

El cerebelo. Significación funcional en la neurología clínica

Dres.: Alfonso Escobar y Bertha Torres Oliva*

Algunas consideraciones anatómicas

El cerebelo humano constituye aproximadamente la décima parte del encéfalo. Posee una porción media impar llamada vermis y 2 masas laterales llamadas hemisferios. Está dividido por fisuras primarias y secundarias. Larsell propone para el cerebelo de los mamíferos 10 lóbulos: I. Lingula, II y III lóbulos centrales, IV y V Culmen, VI lóbulo simplex, VII folium y tuber en el vermis (lateralmente se continúan con los lóbulos ansiformes), VIII pirámide (se continúa con los lóbulos paramedianos), IX úvula (se continúa con el paraflocculo ventral), y X nódulo que se continúa con el flóculo.²²

La fisura primaria divide el cuerpo del cerebelo en un lóbulo anterior que abarca los lóbulos I al V de Larsell y en un lóbulo posterior que abarca a los lóbulos VI al IX, la fisura posterolateral separa el lóbulo flóculonodular del lóbulo posterior y la fisura intercruar divide al lóbulo ansiforme en crus I y crus II.²²

El lóbulo flóculo nodular constituye el arquicerebelo, el lóbulo anterior, el paleocerebelo y el posterior el neocerebelo, de acuerdo a la escala filogenética.

Se divide en corteza y núcleos.

Arquitectura del cerebelo

Corteza cerebelosa

Representa el esfuerzo de la naturaleza para empaquetar un máximo de corteza dentro de un mínimo de espacio, forma una serie de folias profundas e impresionantemente uniformes. Consiste de una capa externa; molecular, separada de una capa de células granulares in-

ternas por las células de Purkinje.¹⁷⁻¹⁹ En la capa molecular están contenidas las células en cesta y las estrelladas, y en la granular las células de Golgi. Las células de Purkinje son grandes, constituyen el elemento central neuronal de la corteza, con su árbol dentrítico denso que asciende a la capa molecular donde establece numerosas sinapsis; el axón desciende directamente a los núcleos cerebelosos, son las únicas fibras eferentes de la corteza.²¹

Se conocen 2 sistemas aferentes a la corteza del cerebelo. El primero constituido por las fibras musgosas y trepadoras⁹⁻¹⁰ y el 2o. por un sistema nodadrenérgico probablemente importante en las actividades durante la vigilia y ritmos del sueño.¹⁰

Sistema de fibras trepadoras: La mayor parte de estas fibras se originan de la oliva inferior aunque algunos reportes indican otros orígenes.¹⁰ Hacen contacto directo con las ramas lisas del árbol dendrítico. Estas fibras también hacen sinapsis con otras células de la corteza, las de Golgi, cesta, núcleos profundos y con el núcleo de Deiters.

La unión que establece con las células de Purkinje es de acoplación electrónica, uno a uno.

La descarga de una fibra trepadora sobre la célula de Purkinje es excitatoria, y el efecto es un potencial de acción que es seguido de una despolarización prolongada en la cual puede estar superimpuesta una o varias ondas pequeñas.¹⁰⁻¹⁶ Este fenómeno registrado eléctricamente intra y extracelularmente, ha sido llamado como "espiga compleja" (por la forma de una onda compleja), y su característica es su baja frecuencia 1 a 2/sec comparado con la frecuencia de disparo causado por el sistema de fibras musgosa-célula granular que dispara a 70/sec.

Sistema de fibra musgosa-neurona granu-

* Departamento de Neurobiología, Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM. Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, SSA. Insurgentes Sur 3877, México 22, D.F.

lar: Proporciona la mayoría de los impulsos que llegan al cerebelo,^{6 9} a diferencia del sistema de fibras trepadoras, las fibras musgosas no terminan directamente en las células de Purkinje sino en pequeñas neuronas, las neuronas de la capa granular, cada una de las terminales musgosas forma una extensión bulbosa llamada roseta. Dentro de una estructura compleja llamada glomérulo cada roseta hace contacto con 5 células granulosas. El glomérulo está formado por la terminal musgosa neurona granular-neurona de Golgi.

Los axones de las células granulosas ascienden dentro de la capa molecular donde se bifurcan para formar una "T", los dos brazos de esa "T" son llamados fibras paralelas, pasan a través de las arborizaciones de las células de Purkinje y hacen contacto con sus espinas dendríticas. Todas esas sinapsis son excitatorias. La unión está formada por la cabeza de la espina y la expansión globular de la fibra paralela la cual está llena con vesículas sinápticas. Esta aferente es capaz de producir un constante grado de activación de las células de Purkinje. Parece que las fibras musgosas conducen la información sensorial al cerebelo así como información del estado funcional interno del sistema nervioso en general.^{6 9} Esta información llega a la corteza cerebelosa a través de los 3 pedúnculos cerebelosos que conducen las vías del sistema espinocerebeloso, de la corteza cerebral por el sistema pontino y del tallo a través del sistema reticuloespinal.³

Las interneuronas

Células en cesta, estrelladas y neuronas de Golgi, todas tienen efecto inhibitorio sobre las células de Purkinje.^{6 17 19} Las dos primeras residen en la capa molecular, reciben aferentes de las fibras paralelas, y colaterales de las fibras trepadoras, las estrelladas limitan su sinapsis a las dendritas mientras que las células en cesta lo hacen en el soma y dendritas bajas. Las células de Golgi tienen un papel central en la organización funcional del cerebelo, residen en la capa granular, reciben información de las fibras paralelas, y directamente de las fibras musgosas y trepadoras, los axones ejercen un mecanismo de

retroalimentación inhibitoria sobre las células granulares y forman lo que se llama el glomérulo.

Estas interneuronas son moduladoras de la actividad de las células de Purkinje.

Neurotransmisores

Las neuronas inhibitorias: células de Purkinje y en cesta utilizan GABA como neurotransmisor, mientras que la célula estrellada utiliza taurina. La acción excitatoria de las fibras musgosas, trepadoras, y neuronas granulares es mediada por glutamato, o bien por glutamato/aspartato.

Núcleos del cerebelo

Los núcleos del cerebelo en el hombre son la fuente mayor de las vías eferentes cerebelosas. Están formados por los núcleos fastigiales, dentados, globoso y emboliforme. La corteza cerebelosa está arreglada en zonas longitudinales: las células de Purkinje de la línea media vermiana proyectan al núcleo fastigial, las células más laterales proyectan al dentado y la zona intermedia al núcleo globoso y emboliforme.^{21 22}

Zona medial del cerebelo: los componentes de la zona medial del cerebelo, vermis cerebeloso y núcleo fastigial pueden estar estrechamente relacionados con un sistema de control que regula los reflejos segmentales importantes en la fijación postural o movimientos del tronco. La acción tónica de estas estructuras puede afectar la excitabilidad de las neuronas en las proyecciones vestibuloespinales y reticuloespinales y éstas regulan la actividad tónica de las motoneuronas alfa y gamma en la médula espinal. Participa además en las características dinámicas de la conducta motora, que incluyen movimientos fásicos de los ojos y la cabeza y los movimientos del tronco y extremidades que se requieran para mantener un equilibrio durante la actividad motora compleja.

La zona intermedia del cerebelo recibe también aferente de la médula espinal y participa en la regulación de movimientos fásicos y mantiene la posición de una extremidad; control que regula los movimientos de las extremidades en cuanto a su velocidad.

La zona lateral del cerebelo parece estar relacionada a características muy complejas de los movimientos. Las neuronas dentadas y la corteza motora descargan asociación para planear la secuencia de un movimiento. La vía dentado-tálamo-cortical está implicada en la iniciación del movimiento.²² La estimulación del núcleo fastigial y núcleo globoso producen efectos que involucran el tronco y los 4 miembros. La estimulación del emboliforme evoca movimientos que son generalmente limitados al miembro opsilateral. La estimulación del dentado controla los movimientos de cara y extremidades distales y se le ha involucrado también en relación a los movimientos sacádicos de los ojos.²² Las neuronas del núcleo dentado disparan a alta frecuencia a pesar del control inhibitorio de las células de Purkinje.

Arreglo somatotópico

Si se estimulan ciertos sistemas sensoriales es posible obtener potenciales evocados en áreas del cerebelo suficientemente localizadas para permitir un mapeo de la representación táctil del cuerpo en la superficie de la corteza cerebelosa. Snider en sus estudios con gatos o monos encuentra que la cola está representada en la língula, los miembros en los lóbulos centrales y en el culmen, y el cuello y la cabeza en el lóbulo simplex. Existe un 2o. mapa en el lóbulo piramidoparamediano.²²

Papel del cerebelo en el reflejo vestibulo-ocular

Arco reflejo: El flóculo está estrechamente relacionado con el arco reflejo vestibulo-ocular (VO), el cual produce movimientos compensatorios de los ojos durante la rotación de la cabeza para estabilizar la imagen retiniana al campo visual.^{13 15 23}

Las señales vestibulares se originan de 5 órganos terminales (3 conductos semicirculares y 2 otolitos), éstas llegan al órgano vestibular y excitan una neurona vestibular de 2o. orden, la cual a su vez excita o inhibe neuronas oculomotoras para producir movimientos de los ojos.

El flóculo recibe señales aferentes primarias desde el órgano vestibular a través de

fibras musgosas y envía impulsos eferentes inhibitorios de las células de Purkinje a ciertas neuronas vestibulares de 2o. orden.

El flóculo recibe 2 vías visuales: una cursa a través del tracto óptico accesorio y el tracto tegmental central y de allí a través del núcleo olivar inferior llega por vía de las fibras trepadoras. La otra vía abastece a las terminales musgosas en la región rostródorsal del flóculo.^{13 15}

Arco reflejo vestibuloespinal

Sirve para mantener constante la posición de la cabeza. Es un control en el que el objeto final es la posición de la cabeza.

A diferencia del reflejo VO la neurona de 2o. orden en este reflejo no está inhibida por aquellas áreas cerebelosas que reciben fibras vestibulares a través de las fibras musgosas.

Papel del cerebelo en la actividad motora y tono muscular

El cerebelo recibe impulsos aferentes de los receptores de estiramiento en el músculo, el huso muscular y también de los órganos musculotendíneos de Golgi, o sea recibe fibras Ia e Ib a través de los haces espinocerebelosos dorsal y ventral.³ Estos haces terminan en el Vermis en su corteza, en áreas I a IV o lóbulo anterior de Larsell, estas áreas corticales cerebelosas representan principalmente los miembros.

Los impulsos conducidos por el tracto espinocerebeloso dorsal son utilizados en la coordinación fina de la postura y movimiento de músculos individuales de los miembros, mientras que el espinocerebeloso ventral conduce información relacionada al movimiento o postura de un miembro.³

El cerebelo envía impulso del nódulo, flóculo, úvula, N. fastigial y lóbulo anterior, al complejo vestibular nuclear situado en el piso del IV ventrículo, además éste recibe las aferentes del nervio vestibular.²³

El tracto vestibuloespinal originado en este sitio desciende a lo largo de la médula espinal, ejerce influencia facilitadora sobre la actividad refleja de la médula espinal y sobre los mecanismos espinales, los cuales controlan el tono muscular. La influencia vestibuloespinal

excitatoria bajo los músculos extensores puede ser observada en reposo y durante la locomoción, y es mediada por interneuronas en las láminas VII y VIII de Rexed.^{2 3 7 8}

La modulación de las neuronas vestibulo-espinales con el ritmo locomotor ocurre sólo cuando el cerebelo está intacto.

Hay otras vías que intervienen en el mantenimiento del tono: I. Rubro espinal¹¹ originada en el N. rojo la cual recibe fibras del N. dentado⁷ y emboliforme a través del pedúnculo cerebeloso superior. Viaja hasta la médula torácica alta y su función es el control del tono muscular en el grupo muscular flexor.³ Excita a las motoneuronas flexoras por vías polisinápticas, es mediada por interneuronas espinales las cuales a su vez facilitan la motoneurona alfa flexora, además actúa sobre las neuronas motoras gamma las que influyen indirectamente sobre la actividad de las motoneuronas alfa a través del circuito gamma eferente.

El tracto reticuloespinal originado en células de la formación reticular del puente y bulbo influyen sobre el tono muscular por activación de motoneuronas gamma.^{5 14 20} Este último circuito tiene como función primordial la inervación de la fibra muscular intrafusar; cuando ésta se contrae por la acción de la motoneurona gamma el huso muscular descarga, lo que da como resultado la contracción de las fibras extrafusales. Si la motoneurona gamma pierde el efecto inhibitorio de la vía piramidal entonces la descarga rubroespinal la mantiene estimulada y por lo tanto aumenta el tono muscular.

Cuando falta el efecto cerebeloso sobre el núcleo rojo, el tono muscular somático disminuye por el desequilibrio con la vía piramidal.

La estimulación vermiana produce inhibición de las descargas al huso muscular de músculos extensores, por lo tanto resulta en una disminución de descargas de receptores de estiramiento, mientras que la estimulación de sitios laterales tienen un efecto opuesto.

Papel del cerebelo en las funciones autonómicas

La estimulación eléctrica del núcleo fastigial produce contracción de la vejiga y también

disminuye el reflejo de micción. Este efecto es mediado por actividad parasimpática, y se ve inhibido por el hipotálamo anterior. La inducción de la contracción de la vejiga por el hipotálamo posterior parece ser modulada por el N. fastigial.¹²

Manifestaciones clínicas de la disfunción cerebelosa

Tres esferas resultan afectadas: la motriz, la del equilibrio, y la postural; por lo tanto las principales manifestaciones clínicas comprenden alteraciones en la coordinación muscular, del movimiento voluntario y del equilibrio.

El signo cerebeloso más prominente es el error en la frecuencia, rango, fuerza y dirección de los movimientos conocido como *Ataxia*. Aparece en todos los músculos y es más pronunciado en actos precisos. Se clasifican como ataxia las siguientes alteraciones:

- 1) Temblor de intención que aparece al final de los movimientos.
- 2) Asinergia; que es la falta de coordinación entre los músculos.
- 3) Descomposición de los movimientos: el desarrollo de un acto en partes más que como un todo.
- 4) Dismetría; errores en el rango del movimiento.
- 5) Desviación de la línea de movimiento.
- 6) Adiadococinesia; inhabilidad para desarrollar movimientos alternantes, también como manifestación de ataxia aparece el nistagmo, el lenguaje tiene tendencia a descomponer las palabras en sílabas pronunciadas con fuerza y ritmo irregular. La marcha es tambaleante y los movimientos asociados de los brazos están perdidos. Hay hipotonía con ausencia anormal de la resistencia al estiramiento, fácilmente se desplaza un miembro de una postura a otra, con hiperextensibilidad de las articulaciones.⁴

Síndromes cerebelosos

1. Lesiones del lóbulo floculonodular o arquicerebelo

Dan lugar al síndrome de la línea media o vermiano. Hay un gran componente vestibular en las manifestaciones. La coordinación

del tronco y cabeza están afectados. Hay ataxia troncal e inestabilidad del paciente al estar de pie. Las alteraciones en la marcha son más marcadas. El paciente tiende a caer hacia atrás o hacia adelante. El tono muscular es normal, así como los reflejos, el nistagmo puede estar presente, pero no es marcado. La disartria es evidente. La causa más común de síndrome vermiano completo es el meduloblastoma.

2. Lesiones del lóbulo anterior o paleocerebelo

Causan hipertonicidad, rigidez de descerebración y aumento de los reflejos. Puede tener alteraciones gruesas en la coordinación, equilibrio y movimientos de inclinación de cabeza y tronco.

3. Síndrome de los hemisferios cerebelosos o del neocerebelo

Son unilaterales y se manifiestan clínicamente en el mismo lado del hemisferio dañado. Hay alteraciones evidentes de los movimientos de destreza, los miembros superiores se ven más afectados que los inferiores, los movimientos distales son más afectados que los proximales y los movimientos finos más que los gruesos. Hay ataxia, dismetría, disdiadococinesia, hipotonía y temblor de intención, nistagmo, la postura y la marcha no están afectados a menos que se extienda al vermis y entonces el paciente tiende a caer hacia el lado de la lesión.

Los síntomas difieren en la intensidad dependiendo de lo agudo y crónico del proceso. Si las lesiones son agudas, los síntomas son intensos. Puede haber un involucramiento extenso de los hemisferios sin síntomas clínicos.

Referencias

1. Barbeau, A.: Progress in understanding the biochemistry of Friedreich's ataxia. *Trends. Neuro. Sci.*, 87-90, 1979.
2. Bruggencate, G., y Lundberg, A.: Facilitatory interaction in transmission to motoneurons from vestibulospinal fibers and contralateral primary afferents. *Exp. Brain. Res.*, 19:248-270, 1974.
3. Carpenter, M.B.: *Human Neuroanatomy*. Baltimore, Seventh Edition, Chapt. 10, pp. 238-284 (Tracts in the spinal cord), 1976.
4. De Jong, R.N.: *The Neurologica Examination*. Harper & Row, Maryland, Chapt. 24, 318-328 (The cerebellum), 1979.
5. Evarts, E.V., y Thach, W.T.: Motor mechanism of the CNS: Cerebrocerebellar interrelations. *Ann. Rev. Physiol.*, 31:451-498, 1969.
6. Eccles, J.C.; Llinás, R., y Sasaki, K.L.: The mossy fiber-granule cell relay of the cerebellum and its inhibitory control by Golgi cells. *Exp. Brain. Res.*, 1:82-101, 1966.
7. Eccles, J.C.; Sabah, N.H.; Schmidt, R.F., y Taborikova, H.: Mode of operation of the cerebellum in the dynamic loop-control of movement. *Brain. Res.*, 40:73-80, 1972.
8. Feldman, A.G., y Orlovsky, G.N. Activity of interneurons mediating reciprocal Ia Inhibition during locomotion. *Brain. Res.*, 84:181-194, 1975.
9. Gilman, S.; Bloedel, J.R., y Lechtenberg, R.: Inputs to the cerebellum mossy fiber afferents. En: F.A. Davis, (Ed.), *Disorders of the cerebellum*, Davis Company, Chapt. 2, 15-51, 1981.
10. Gilman, S.; Bloedel, J.R., y Lechtenberg, R. (Eds.): *Disorders of the Cerebellum*. Davis, Philadelphia, Chapt. 3, 53-70, 1981.
11. Hongo, T.; Jankowska, E., y Lundberg, A.: The rubrospinal tract II. Facilitation of interneuronal transmission in reflex paths to motoneurons. *Exp. Brain. Res.*, 15:54-78, 1972.
12. Huang, T.F.; Yang, C.P., Yang, S.L.: The role of the fastigial nucleus in bladder control. *Exp. Neurol.*, 66:674-681, 1979.
13. Ito, M., y Misimaru, Yamamoto: Specific neural connections for the cerebellar control of vestibulo-ocular reflexes. *Brain. Res.*, 60:238-243, 1973.
14. Ito, M.: Neural design of the cerebellar motor control system. *Brain. Res.*, 40:81-84, 1972.
15. Ito, M.: Learning control mechanisms by the cerebellum investigated in the flocculo-vestibulo-ocular. En: D.B. Tower (Ed.) *The Basic Neurosciences*, Raven Press, Nueva York, pp. 245-252, 1975.
16. Llinás, R., y Volkind, R.A. The olivo-cerebellar system: functional properties as revealed by harmaline induced tremor. *Exp. Brain. Res.*, 18:69-87, 1973.
17. Llinás, R.: The cerebellar cortex. En: D.B. Tower (Ed.) *The Basic Neurosciences* Raven Press, Nueva York, pp. 235-243, 1975.
18. Snider, R.S.: The cerebellum, *Sci. Amer.*, 199:84-90, 1958.
19. Llinás, R.: The cortex of the cerebellum. *Sci. Am.*
20. Lundberg, A.: Control of spinal mechanisms from the brain. En: D.B. Tower (Ed.) *The Basic Neurosciences*, Raven Press, Nueva York, pp. 253-264, 1975.
21. Thach, W.T. Cerebellar Output: properties, synthesis and uses. *Brain. Res.*, 40:89-97, 1972.
22. Thach, Jr., W.T.: The cerebellum. En: V.B. Mountcastle (Ed.) *Medical Physiology*, Mosby, St. Louis, Vol. 1, Chapt. 31, pp. 837-858, 1980.
23. Wilson, V.J., y Peterson, B.W.: The role of the vestibular system in posture and movement. En: V.B. Mountcastle (Ed.) *Medical Physiology* Mosby, St. Louis, Vol. 1, Chapt. 30, pp. 813-834, 1980.

