

9

Sistema motor

Leonardo Flavio Medina Guillen

Resumen

El capítulo aborda el sistema motor, describiendo su anatomía y neurofisiología con un enfoque en la posible sintomatología de disfunciones. El sistema motor se encarga de la planificación, coordinación y ejecución de programas motores para el movimiento. Las funciones del sistema sensorial dan forma a las acciones motoras, siendo las representaciones sensoriales parámetros clave en la planificación motora. Se clasifican movimientos según su función y control, como oculares, prehensión, postura, locomoción, respiración y habla. Las unidades motoras tienen propiedades como velocidad de contracción, fuerza máxima y fatigabilidad. Se profundiza en la anatomía, destacando las motoneuronas inferior y superior, la corteza cerebral motora, áreas motoras del lenguaje, cerebelo y ganglios basales. Se explora la bioquímica, destacando la función del cuerpo estriado y la correlación clínica, abordando afecciones musculares, de motoneurona superior, cerebelo, ganglios basales y áreas corticales. El capítulo ofrece una comprensión profunda del sistema motor y sus implicaciones clínicas.

Palabras clave:

Actividad motora; Neuroanatomía; Neurofisiología; Trastornos motores.

Medina Guillen, L. F. (2024). Sistema motor. En L. F. Medina Guillen y L. C. Milian (Eds). *Funciones corticales superiores: Neuroanatomía, neurofisiología y su relación disfuncional*. (pp. 214-224). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.140.c137>



Objetivo: describir la anatomía del sistema motor con su neurofisiología, orientado a su posible sintomatología en caso de existir una disfunción.

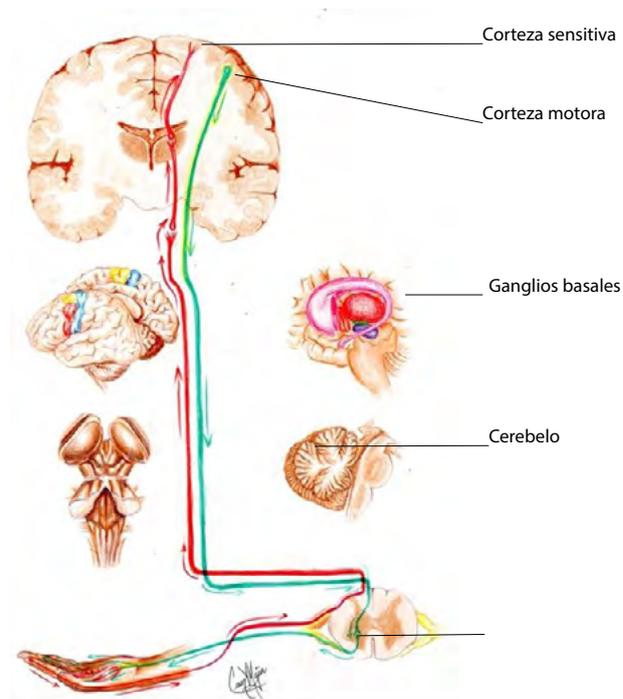
Definición: *sistema encargado de la planificación, coordinación y ejecución de los programas motores responsables del movimiento dotado de finalidad* (Kandel et al., 2012).

Como secuencia del capítulo anterior, debido a una de las últimas funciones del sistema sensorial es dar forma a las acciones motoras. Las representaciones sensoriales los parámetros en que los sistemas motores planifican, coordinan y ejecutan la actividad motriz, por lo que son los encargados del movimiento intencional (Kandel et al., 2012).

Se pueden clasificar de diversas formas, desde su función; movimientos oculares, prehensión (alcance y agarre), postura, locomoción, respiración, habla). Además, los mismos grupos de músculos se controlan de forma voluntaria (control cortical), rítmicos (control cortical y autónomo) o refleja (integración medular). Por ejemplo, se puede respirar profundamente antes de sumergirse para un clavado en una piscina. Al existir un estímulo nocivo en la garganta se produce de forma rítmica la tos, y los reflejos son respuestas estereotipadas a estímulos específicos generados por circuitos neuronales en medula espinal o tronco encefálico (Kandel et al., 2012).

Estas unidades motoras poseen tres propiedades: velocidad de contracción, fuerza máxima, fatigabilidad (Kandel et al., 2012).

Figura 1. Estructuras neuronales involucradas en el control del movimiento.



Fuente: Mejía, 2023.

Anatomía

Motoneurona inferior

El sistema nervioso controla la fuerza con señales enviadas desde las neuronas motoras de la médula espinal a las fibras musculares. Una neurona motora y las fibras musculares que inervan se conocen como unidad motora, la unidad funcional básica para el control del movimiento del SNC. Un músculo usualmente es controlado por cientos de neuronas motoras cuyos cuerpos celulares se agrupan en el núcleo motor de la medula espinal o tronco encefálico (Kandel et al., 2012).

Los reflejos medulares están mediados por vías polisinápticas de la medula espinal. Una vía excitadora activa las motoneuronas que inervan los músculos flexores homolaterales y al mismo tiempo inerva los músculos extensores contralaterales son estimulados para actuar en sinergia ante una situación de huida. Las interneuronas inhibitorias y células de Renshaw aseguran que las motoneuronas que inervan a los músculos antagonistas se mantengan inactivas durante la respuesta refleja (Kandel et al., 2012; Cardinali, 2007).

Motoneurona superior

Es un complejo de sistemas descendentes (tracto corticoespinal y corticobulbar) vitales para la actividad muscular voluntaria, emiten información desde la corteza motora y tronco encefálico subcortical a las células del asta anterior de la medula espinal (Waxman, 2011).

Corteza cerebral motora

Área motora primaria

Conformada por la circunvolución precentral contralateral (área 4 de Brodmann) y neuronas piramidales (eferentes) en la capa V, que se dirigen hacia la medula espinal. Su estimulación produce movimientos en donde existe una disposición ordenada de áreas de control de las diversas partes del cuerpo, sin embargo, los dedos, manos y cara, quienes realizan tareas que requieren una gran precisión, tienen representaciones desproporcionadamente grandes. En cuanto a sus aferencias, se originan de la corteza somatosensitiva (áreas 1, 2 y 3 de Brodmann), aferencias transcorticales propioceptivas y proyecciones provenientes de las áreas parietales posteriores 5 y 7 de Brodmann, implicadas en la integración multimodal sensitiva para la planificación motora (figura 1) (Kandel et al., 2012; Snell, 2007; Purves; 2015).

Área premotora o motora secundaria

Contituida por el área 6 de Brodmann y neuronas piramidales, sus cuerpos neuronales son de menor tamaño. En ella se suelen iniciar, planificar y dirigir secuencias de movimientos más complejos, que implican múltiples articulaciones, siendo similares a saludar o alcanzar un objeto con la mano. Todas sus proyecciones pasan por la corteza motora primaria y medula espinal. Recibe sus propias aferencias de las áreas 5 y 7 de Brodmann. El área 46 tiene interconexiones especialmente con el área premotora ventral y es importante en la memoria activa, almacenando información sobre ubicación espacial del entorno durante el tiempo necesario para ejecutar un movimiento. El área premotora dorsal lateral se ve implicada en la acción retardada (posterior al estímulo), mientras que el área premotora ventral lateral se implica en la adaptación de la mano a la forma de los objetos (Kandel et al., 2012; Snell, 2007; Purves; 2015).

Tanto el área motora primaria como premotora reciben aferencias procedentes de regiones subcorticales provenientes de ganglios basales y cerebelo a través de núcleos situados en el tálamo ventrolateral (Kandel et al., 2012).

Áreas motoras del lenguaje

Conformada por el área 44 y 45 de Brodmann, permiten una adecuada articulación del habla, su fonación y expresión facial a través de sus conexiones con las áreas motoras primarias, músculos de la laringe, paladar blando y músculos respiratorios. La dominancia del hemisferio influye al momento de una lesión para determinar la parálisis del lenguaje, ya que se encuentra normalmente en el hemisferio dominante, una lesión en dicha área tiene como consecuencia una afasia motora, en el cual los pacientes tienen dificultad para expresarse, bradilalia, habla trabajosa y de estilo «telegráfico» (Snell, 2007; Guyton & Hall, 2015).

Área motora suplementaria y presuplementaria

El área motora suplementaria involucrada en la secuencia de movimientos complejos y las tareas con intervalo tras instrucciones, en donde se especifica el movimiento que debe realizar y el tiempo en que se deben ejecutar los movimientos, además de movimientos secuenciales memorizados en ausencia de datos visuales. Su principal aferencia procede del área presuplementaria. Esta región se proyecta únicamente en el área motora suplementaria y no presenta una somatotopía clara, por lo que se considera que su función está en el aprendizaje directo de estas secuencias, ya que el área motora suplementaria se activa durante la realización de los movimientos aprendidos, a diferencia del área motora

presuplementaria que se activó preferentemente cuando estos movimientos se aprendían, implicando un posible intercambio de información entre la corteza prefrontal (área 46) con otras zonas de la corteza (Kandel et al., 2012; Snell, 2007; Guyton & Hall, 2015).

Cerebelo

Tiene rol en el sistema motor determinando disparidades entre intenciones y acciones, realiza ajustes operacionales de los centros motores de la corteza cerebral y tronco encefálico al ejecutar un movimiento y durante las repeticiones del mismo. Esto debido a su conformación estructural, en vista de que recibe 40 veces más aferencias que sus eferencias, las cuales están focalizadas en los sistemas premotores y motores de la corteza cerebral y el tronco encefálico, sistemas que coordinan directamente las motoneuronas e interneuronas de la medula espinal, lo que facilita que un estímulo sea modificable, para la adaptación y el aprendizaje motor. Participa directamente en precisión espacial, coordinación temporal del movimiento, aprendizaje motor, equilibrio e influye en el tono muscular. El vermis específicamente participa en la locomoción, postura y control de la mirada, en virtud de sus aferencias visuales, auditivas, vestibulares y somatosensitivas, enviando sus eferencias mediante el núcleo fastigial a la corteza y tronco encefálico. Las porciones laterales de los hemisferios cerebelosos reciben aferencias exclusivamente de la corteza cerebral, sus eferencias son reguladas por el núcleo dentado, que se proyecta a la corteza premotora, motora y prefrontal; está implicado íntimamente en la planificación, acciones motoras complejas y valoración consciente de los errores del movimiento (Kandel et al., 2012; Purves; 2015).

Ganglios basales

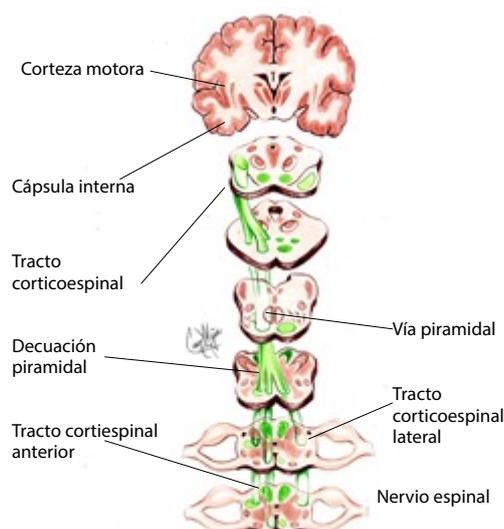
Los cuatro núcleos de los ganglios basales (cuerpo estriado, globo pálido, sustancia negra y núcleo subtalámico) reciben eferencias provenientes de la corteza cerebral. Envían sus señales al tronco encefálico, y mediante el tálamo hacia la corteza prefrontal, premotora y motora, viéndose influencia en la función de los ganglios basales en su mayoría por la corteza frontal. Se ven implicados en el control del movimiento, suprimiendo los movimientos no deseados y preparando la motoneurona superior para la iniciación de movimientos (Kandel et al., 2012; Purves; 2015; Zarranz, 2013).

Vía motora

Tracto corticobulbar y corticoespinal (vía piramidal)

Los axones de las motoneuronas superiores descienden en los tractos corticobulbar y corticoespinal. En su trayecto descienden a través del brazo posterior de la capsula interna para ingresar al pedúnculo cerebral en la base del mesencéfalo. Luego pasan a la base de la protuberancia, donde se encuentran dispersas las fibras transversales pontinas y los núcleos de sustancia gris pontina basal. Se unen en la superficie ventral de la medula, donde se forman las pirámides, en donde se decusa el 90% de las fibras al lado contralateral que a partir de este punto solo contendrá axones corticoespinales, quienes ingresaran a las columnas laterales de la medula espinal, conformando el tracto corticoespinal lateral. El 10% restante ingresa a la medula espinal sin decusarse, terminando ipsilateralmente o de forma bilateral (por las ramas colaterales que cruzan la línea media. La vía corticoespinal ventral surge principalmente de las regiones dorsal y medial de la corteza motora que inervan extremidades, siendo las mismas divisiones de la corteza motora que dan lugar a proyecciones de la formación reticular. El tracto corticoespinal lateral forma un camino directo desde la corteza a la medula espinal, y culmina principalmente en las porciones laterales del asta ventral y sustancia gris intermedia, algunos axones hacen sinapsis con las motoneuronas que inervan las extremidades distales, sin embargo, este contacto sináptico esta restringido a un subconjunto de neuronas motoras que inervación regiones motoras específicas (como brazo o mano). La mayoría de axones del tracto corticoespinal lateral terminan en circuitos neuronales locales que coordinan las actividades de las motoneuronas inferiores en las columnas de células laterales del asta ventral (figura 2) (Purves; 2015).

Figura 2. Tracto corticoespinal y corticobulbar.

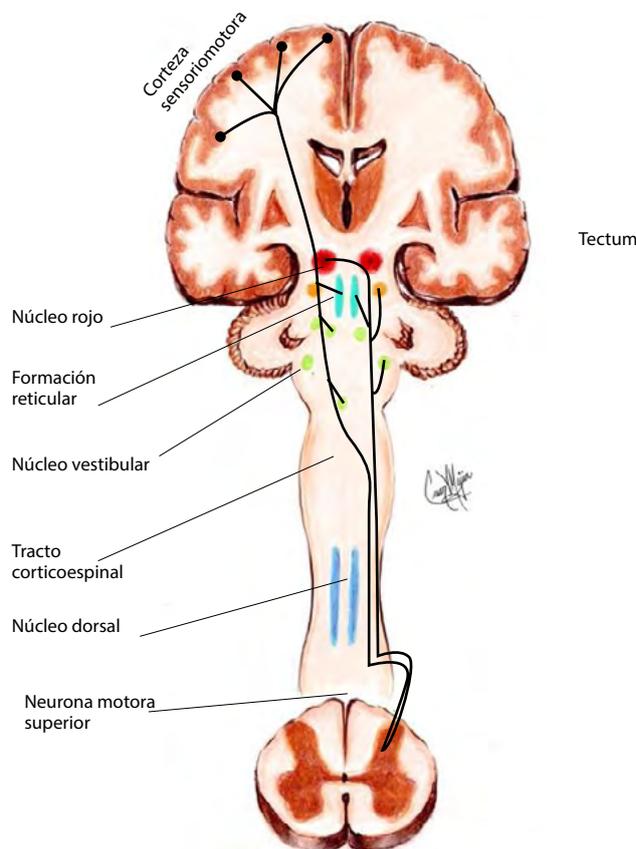


Fuente: Mejía, 2023.

Vía extrapiramidal

Conjunto de circuitos y vías subcorticales de mayor antigüedad según filogenética que el sistema corticoespinal, es conformado por el cuerpo estriado, junto con el núcleo subtalámico, núcleo rojo, sustancia negra y formación reticular. Aparte de los corticoespinales se suelen incluir otros tractos descendentes de la médula espinal (como los tractos vestibuloespinales, tectoespinales, rubroespinales y reticuloespinales). La corteza cerebral y estructuras subcorticales del sistema motor poseen múltiples interconexiones directas, recíprocas o mediadas por haces de fibras. Muchas de estas interconexiones involucran al sistema extrapiramidal y la mayoría atraviesan los ganglios basales (figura 3) (Waxman, 2011).

Figura 3. Vías extrapiramidales.



Fuente: Mejía, 2023.

Bioquímica

El cuerpo estriado se divide en núcleo caudado y putamen por la capsula interna. Es el principal receptor de aferencias para los ganglios basales originarios de la región

cortical, tálamo (aferecias excitadoras de los núcleos intralaminares del tálamo) y tronco encefálico (prolongaciones dopaminérgicas del mesencéfalo y aferencias serotoninérgicas de los núcleos del rafe). Sus neuronas se proyectan al globo pálido y sustancia negra, conformando estos dos últimos, las proyecciones de salida de los ganglios basales. La conformación celular de cuerpo estriado junto con el globo pálido es principalmente GABAérgico, mientras que la sustancia negra utiliza dopamina y contienen neuromelanina (pigmento oscuro derivado de la dopamina oxidada y polimerizada, siendo el responsable de la coloración oscura de esta zona). El núcleo subtalámico se conecta íntimamente con el globo pálido y la sustancia negra, está conformado por neuronas glutaminérgicas y conforman las únicas prolongaciones excitadoras de los ganglios basales (Kandel et al., 2012; Waxman, 2011). A nivel periférico se necesita de acetilcolina, neurotransmisor presente en las uniones neuromusculares, generando potenciales de acción y abriendo canales de calcio para permitir la contracción muscular (Guyton & Hall, 2015).

Existen proteínas fibrilares organizadas en los músculos, llamadas sarcómeros, delimitadas por las líneas Z, estos sarcómeros se organizan en una serie de miofibrillas, las cuales se alinean en paralelo para formar el músculo. La fuerza que puede generar cada sarcómero depende de la interacción entre los filamentos contráctiles gruesos (moléculas de miosina dispuestas en forma estructurada) y delgados o formación de puentes cruzados dependiendo de la cantidad y fuerza de cada uno, quienes se ven influidos por la concentración de calcio en el sarcoplasma, por la superposición de los filamentos gruesos y delgados y la velocidad en que se deslicen uno sobre otro (Kandel et al., 2012; Cardinali, 2007).

Correlación clínica

Afección muscular o miopatía

Miastenia gravis

Trastorno de unión mioneural tiene como fisiopatología la reducción en la eficacia de los receptores de acetilcolina, por lo que su clínica suele asociarse a debilidad y fatiga (Waxman, 2011).

Afección de motoneurona superior

Trastornos caracterizados por debilidad (parálisis o espasticidad), reflejos hiperactivos, posible atrofia por desuso, hipertonia muscular, retracción, espasmos y reflejos anormales (ej. Respuesta extensora plantar de Babinski) (Waxman, 2011).

Afección de cerebelo

Afecciones caracterizadas por la disminución del tono muscular, pérdida de coordinación de movimientos uniformes y alteración en la marcha. A nivel del cerebelo vestibular (arquicerebelo) es característica una típica pérdida del equilibrio más nistagmo (por su papel regulador de los movimientos oculares), en el cerebelo espinal (paleocerebelo) es usual encontrar ataxia troncal y marcha de ebrio, y en las lesiones del neocerebelo se encuentran los signos de ataxia de extremidades, temblor de intención, asinergia (pérdida de la coordinación), disimetría, disdiadococinesia (incapacidad para realizar movimientos alternos rápidos) y fenómeno de rebote (pérdida de interacción entre los músculos agonistas y antagonistas), característicos de su función, al regular los movimientos finos. La clínica usualmente es ipsilaterales del lado de la lesión (Waxman, 2011; Zarranz, 2013; Muñiz Landeros, 2015).

Afección de ganglios basales

Suelen denominarse como lesiones extrapiramidales y se distinguen por acinesia (pobreza del movimiento voluntario), bradicinesia (movimientos anormalmente lentos) o discinesia (movimientos involuntarios anormales). Pueden existir temblores en reposo, postural, atetosis (movimientos lentos crispados de los músculos de cuellos y extremidades) y corea (movimientos involuntarios rápidos y repetidos de los músculos de la extremidad distal, cara y lengua) (Waxman, 2011; Zarranz, 2013).

Afección de motoneurona inferior

Trastornos caracterizados por debilidad (paresia o parálisis), flacidez, fasciculaciones, hipotonía muscular, posible atrofia y reflejos articulares hipoactivos (Waxman, 2011; Muñiz Landeros, 2015).

Afecciones corticales de lóbulo parietal y temporal

Son disociaciones entre como percibido como movimiento y la actividad motora, es consecuencia lesiones corticales en áreas de asociación, particularmente en los lóbulos parietal y temporal, o por una alteración metabólica. Suele descartarse previamente alteraciones piramidales, extrapiramidales, problemas de la placa neuromuscular, trastornos de la sensibilidad, atención o comprensión, entre otras psicopatologías (Uriarte, 2013).

Referencias

- Cardinali, D.P. (2007). *Neurociencia aplicada: sus fundamentos* (1ª. ed.). Médica Panamericana.
- Guyton, A., & Hall, J. (2015). *Fisiología de Guyton* (13va. ed.). Elsevier España.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessel, T.M., Siegelbaum, S.A., & Hudspeth, A.J. (2012). *Principles of neural science* (5ª. ed.). McGraw-Hill Education.
- Muñiz Landeros, C.E. (2015). *Neurología clínica* (1era. ed.). El Manual Moderno.
- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., & Hall, W.C. (2015). *Neuroscience* (5ta. ed.). Médica Panamericana.
- Snell, R.S. (2007). *Neuroanatomía Clínica* (6ta. ed.). Médica Panamericana.
- Turlough Fitzgerald, M.J., Gruener, G., & Mtui, E. (2012). *Neuroanatomía clínica y neurociencia* (6ª. ed.). Elsevier Saunders.
- Uriarte, B. (2013). *Funciones cerebrales y psicopatología* (1ra. ed.). Alfil.
- Waxman, S.G. (2011). *Neuroanatomía clínica* (26ª. ed.). Mc Graw Hill.
- Zarranz, J. (2013). *Neurología* (5ta. ed.). Elsevier.

Motor system Sistema de motor

Leonardo Flavio Medina Guillen

<http://orcid.org/0000-0001-7393-1584>

Pontificia Universidad Católica de Chile | Facultad de Medicina | Santiago | Chile

lmedinag@uc.cl

Maestrante en Salud Pública Global, Pontificia Universidad Católica de Chile. Doctor en Medicina y Cirugía, Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Coordinador nacional de proyecto RISSALUD.

Abstract

The chapter discusses the motor system, describing its anatomy and neurophysiology with a focus on the possible symptomatology of dysfunctions. The motor system is responsible for the planning, coordination and execution of motor programs for movement. The functions of the sensory system shape motor actions, with sensory representations being key parameters in motor planning. Movements are classified according to their function and control, such as eye, prehension, posture, locomotion, breathing and speech. Motor units have properties such as speed of contraction, maximum force and fatigability. Anatomy is explored in depth, highlighting the lower and upper motor neurons, motor cerebral cortex, motor areas of language, cerebellum and basal ganglia. Biochemistry is explored, highlighting striatum function and clinical correlation, addressing muscle conditions, upper motor neuron, cerebellum, basal ganglia and cortical areas. The chapter provides an in-depth understanding of the motor system and its clinical implications.

Keywords: Motor activity; Neuroanatomy; Neurophysiology; Motor disorders.

Resumo

O capítulo discute o sistema motor, descrevendo sua anatomia e neurofisiologia com foco na possível sintomatologia das disfunções. O sistema motor é responsável pelo planejamento, coordenação e execução de programas motores para o movimento. As funções do sistema sensorial moldam as ações motoras, sendo as representações sensoriais os principais parâmetros do planejamento motor. Os movimentos são classificados de acordo com sua função e controle, como olho, preensão, postura, locomoção, respiração e fala. As unidades motoras têm propriedades como velocidade de contração, força máxima e fatigabilidade. A anatomia é explorada em profundidade, destacando os neurônios motores inferiores e superiores, o córtex cerebral motor, as áreas de linguagem motora, o cerebelo e os gânglios basais. A bioquímica é explorada, destacando a função do estriado e a correlação clínica, abordando as condições musculares, o neurônio motor superior, o cerebelo, os gânglios basais e as áreas corticais. O capítulo oferece uma compreensão aprofundada do sistema motor e suas implicações clínicas.

Palavras-chave: Atividade motora; Neuroanatomia; Neurofisiologia; Distúrbios motores.