticas**.
- Motoneuronas γ :
 - Dan origen a fibras nerviosas motoras pequeñas A γ .
 - Inervan las **fibras intrafusales** dentro del **huso muscular**.

2) Interneuronas:

De tamaño pequeño y naturaleza muy excitable. Presentan múltiples interconexiones y muchas de ellas también establecen sinapsis directas con las motoneuronas anteriores.



2. Receptores sensitivos musculares (husos musculares y órganos tendinosos de Golgi)

El control adecuado del funcionamiento muscular exige no sólo la excitación del músculo por parte de las motoneuronas anteriores de la médula espinal, sino también una retroalimentación permanente con la información sensitiva que llega a ella procedente de cualquier músculo, para indicar su estado funcional en cada momento, es decir:

- la longitud del músculo
- la tensión del músculo
- Velocidad a qué cambian estas dos variables

Para comunicar esta información, los músculos y sus tendones reciben una innervación abundante por parte de dos tipos especiales de receptores sensitivos: 1) **los husos musculares** y 2) **los órganos tendinosos de Golgi**.

2.1 Los husos musculares

Es un **receptor sensorial propioceptor** situado dentro de la estructura del músculo que se estimula ante estiramientos lo suficientemente fuertes de éste.

Mide **la longitud** (grado de estiramiento) del músculo, **el grado de estimulación mecánica** y **la velocidad** con que se aplica el estiramiento y manda la información al SNC.

La **porción receptora** del huso muscular se localiza en **su parte central**. En esta zona las fibras musculares intrafusales carecen de los elementos contráctiles actina y miosina.

Inervación motora:

- Fibras nerviosas eferentes α (14 μm) que inervan el músculo esquelético **extrafusar**.
- Fibras nerviosas eferentes γ (5 μm) que inervan las fibras **intrafusales** (fibras musculares muy pequeñas del interior del huso).

Inervación sensitiva:

- Terminación primaria: Una gran fibra nerviosa sensitiva (**Ia**) rodea la porción central de cada fibra intrafusar. Gran velocidad de transmisión de la señal hacia la médula (70-120 m/s). Respuesta estática y dinámica al estiramiento.
- Terminación secundaria: Fibras más pequeñas, **tipo II**. Respuesta estática al estiramiento.

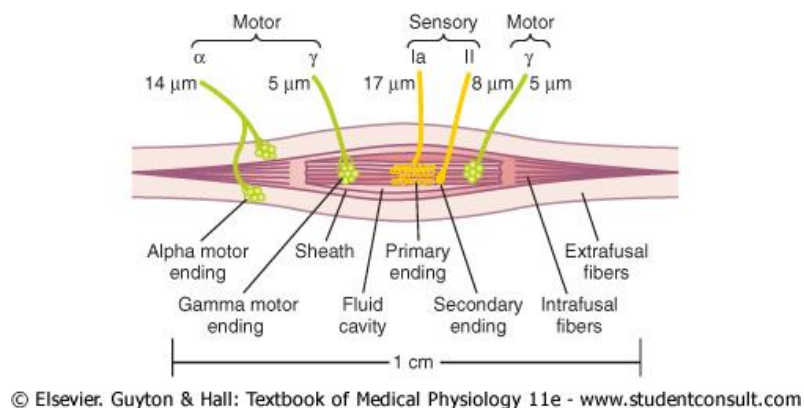


Imagen: Huso muscular, en el que se muestra su relación con las grandes fibras musculares esqueléticas extrafusales e intrafusales. También se muestra la innervación motora y sensitiva del huso.

Tipos de fibras intrafusales:

- Fibras de bolsa nuclear: De una a tres en cada huso. Varios núcleos de las fibras se encuentran agregados en bolsas.
- Fibras de cadena nuclear: Más pequeñas. De tres a nueve en cada huso. Los núcleos se encuentran alineados formando una cadena.

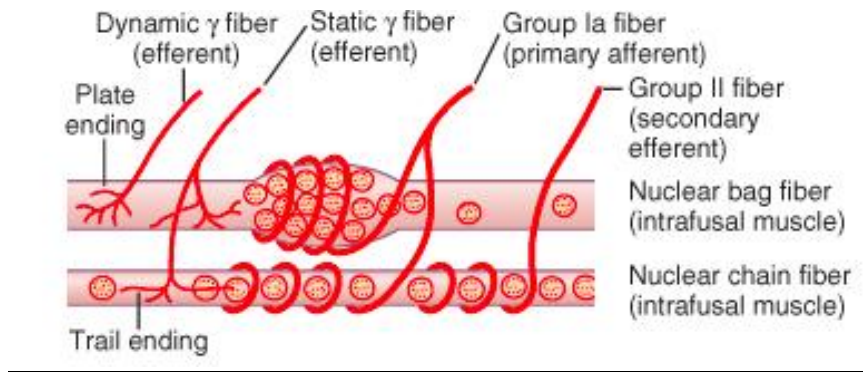


Imagen: Detalles de las conexiones nerviosas existentes desde las fibras de bolsa y de cadena nuclear en el huso muscular.

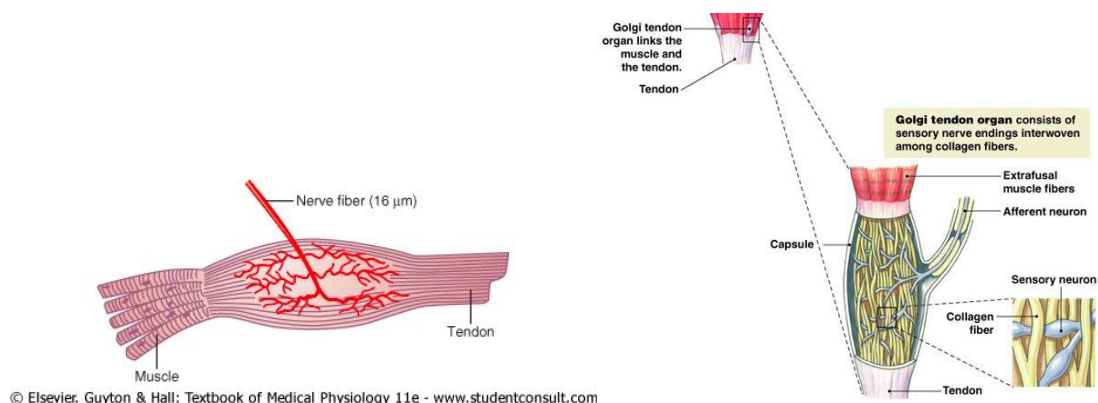
2.2 Los órganos tendinosos de Golgi

Es otro receptor sensorial situado en los tendones y se encarga de medir la **tensión** desarrollada por el músculo.

Es un receptor sensitivo encapsulado por el que pasan **fibras del tendón muscular**.

Suele estar **conectado a 10 o 15 fibras musculares** que lo estimulan cuando se tensan debido a la contracción o estiramiento del músculo.

Las señales procedentes del órgano tendinoso se transmiten a través de **fibras nerviosas grandes** de conducción rápida **tipo Ib**.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

2.3 Respuestas de los órganos sensoriales del músculo

Respuesta que generan estos receptores ante diferentes condiciones de estiramiento y contracción muscular:

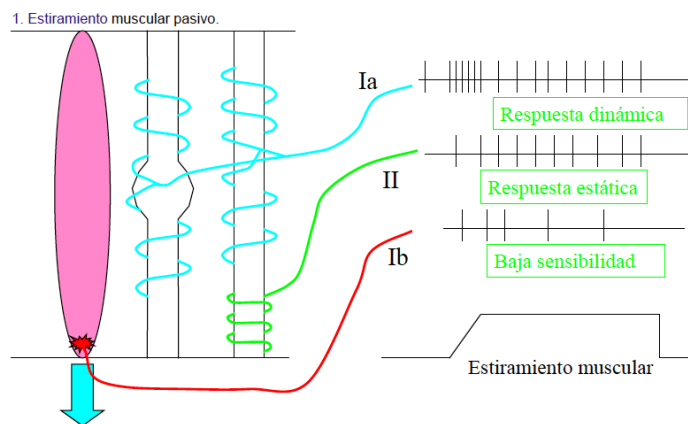
1. Estiramiento muscular pasivo
2. Estiramiento muscular pasivo combinado con la contracción de las fibras del huso
3. Contracción muscular activa sin contracción de las fibras del huso
4. Combinación de contracción muscular y de las fibras del huso

1. Estiramiento muscular pasivo:

- Terminación primaria (Ia). Respuesta estática (longitud) y dinámica al estiramiento(velocidad).
- Terminación secundaria (II). Respuesta estática al estiramiento(longitud).

Cuando la porción receptora del huso muscular se estira con lentitud, el número de impulsos transmitidos desde las terminaciones primarias y secundarias aumenta casi en proporción directa al grado de estiramiento y las terminaciones continúan transmitiendo estas señales durante varios minutos.

El órgano de Golgi (Ib) no es estimulado mientras la tensión muscular sea baja.



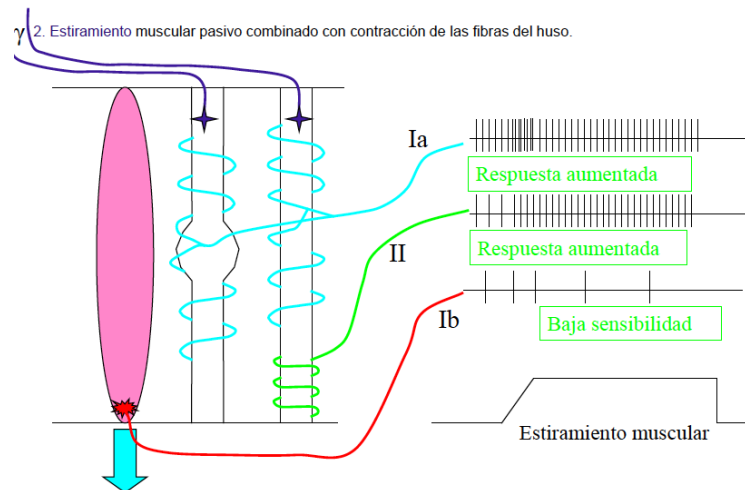
2. Estiramiento muscular pasivo combinado con la contracción de las fibras del huso.

- La sensibilidad de las terminaciones del huso al estiramiento aumenta por la contracción de las fibras intrafusales.
- Terminación primaria (Ia). Respuesta estática (longitud) y dinámica al estiramiento(velocidad).
- Terminación secundaria (II). Respuesta estática al estiramiento(longitud).

Cuando la longitud del receptor del huso aumenta de forma repentina, la terminación primaria(pero no la secundaria) recibe un estímulo potente. Este estímulo excesivo se denomina, **respuesta dinámica**, lo que significa que la terminación primaria responde de un modo vivísimo a una velocidad de cambio

rápida en la longitud del huso. La terminación primaria manda unos impulsos potentísimos hacia la médula espinal, para comunicar cualquier cambio ocurrido en la longitud del receptor del huso.

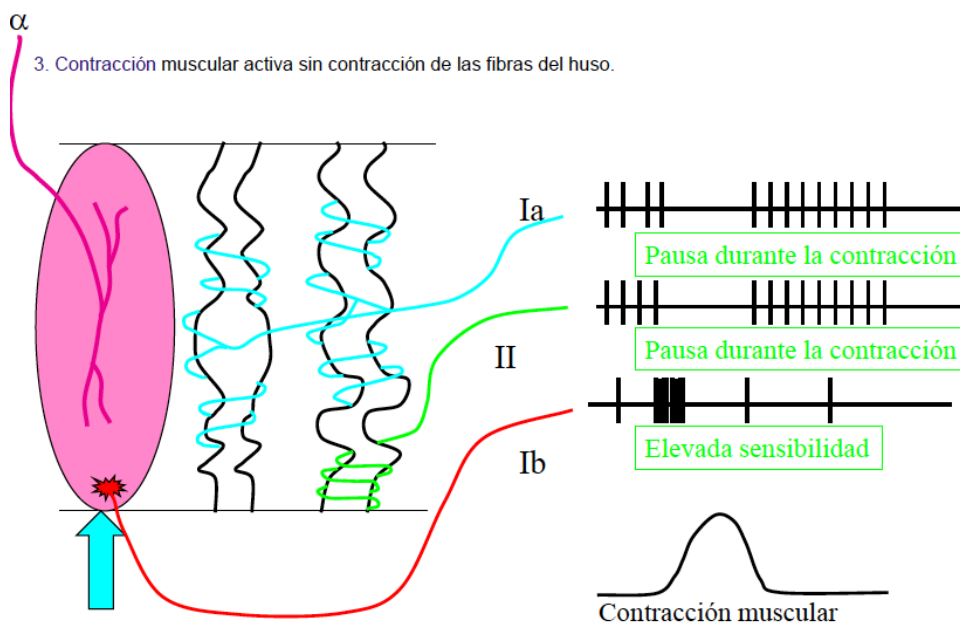
La contracción intrafusar no produce mucha tensión muscular. El órgano de Golgi(Ib) no es estimulado.



Las fibras gamma que solo van a las fibras extrafusales, las estimulan. En cambio las intrafusales en este modelo no están excitadas.

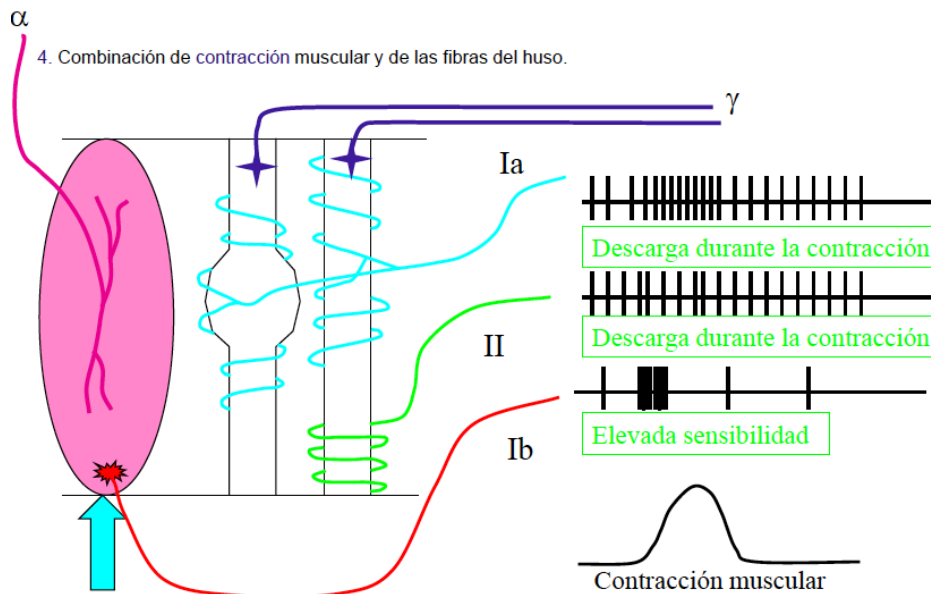
3. Contracción muscular activa, fibras extrafusales

- La activación de motoneuronas α produce contracción muscular de las fibras extrafusales. El acortamiento del músculo extrafusar descarga el huso (están destensando Ia y II)
- La tensión generada por la contracción extrafusar excita el órgano de Golgi (Ib)



4. Combinación de contracción muscular y de las fibras del huso

- La activación de motoneuronas α produce contracción muscular de las fibras extrafusales
- La activación de motoneuronas γ produce contracción muscular de las fibras intrafusales, con estimulación de las terminaciones Ia y II.
- La tensión generada por la contracción extrafusal excita el órgano de Golgi (Ib)
- La información sensorial sobre la resistencia del movimiento es transmitida al SNC



3. Efectos centrales de la señal del huso muscular

Normalmente, sobre todo cuando existe un cierto grado de excitación nerviosa, los husos musculares emiten impulsos nerviosos sensitivos de forma constante. Su estiramiento incrementa la frecuencia de disparo, mientras que su acortamiento la frena. Por tanto, los husos son capaces de enviar hacia la médula espinal **señales positivas** (un numero mayor de impulsos para indicar el estiramiento muscular) o **señales negativas**(una cantidad de impulsos inferior a la normal para informar de lo contrario).

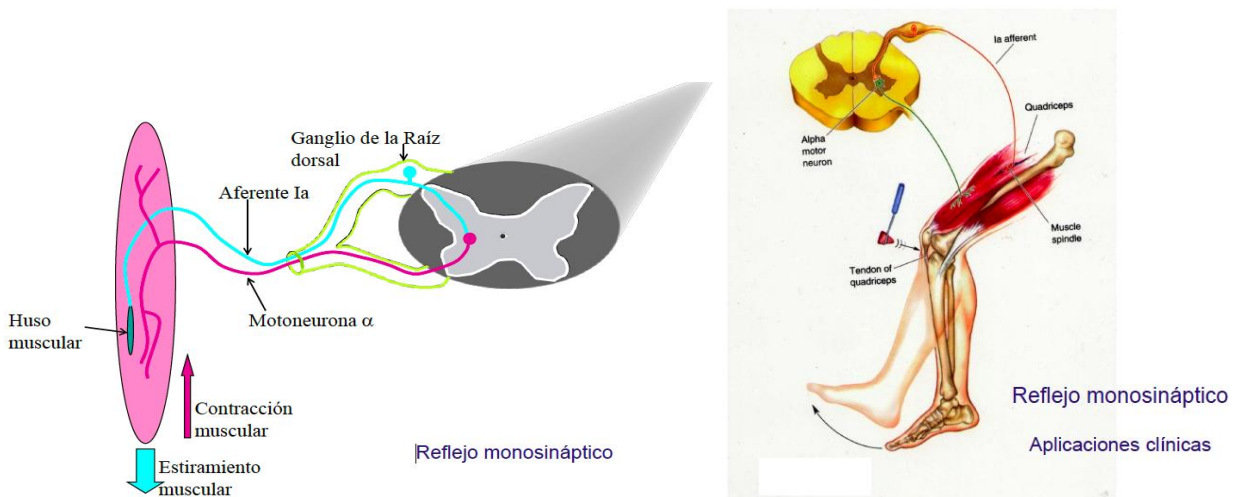
3.1 Efectos restringidos al mismo segmento de la médula espinal :

- **Reflejo monosináptico (miotático)**→ La manifestación más sencilla del funcionamiento del huso es el reflejo miotático o de estiramiento muscular. Siempre que se estira bruscamente un músculo, la activación de los husos causa la contracción refleja de las fibras musculares esqueléticas grandes en el músculo estirado y también en los músculos sinérgicos más íntimamente ligados.

- **Ruta inhibitoria directa**→ Implícita en el reflejo miotático, en el circuito, cuando salimos de la fibra aislada, cuando nos vamos al músculo en su totalidad, hay que tener claro que para que el músculo se contraiga (ejemplo : el cuádriceps se contraiga y nos mueva la pierna) , los músculos de detrás de la pierna , se tienen que relajar→ ruta inhibitoria directa(se inhibe el musculo antagonista).

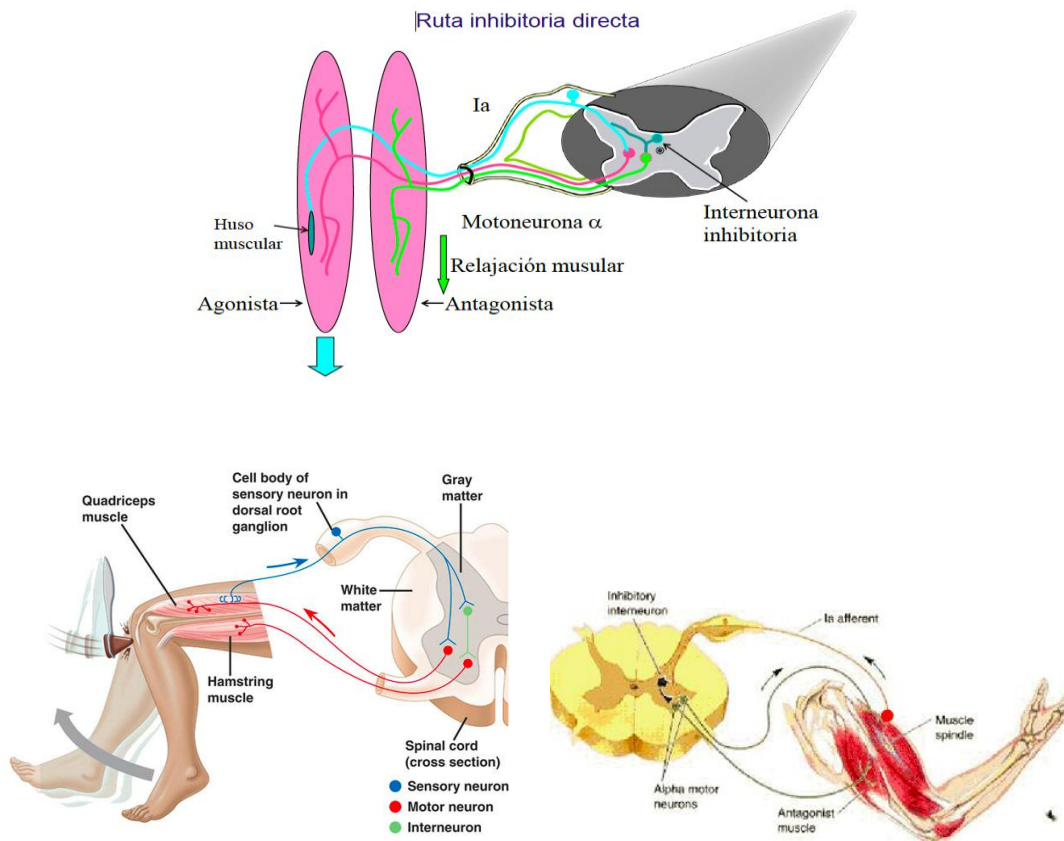
3.1.1 Reflejo monosináptico

- El estiramiento del músculo estimula al huso muscular.
- Las fibras aferentes Ia sinaptan en la médula directamente con la motoneurona α .
- La motoneurona activa el músculo extrafusil produciendo la contracción.
- El reflejo sirve tanto para oponerse a los cambios súbitos de longitud (dinámico) como para mantener un grado de contracción muscular relativamente constante (estático).
- El estiramiento del músculo resulta en una contracción compensatoria.



3.1.2 Ruta inhibitoria directa

- Como ya se ha dicho, la excitación de un grupo de músculos normalmente está asociado a la inhibición de otro grupo. Por ejemplo, cuando un reflejo miotático activa un músculo, a menudo inhibe simultáneamente a sus antagonistas→ fenómeno de inhibición recíproca.
- La fibra procedente del huso muscular también sinapta en la médula con la interneurona inhibitoria.
- Esta interneurona inhibe la salida de señal de la motoneurona α al músculo ANTAGONISTA.
- Se evita así que el músculo antagonista se oponga a la acción del agonista.



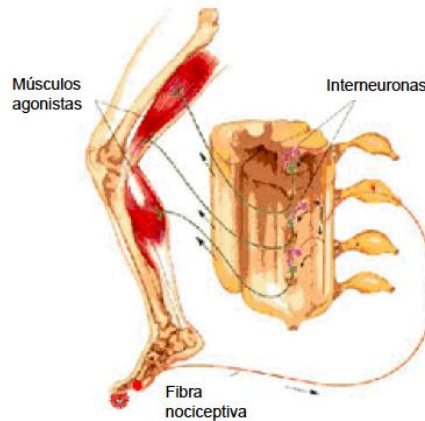
3.2 Efectos entre segmentos medulares adyacentes:

- **Reflejos flexores, con patrón de retirada** → En el animal espinal o descerebrado es fácil que prácticamente cualquier tipo de estímulo sensitivo cutáneo de los miembros haga que sus músculos flexores se contraigan, lo que permite retirar la extremidad del objetivo estimulador. Esto se llama reflejo flexor. Este reflejo se suscita con mayor potencia mediante estimulación de las terminaciones para el dolor. Si cualquier parte del cuerpo aparte de las extremidades recibe un estímulo doloroso, esa porción se alejará del estímulo en correspondencia. Esto es el reflejo de retirada.

3.2.1 Reflejo flexor con patrón de retirada

Si aplicamos un estímulo doloroso sobre una extremidad, las **fibras nociceptivas** alcanzan un conjunto de **interneuronas** en la médula espinal, distribuyendo la información en los siguientes corcitos básicos:

1. **Circuitos divergentes:** diseminar el reflejo hasta los músculos necesarios para efectuar la retirada.

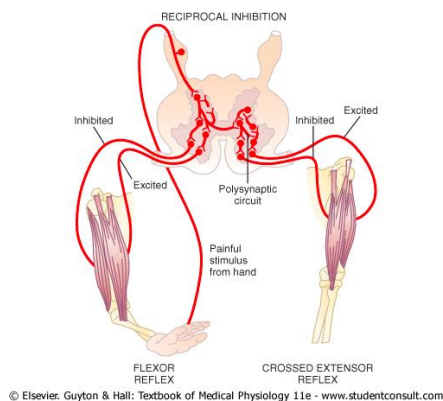
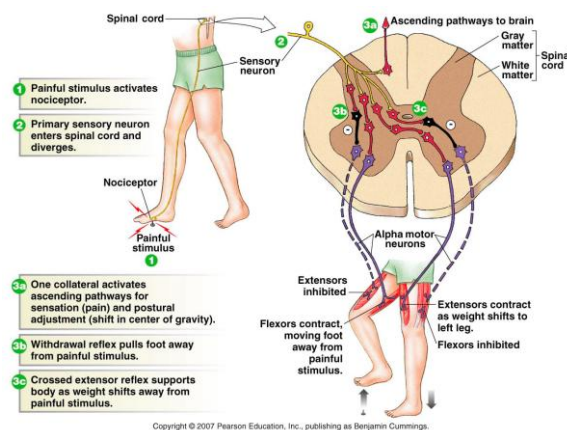


3.3 Efectos de orden mayor, participan estructuras cerebrales. (Sólo los nombró, No le dió más importancia)

4. Reflejo extensor cruzado

Más o menos entre 0,2 y 0,5 seg después de que cualquier estímulo suscite un reflejo flexor en una extremidad, la extremidad contraria comienza a extenderse. Esto es lo que se denomina reflejo extensor cruzado.

La extensión del miembro opuesto puede tirar de todo el cuerpo para alejarlo del objeto que origina el estímulo doloroso en el miembro apartado.



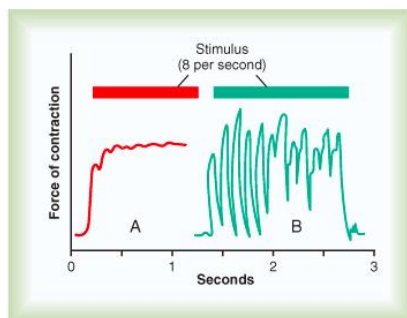
→ En esta **imagen** podemos observar: el reflejo flexor, reflejo extensor cruzado y la inhibición recíproca.

5. Función amortiguadora de los reflejos monosinápticos

Una misión especialmente importante del reflejo miotático es su capacidad para evitar oscilaciones o las sacudidas en los movimientos corporales. Se trata de una función amortiguadora o suavizadora.

Los impulsos de la médula espinal muchas veces se transmiten hasta un músculo según un patrón irregular, con un aumento de su intensidad que dura unos pocos milisegundos y después un descenso, que se sigue de un cambio a otro nivel distinto, etc.

Cuando el aparato del huso muscular no funciona satisfactoriamente, la contracción del músculo adquiere un carácter entrecortado durante el curso de dicha señal. Este efecto se muestra en esta figura de abajo.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

En la **curva A**, el reflejo del huso muscular correspondiente al músculo activado permanece intacto. La contracción es relativamente suave, aun cuando la excitación del nervio motor dirigido al músculo sigue a una frecuencia lenta tan sólo de ocho impulsos por segundo.

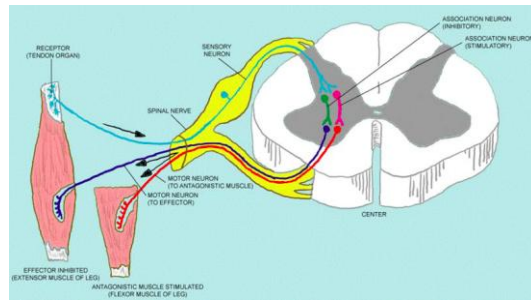
La **curva B** representa el mismo experimento en un animal al que se habían cortado los nervios sensitivos del huso muscular 3 meses antes, es decir, los husos musculares del músculo están desnervados por el corte de las raíces de la médula. Por eso la contracción muscular es irregular.

Por tanto, la curva A pone de manifiesto gráficamente la capacidad del mecanismo amortiguador para suavizar las contracciones musculares.

6. Reflejo del órgano tendinoso de Golgi

Cuando los órganos tendinosos de Golgi de un tendón muscular se estimulan al aumentar la tensión en el músculo al que están conectados, sus señales se transmiten hacia la médula espinal para provocar unos efectos reflejos en el músculo correspondiente.

Este reflejo tiene un carácter plenamente **inhibidor**. Por tanto, aporta un mecanismo de retroalimentación negativa que impide la producción de una tensión excesiva en el propio músculo.



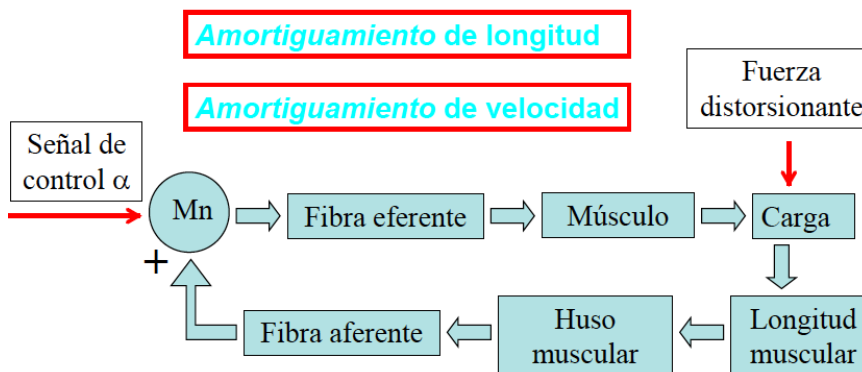
Si la tensión aplicada por el músculo y, por tanto, sobre el tendón se vuelve muy intensa y excesiva, el efecto inhibitorio originado por el órgano tendinoso de Golgi puede llegar a ser tan grande que conduzca a una reacción brusca en la médula espinal capaz de causar relajación instantánea del músculo. Este efecto se llama **reacción de alargamiento**; quizá sea un mecanismo protector para evitar el desgarro del músculo o el arrancamiento del tendón en su inserción ósea. Este reflejo requiere de al menos una interneurona inhibitoria.

6.1 Amortiguamiento básico

Los husos proveen de un mecanismo de amortiguamiento:

1. **Amortiguamiento de longitud** para compensar los cambios en la carga.
2. **Amortiguamiento de velocidad** para controlar los temblores (ejemplo; después de correr)

Amortiguamiento básico



El aumento de la carga no requiere siempre un cambio de longitud, pero si es así lo recoge el huso y este lo devuelve a la motoneurona, activándola → esto es un bucle de activación, es un servomecanismo.

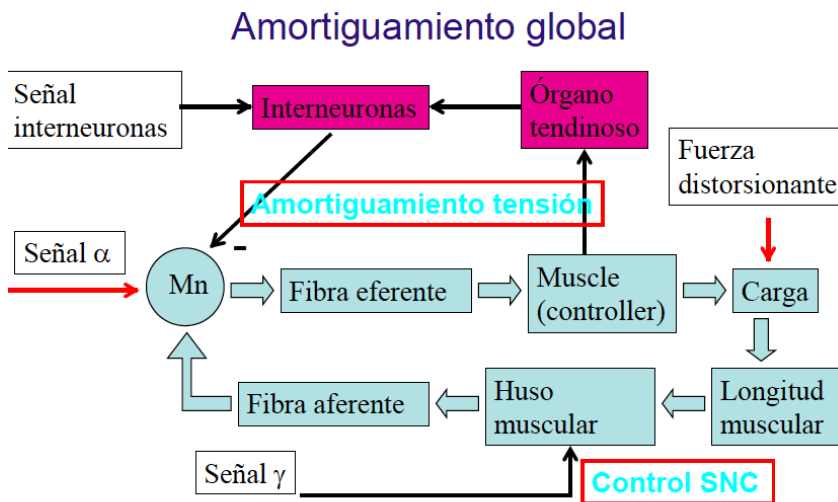
A más señal, más estímulo del huso → **mecanismo de retroalimentación positivo**, para que esto no ocurra, siempre se está informando de cómo están los músculos.

La fuerza distorsionante → son factores externos que hacen que nos cueste más (libros en la mano, cada vez más libros) pero para eso los husos avisan de esto a los músculos.

6.2 Amortiguamiento global

La inervación permite introducir el control del SNC.

Los órganos tendinosos permiten proteger a músculos y tendones frente a la sobrecarga, a través de las interneuronas inhibitorias.



7. Control del músculo

1. Tipos de fibras musculares y sus propiedades mecánicas
2. Activación tetánica vs puntual
3. Grupos de motoneuronas y unidades motoras
4. Reclutamiento de motoneuronas: el principio del tamaño

1. Tipos de fibras musculares y sus propiedades mecánicas

- Fibras de contracción lenta (Tipo I), también conocidas como de oxidación lenta (o rojas)
- Tienen un número reducido de miofibrillas (contracción lenta)
- Elevada cantidad de mioglobina (almacena oxígeno), de mitocondrias y de gotas lipídicas (metabolismo oxidativo).
- No se fatigan fácilmente.
- Típicas de **músculos posturales**.

- Fibras de contracción rápida (Tipo II)

Abundancia de miofibrillas que ocupan la casi totalidad sarcoplasma (contracción rápida).

El sarcoplasma es muy escaso y también su contenido en mioglobina y en mitocondrias.

Presenta un almacenamiento de carbohidratos en forma de glucógeno (pueden obtener energía a través de glucólisis).

-Tipo IIa-Oxidación glucolítica rápida. Obtienen energía tanto desde la vía aeróbica como anaeróbica.

-Tipo IIb-Glucolíticas rápidas –(FG). Obtienen energía sólo a través de la vía anaeróbica. Se fatigan rápidamente (músculos de los brazos).

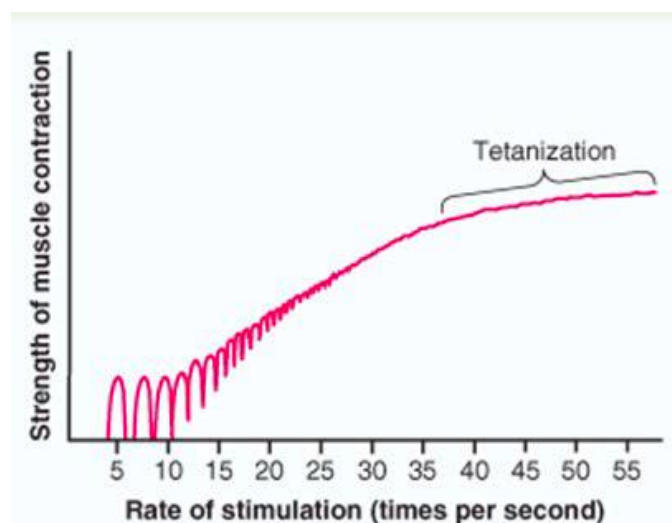
2.Activación tetánica vs puntual

Unidad motora: conjunto de fibras musculares inervadas por una única fibra motora.

Sumación de fibras múltiples: las unidades motoras se estimulan siguiendo **el principio del tamaño**. IMP

- Una señal débil estimula unidades motoras pequeñas generando una contracción muscular relativamente débil
- Una señal medial, unidades motoras más medianas, contracción media y así, sucesivamente.
- Permite la gradación de fuerza muscular.

Sumación de frecuencia y tetanización. A medida que aumenta la frecuencia, se alcanza un punto en el que la nueva contracción empieza antes de acabar la anterior. Cuando las contracciones se fusionan entre sí alcanzan el **punto de tetanización**.



A una frecuencia ligeramente mayor, la fuerza de la contracción alcanza su valor máximo.

CONTROL MOTOR CENTRAL

<i>Nivel</i>	<i>Función</i>	<i>Estructuras</i>
Alto	Estrategia	•Áreas asociadas del neocortex •Ganglios basales
Medio	Táctica	•Corteza motora •Cerebelo
Bajo	Ejecución	•Tronco del encéfalo •Médula espinal

Acordaros del ejemplo que puso Romero con el ejercito:

Los del nivel de bajo → Los que ejecutar la acción. Los que llegan hasta los paquetes neuromusculares.

Los del medio → hacen la táctica, esta puede variar para poder conseguir finalmente la estrategia .

Los del alto→ Estrategia, los que inventan lo que hay que hacer.

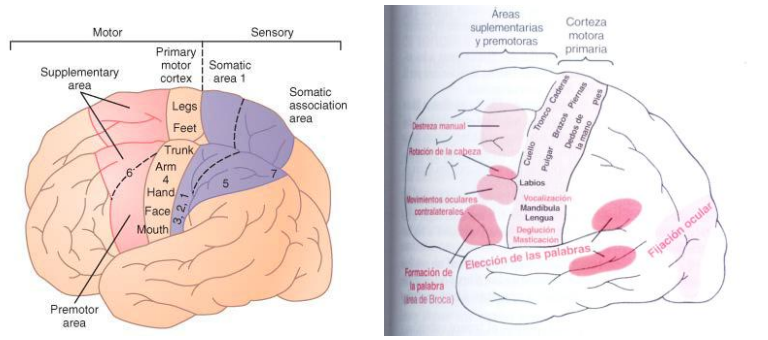
*De las diapositivas 52-58, es más Anatomía y ya sabéis que no le da importancia.

Lo que el dijo que era importante saber es :

Hay 4 grandes características del SN en cuanto a su organización:

1. Todos los sistemas sensoriales se decusan.
2. Hay una organización topográfica en todos los sistemas sensoriales y motores. Estos solo se cumple en la corteza S1, la inmediata posrolándica y en la prerolándica que está justo por delante de la cisura de rolando.
3. La superficie cortical que se dedica a una sola zona, nos explica la capacidad de discriminación.
4. La superficie de representación cortical esta en relación directa con la habilidad motora.

Área motora primaria



Funciones: se encarga de movimientos voluntarios contralaterales (patrones simples-decisión de mover el dedo) y modifica los reflejos tendinosos (↓ respuesta refleja).

Lesión: Parálisis lado contralateral(Hemiplejia)

Aumento reflejos tendinosos(Hiperreflexia)

Hipertonía muscular

Incapacidad para realizar movimientos voluntarios.

Área premotora

Funciones: Actúa al inicio y durante el movimiento y controla los movimientos coordinados.(patrones complejos)

Lesión: Lentitud ejecución de movimientos

Apraxia: Incapacidad de realizar movimientos complejos y coordinados.

Debilidad muscular miembros inferiores.

Áreas suplementarias

Funciones: Programación del movimiento (movimientos posturales, posición de la cabeza y ojos simultáneamente)

Lesión: Incapacidad de manejar independientemente las manos con movimientos simétricos.

Mutismo verbal

Incapacidad de realización de movimientos alternativos rápidos (ej. prono-supinación.)

7.1 Trasmisión de las señales de la corteza a los músculos

Desde la corteza primaria hasta los músculos.

La premotora y la suplementaria no envían señales a los músculos nunca. Quien conecta con los segmentos medulares y las interneuronas que corresponde es el área motora primaria.

Las señales motoras se transmiten directamente desde la corteza hasta la médula espinal a través de múltiples vías accesorias en las que intervienen:

- **Fascículo corticoespinal (Vía piramidal)**

Las señales motoras se transmiten indirectamente desde la corteza hasta la médula espinal a través de múltiples vías accesorias en las que intervienen:

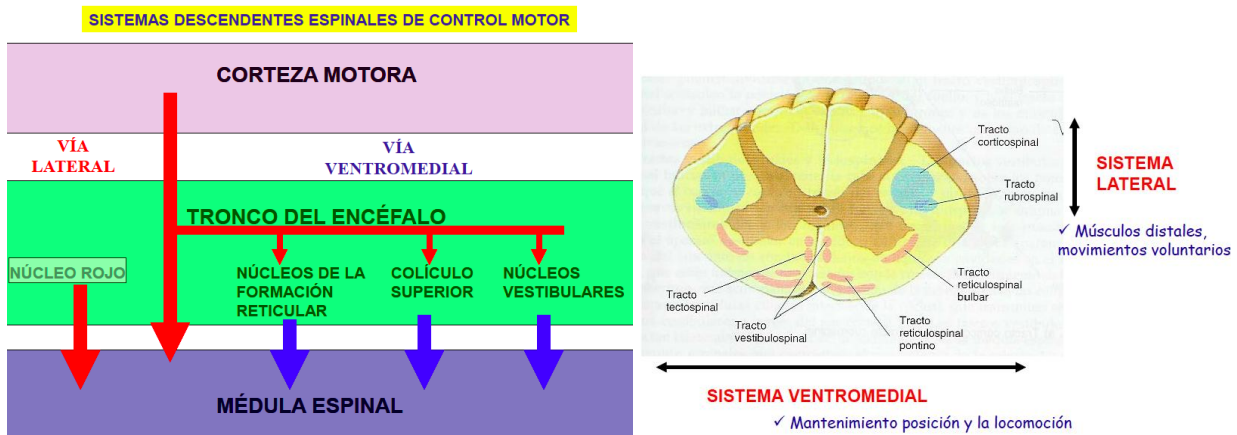
- **Ganglios basales**

- **Cerebelo**
- **Diversos núcleos del tronco del encéfalo**

***Nota:** Estas tres vías accesorias se explican más adelante con más detalle.

Vías descendentes:

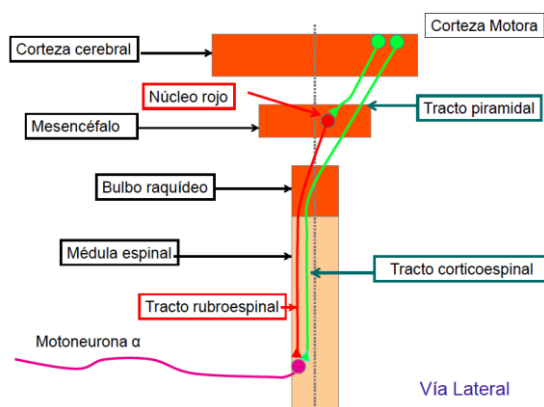
- Vía lateral: Relacionada con los **movimientos voluntarios**, la que incluye al núcleo rojo como estación intermedia en el TE.
- Vía ventromedial: Relacionada con el **control postural**.



La Vía lateral la componen : la vía piramidal y aquella que hace relevo en el núcleo rojo(Rubroespinal)

La via lateral está decusada: más allá del núcleo rojo están los ganglios basales junto con la corteza motora primaria en el nivel estratégico.

Estos facilitan la iniciación de los movimientos voluntarios. Cuando se lesiona alguno de ellos aparece un signo clínico característico: la dificultad de inicio del movimiento o la Disdiacocinesia también es la dificultad del inicio.



De la conexión cortical a la denominada neurona motora inferior : la del asta anterior.

- la única **vía directa** es la piramidal.
- Todo lo demás entra dentro del mecanismo regulador del movimiento y se trata de mecanismos indirectos.(Son necesarios para poder regular el movimiento)

-Todo lo sensorial excepto el olfato va a llegar a la corteza informando.

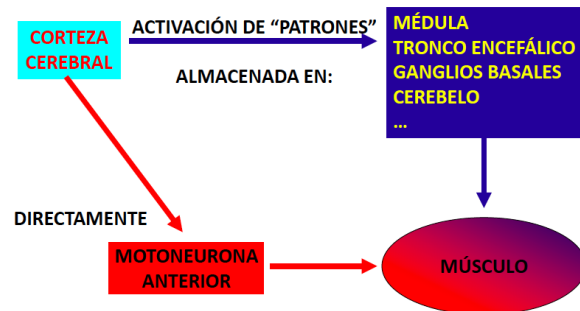
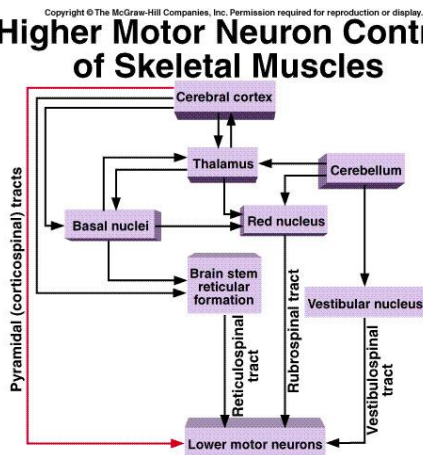
- La corteza y el tálamo están en comunicación.
- La información cortical va al TE y a la formación reticular.
- El núcleo rojo** recibe también información del **cerebelo** → modulador por excelencia del movimiento. Este también recibe información vestibular.
- Cualquier papel que ejerza el cerebelo o los ganglios basales (Facilitan la iniciación de los actos motores voluntarios.) no va nunca directamente a la neurona motora inferior tienen que ser procesado por el núcleo rojo.

Una **lesión** de la vía piramidal dificulta el movimiento voluntario → por lo que esta vía es muy importante.

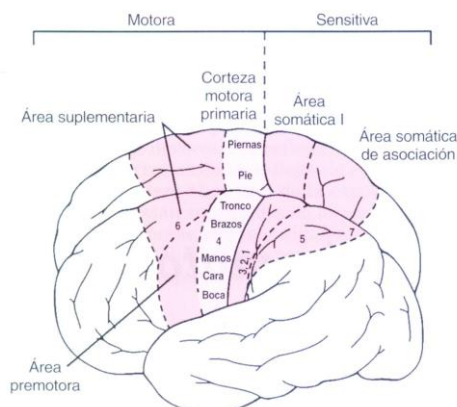
Todo lo demás activa patrones de movimiento.

*La orden de mover el dedo índice: va directamente a través de la vía piramidal, pero el hecho de moverlo adecuadamente lo hacen las demás vías.

Higher Motor Neuron Control of Skeletal Muscles



ÁREAS CORTICALES MOTORAS

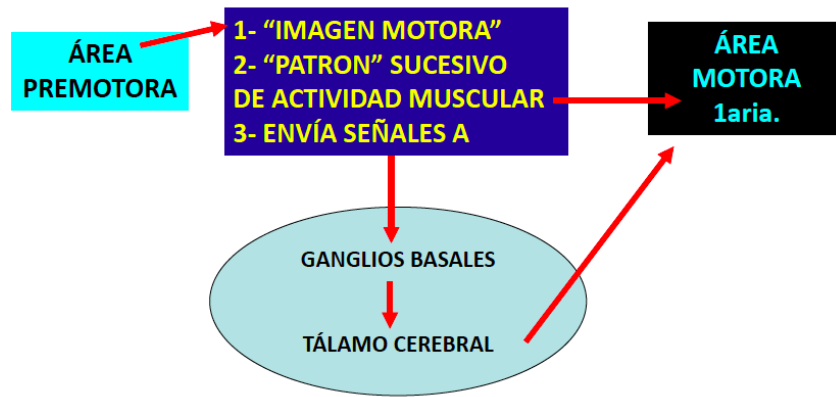


Los patrones simples pertenecen a la **corteza motora primaria**.

En el **área premotora** se encuentran los movimientos más complejos. Proyecta sobre la corteza primaria la idea del movimiento, como tiene que ser ese movimiento y como tiene que producirse.

Y en el **área suplementaria** encontramos: los movimientos posturales.

- Se necesita flujo de información permanente entre las tres áreas.



El tálamo y los ganglios basales actúan como un filtro para que llegue bien la información que el área premotora proyecta sobre el área primaria.

7.2 Tronco del encéfalo

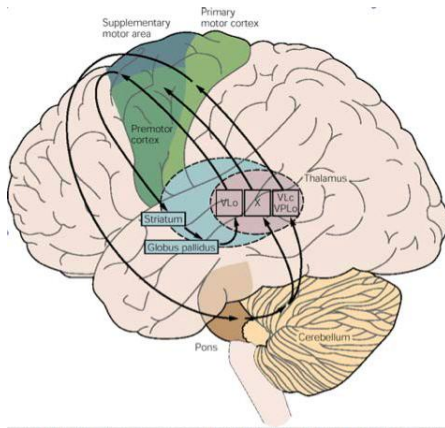
Formado por el bulbo raquídeo, la protuberancia y el mesencéfalo.

Funciones:

1. Extensión de la médula en la cavidad craneal:
 - A) Contiene los núcleos motores y sensitivos de la parte craneal
 - B) "Estación de paso" de otras señales"
2. Control de la respiración, sistema cardiovascular, gastrointestinal, equilibrio y movimientos oculares.
Destacan los núcleos reticulares pontinos, vestibulares y reticulares bulbares. Todos mandan vías hacia la médula espinal.

7.3 Cerebelo (MUY IMPORTANTE → PREGUNTA DE EXAMEN)

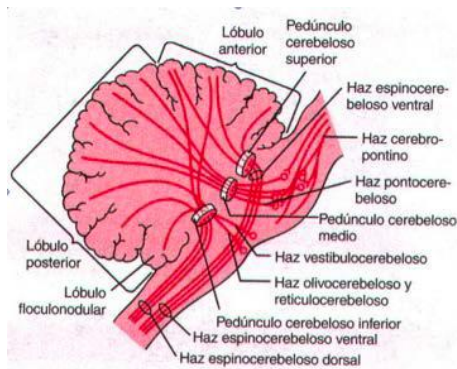
- El cerebelo es responsable de la coordinación temporal de las actividades motoras.
- Regula la intensidad de la contracción muscular cuando hará la carga.
- Controla interacciones entre músculos agonistas y antagonistas.
- El cerebelo es esencial para el aprendizaje de nuevas habilidades motoras.
- Aprende de sus propios errores.



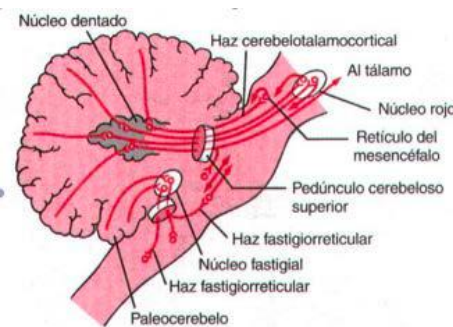
La información cerebelosa está en este bucle permanente.

La corteza motora está recibiendo permanentemente de manera directa información cerebelosa que le llega a través del tálamo.

Todas las aferencias motoras, pasan a través del cerebelo.



Vías aferentes



GURA 56-6. Principales haces eferentes del cerebelo.

Vías eferentes

Vías aferentes o de entrada al cerebelo:

Una vía amplia e importante es la **vía corticopontocerebelosa**. Otros fascículos aferentes importantes nacen a cada lado del TE, en conjunto constan de los siguientes:

- 1) **fascículo olivocerebeloso**, desde la oliva inferior a todas las partes del cerebelo y se excita en la oliva por las fibras procedentes de la corteza cerebral motora, los ganglios basales, extensas regiones de la formación reticular y la médula espinal.
- 2) **Las fibras vestibulocerebelosas**
- 3) **Las fibras reticulocerebelosas**
- 4) **Fascículo espinocerebeloso dorsal**, entra a través del pedúnculo cerebeloso inferior.
- 5) **Fascículo espinocerebeloso ventral**, entra a través del pedúnculo cerebeloso superior.

Vías eferentes o de salida del cerebelo:

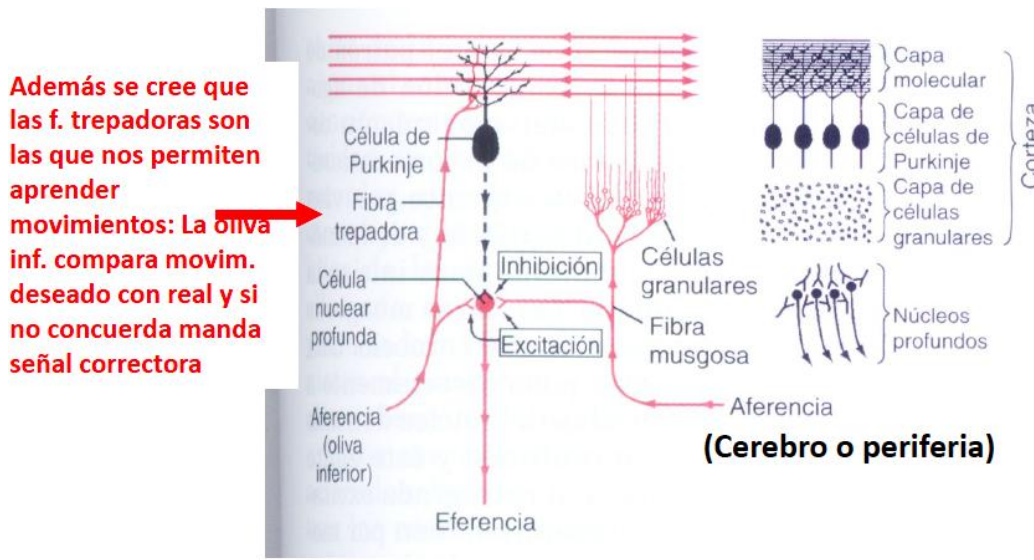
- 1) hacia los núcleos profundos
- 2) hacia la zona correspondiente de la corteza que cubre dichos núcleos.

El cerebelo envía hacia arriba todo lo que recibe a través de los ganglios basales. Es muy importante el haz cerebelo-tálamo-cortical.

Circuito del cerebelo(excitación / inhibición o On/Off)

Como podemos ver en la imagen, existen tres capas principales en la corteza cerebelosa:

- 1) La capa molecular
- 2) La capa de las células de Purkinje
- 3) La capa granulosa



*** EJEMPLO DEL SISTEMA ABS DEL COCHE.**

En la mitad izquierda de la imagen podemos ver este circuito, repetido 30 millones de veces en el cerebelo.

La salida desde esta estructura tiene lugar a través de una célula nuclear profunda. Esta célula está sometida permanentemente a unas influencias excitatorias e inhibitorias.

Las influencias excitatorias emanan de sus conexiones directas con fibras aferentes que llegan al cerebelo desde el encéfalo o desde la periferia; **la inhibidora procede en su totalidad de la célula de Purkinje** situada en la corteza cerebelosa.

Las proyecciones aferentes recibidas por el cerebelo son básicamente de dos clases: una que es el tipo de **fibras trepadoras** y la otra que es el **tipo de fibras musgosa**.

1) **Las fibras trepadoras** nacen en su integridad en las olivas inferiores del bulbo raquídeo. Después de enviar ramas hacia varias células nucleares profundas, estas fibras siguen su camino hacia capas superficiales de la corteza cerebelosa, donde realizan unas 300 sinapsis con los somas y las dendritas de cada célula de Purkinje.

La fibra trepadora se distingue por el hecho de que un solo impulso suyo siempre generará un solo tipo peculiar de potencial de acción prolongado en cada célula de Purkinje con la que conecta.

2) **Las fibras musgosas** corresponden a todas las demás fibras que entran en el cerebelo desde múltiples fuentes: la zona superior del encéfalo, el TE y la médula espinal. Estas siguen hasta la capa granulosa de la corteza, donde también hacen sinapsis con cientos de miles de células de los granos. Tienen axones muy pequeños que envían hasta la capa molecular en la superficie externa de la corteza. Aquí los axones se dividen en ramas que se extienden en sentido paralelo a las láminas. En total hay muchos millones de fibras nerviosas paralelas. A esta capa molecular también llegan las dendritas de las células de Purkinje, y es aquí donde las fibras paralelas y las de Purkinje sinaptan.

Esta sinapsis es diferente de la de las fibras trepadoras, ya que la sinapsis es más débil, por lo que han de estimularse una gran cantidad a la vez para llegar a excitarla.

La estimulación directa de las células nucleares profundas a cargo de **las fibras trepadoras o de las musgosas** sirve para **excitarlas**. Por el contrario, las señales que llegan desde **las células de Purkinje inhiben**. Normalmente, el equilibrio entre estos dos efectos resulta ligeramente favorable a la excitación, por lo que, en condiciones de tranquilidad, la salida de la célula nuclear profunda permanece relativamente constante a un nivel moderado de estimulación continua.

*La célula nuclear profunda hace como “el sistema ABS”, a las ordenes motoras que le están llegando les coloca un mecanismo interpuesto que regula la señal de encendido y apagado de salida del cerebro.

Este modelo es capaz de hacer muchas mas cosas como comparar la orden motora que yo quiero hacer con lo que me ha salido.

Funciones del cerebelo

El cerebelo no origina nunca orden de movimiento. Recibe, procesa y devuelve la información sensoria y motora.

Tiene una proyección topográfica similar a la de la corteza motora pero menos definida (hay zonas para el tronco, abdomen, cabeza y extremidades superiores e inferiores).

1.- Cerebelo vestibular

Controla el equilibrio entre las contracciones de los músculos agonistas y antagonistas de la columna vertebral, caderas y hombros durante movimientos rápidos (aferencia del aparato vestibular, cuello y visión). Pero a veces no nos darían tiempo:

El cerebelo es capaz de “calcular de antemano” la posición del cuerpo durante los próximos mseg. y actuar en consecuencia (“corrección anticipadora”).

2.- Cerebelo espinal

Recibe desde la corteza cerebral y el núcleo rojo el plan secuencial de movimientos deseados y desde los miembros los movimientos “reales”. Una vez comparadas envía señales “correctoras” eferentes a corteza y núcleo rojo → haz corticoespinal y corticorubroespinal → músculo (especialmente extremidades).

Con esto conseguimos que los movimientos sean suaves, amortiguadores, precisos, intencionados y rápidos. P.e:tenis.

Además es capaz de diseñar movimientos “balísticos”(planificado de antemano, no daría tiempo la retroalimentación) como golpear una tecla de máquina de escribir o la lectura.

3.- Cerebelo cerebral.

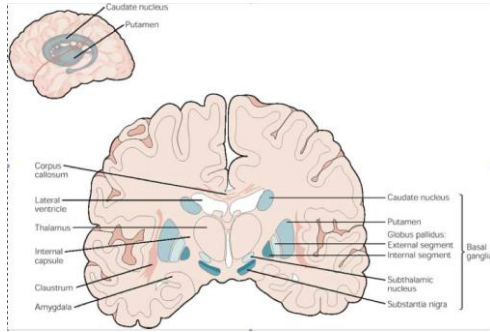
Recibe información de la corteza de asociación y la saca a corteza motora, prefrontal, premotora y parietal.

Se encarga de :

- a) La planificación de los movimientos secuenciales de manera que exista una transición suave de un movimiento al siguiente.
- b) La cronología de los movimientos secuenciales: cuando debe de empezar o acabar cada fase.
- c) P.e: hablar, correr o escribir.

Puede integrar estímulos visuales o auditivos → Nos ayuda a prever:
p.e cuando frenar en un coche.

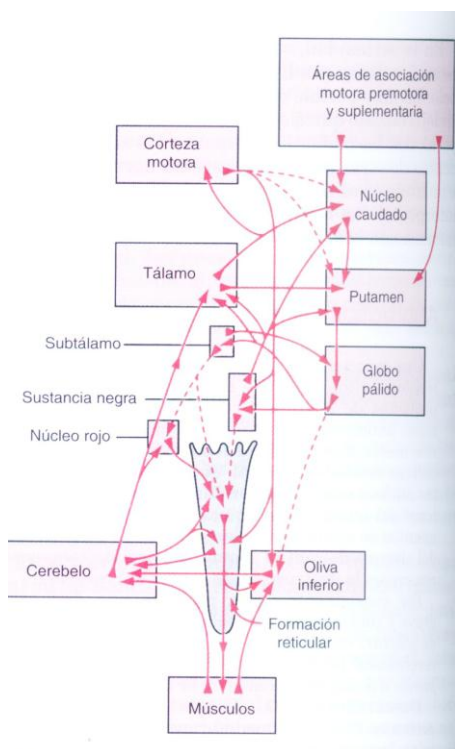
7. 4 Ganglios basales



Los ganglios basales, igual que el cerebelo, constituyen otro sistema motor auxiliar que en general no funciona por su cuenta sino íntimamente vinculado con la corteza cerebral y el sistema de control motor corticoespinal. De hecho, reciben la mayoría de sus señales aferentes desde la misma

corteza cerebral y también devuelven casi todas sus señales eferentes a estas estructura.

Circuito neuronal de los ganglios basales:



Las conexiones anatómicas entre ganglios basales y los demás elementos del encéfalo que se encargan del control motor son complejas, como podemos ver en la imagen.

A la izquierda está representada la corteza motora, el tálamo y el circuito asociado que reúne al tronco del encéfalo y al cerebelo.

A la derecha aparece el circuito principal del sistema de los ganglios basales, donde se observan las abundantes interconexiones establecidas entre los propios ganglios basales además de las numerosas vías de entrada y de salida para su conexión con el resto de las regiones motoras del encéfalo.

Circuito del putamen

Como podemos observar en la **imagen A**, este comienza sobretudo en las áreas premotoras y suplementaria de la corteza motora y en las áreas somatosensitivas de corteza sensitiva. A continuación, se dirigen hacia el putamen, después de llegan a la porción interna del globo pálido, más tarde a los núcleos talámicos de relevo ventroanterior y ventrolateral, y finalmente regresan a la corteza cerebral motora primaria y a las porciones de las áreas cerebrales premotora y suplementaria que presenta una íntima vinculación con ella.

Por tanto, el circuito del putamen recibe sus conexiones sobre todo desde aquellas porciones del encéfalo adyacentes a la corteza motora primaria, pero sin ser muy numerosas las de esta última. Al final su salida vuelve sobre la corteza a la corteza motora primaria o a las cortezas premotora y suplementaria claramente emparentadas con ella.

En estrecha asociación con este circuito principal del putamen funcionan los circuitos auxiliares, originados en el propio putamen para recorrer el globo pálido externo, el subtálamo y la sustancia negra, que finalmente regresan a la corteza motora a través del tálamo.

Un buen ejemplo sería la escritura de las letras del alfabeto, cortar con las tijeras o meter un balón de basket por el aro.

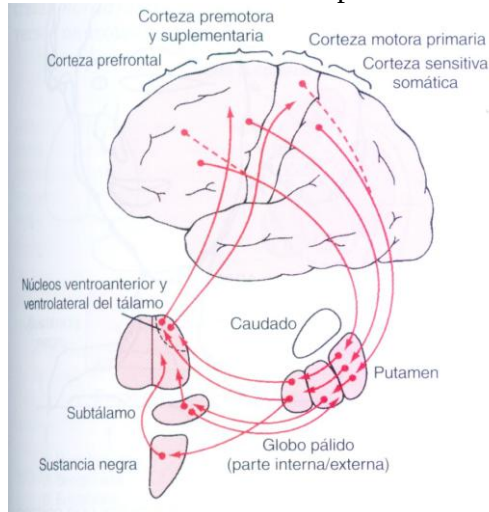


imagen A

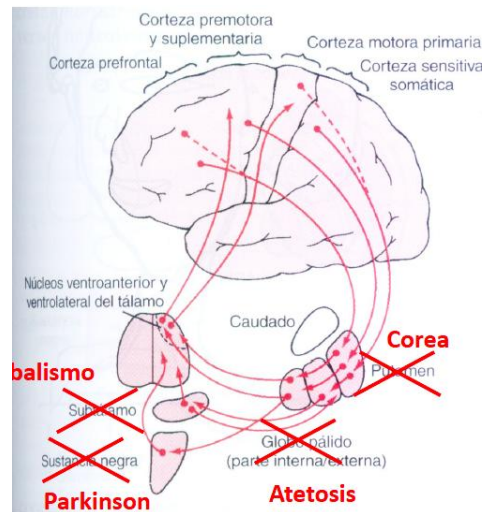


imagen B

La **imagen B** nos muestra el funcionamiento anormal en el circuito del putamen:

Las lesiones en el globo pálido suelen desembocar en unos movimientos de contorsión de una mano, un brazo, el cuello o la cara de origen espontáneo y muchas veces continuos en su realización, que recibe el nombre de **Atetosis**.

Una lesión en el subtálamo a menudo se traduce en unos movimientos de agitación súbitos de toda una extremidad, situación denominada **Hemibalismo**.

Las lesiones pequeñas múltiples en el putamen derivan en movimientos de lanzamiento en las manos, la cara y otras partes del cuerpo, que reciben el nombre de **Corea**.

Las lesiones de la sustancia negra dan lugar a un trastorno frecuente y gravísimo con rigidez, acinesia y temblores, designados como **enfermedad de Parkinson**.

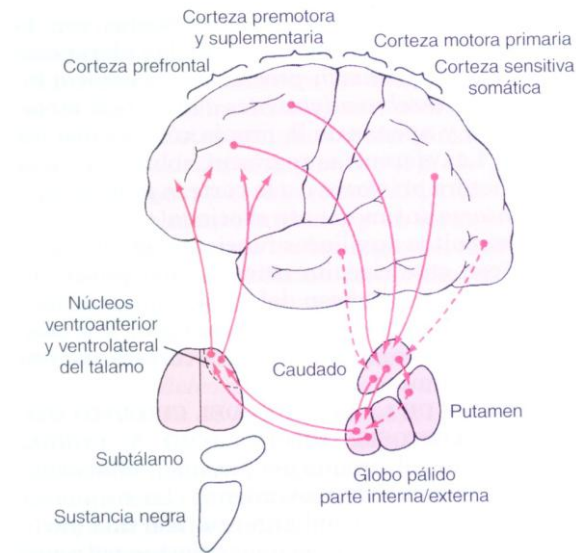
Circuito del caudado

Las conexiones nerviosas entre el núcleo caudado y el sistema de control motor corticoespinal, como podemos ver en la imagen, son un tanto diferentes de las que forman el circuito del putamen. En parte, los motivos para este hecho radican en que el núcleo caudado, se extiende por todos los óvulos frontales, siguiendo después hacia atrás a través de los lóbulos parietal, occipital y temporal.

El núcleo caudado recibe una gran proporción de sus conexiones de entrada desde las áreas de asociación de la corteza cerebral que lo cubren, zonas que especialmente

también integran los diversos tipos de información sensitiva y motora en unos patrones de pensamientos manejable.

Una vez que las señales pasan desde la corteza cerebral hasta el núcleo caudado, a continuación se transmiten al globo pálido interno, después a los núcleos talámicos de relevo ventroanterior y ventrolateral, y finalmente vuelven a las áreas prefrontal, premotora y motora suplementaria de la corteza cerebral, pero casi ninguna de las señales que regresan llegan directamente a la corteza motora primaria.



Importancia de los Neurotransmisores

Cuando los somas neuronales dejan de existir en la sustancia negra, la dopamina deja de transmitirse hacia putamen y caudado y esto es la clínica del Parkinson.

El conjunto de todos estos cuadros clínicos tienen como característica es la dificultad de poder iniciar el movimiento.

