

ORIGINAL

Análisis del patrón de activación funcional del cerebelo y su correlación topográfica



S.Y. Rodríguez-Takeuchi^a, G.P. Baena-Caldas^b, J.F. Orejuela-Zapata^{a,*}
y A.M. Granados Sánchez^{a,c}

^a Departamento de Imágenes Diagnósticas, Fundación Valle de Lili, Cali, Colombia

^b Universidad del Valle, Cali, Colombia

^c Universidad Icesi, Cali, Colombia

Recibido el 21 de mayo de 2019; aceptado el 29 de noviembre de 2019

Disponible en Internet el 3 de febrero de 2020

PALABRAS CLAVE

Cerebelo;
Resonancia
magnética funcional;
Anatomía

Resumen

Objetivos: Describir los patrones normales de activación en el cerebelo de funciones específicas cerebrales (motor, lenguaje, memoria) y su relación topográfica en la corteza cerebelosa utilizando resonancia magnética funcional.

Materiales y métodos: Se evaluaron 25 sujetos sanos, 8 mujeres y 17 hombres de entre 16 y 64 años, 23 diestros y 2 zurdos, mediante resonancia magnética funcional basada en tareas de lenguaje, memoria, motor y visual, en equipo de resonancia de 1.5 Teslas.

Resultados: Se caracterizó la actividad funcional en el cerebelo asociada a los componentes motores, de lenguaje y memoria, describiendo la relación con las regiones topográficas, así como su relación funcional con áreas corticales cerebrales.

Conclusiones: El conocimiento sobre los patrones de normalidad de las características morfológicas y del comportamiento funcional en el cerebelo, así como su relación con el cerebro, es importante para el radiólogo y médico clínico en la evaluación del cerebelo y sus posibles condiciones patológicas.

© 2020 SERAM. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Cerebellum;
Functional magnetic
resonance imaging;
Anatomy

Analysis of the pattern of functional activation of the cerebellum and its topographical correlation

Abstract

Objectives: To describe the normal patterns of cerebellar activation in specific cerebral functions (motor, language, memory) and their topographical correlations in the cerebellar cortex on functional magnetic resonance imaging.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: juan.orejuela@fvl.org.co (J.F. Orejuela-Zapata).

Materials and methods: We evaluated 25 healthy subjects (8 women and 17 men; 23 right-handed and 2 left-handed; age range, 16-64 years), who did language, memory, and motor tasks while undergoing 1.5 T functional magnetic resonance imaging.

Results: We assessed functional activity of the cerebellum associated with motor, language, and memory components, describing their relations with topographical regions of the cerebellum and their functional relations with areas in the cerebral cortex.

Conclusions: Knowledge of the normal patterns of morphological characteristics and functional behavior in the cerebellum as well as their relations with the brain is important for radiologists and clinicians evaluating the cerebellum and possible pathological conditions that affect it.

© 2020 SERAM. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La configuración interna del cerebelo permite identificar un componente de sustancia gris denominado, en el plano superficial, la corteza cerebelosa y, en el plano interior, los núcleos profundos. La corteza cerebelosa se compone de tres capas: la capa molecular, que es la más superficial; la capa media o de células de Purkinje, y la capa profunda o granulosa; mientras que los núcleos profundos son cuatro y se denominan de medial a lateral: fastigial, emboliforme, globoso y dentado, respectivamente (fig. 1).

Profundamente en la corteza cerebelosa también se encuentran tractos de sustancia blanca que corresponden a fibras intrínsecas, aferentes y eferentes. Dichos tractos discurren a través de los pedúnculos cerebelosos superior, medio e inferior para conectar estructural y funcionalmente el cerebelo con el encéfalo y la médula espinal. El pedúnculo cerebeloso medio es el más grande y por él transcurren las fibras pontocerebelosas de núcleos pontinos contralaterales y de la corteza cerebral; el pedúnculo cerebeloso superior está constituido principalmente por fibras eferentes provenientes de los núcleos profundos del cerebelo, mientras que por el pedúnculo cerebeloso inferior transcurren múltiples

tractos aferentes; su principal eferencia proviene del núcleo profundo del fastigio (tabla 1).

En cuanto a la configuración externa del cerebelo, este se divide en una estructura mediana denominada vermis y dos estructuras laterales denominadas hemisferios cerebelosos, los cuales se organizan en folios con una disposición transversal, ubicados uno tras otro en sentido rostrocaudal. Dichos folios se agrupan en lóbulos anterior, posterior y noduloflocular, que filogenéticamente presentan un origen diferente; el más antiguo es el arquicerebelo, que se encarga del mantenimiento del equilibrio corporal tanto en reposo como en movimiento y del control límbico de las emociones, manifestaciones autonómicas, sexualidad y memoria; le sigue el paleocerebelo, que regula el tono de la musculatura axial proximal para el control postural y, por último, el neocerebelo, que coordina los grupos musculares para la realización de movimientos finos y precisos, además de controlar la planificación, estrategia, aprendizaje, memoria y lenguaje. Aunque existen diferentes maneras de clasificar los lóbulos del cerebelo, para el presente estudio se utilizó la nomenclatura propuesta por Larsell en 1951, que divide los folios en 10 segmentos, denominados con números romanos del I al X, tanto para el vermis como para los hemisferios cerebelosos, anexando para este último una letra "H" al final del número romano (fig. 2). Cabe resaltar que el lóbulo cerebeloso anterior comprende los segmentos verminos del I al V; el lóbulo posterior, los segmentos del VI al IX, y el lóbulo noduloflocular, el segmento X.

En las últimas décadas, múltiples investigaciones en seres humanos han planteado representaciones del cuerpo en el cerebelo, a la manera de mapas somatotópicos, tal como se evidencia en estudios de imágenes de resonancia magnética funcional (RMf) al aplicar distintos paradigmas para la valoración de tareas motoras, cognitivas, y lenguaje¹⁻². Dichos estudios han demostrado la presencia de dos homúnculos sensoriomotores en la corteza cerebelosa: el primero, localizado en el lóbulo anterior, y el segundo, en el lóbulo VIII³. De esta manera, se han correlacionado ciertos signos y síntomas clínicos con áreas topográficas específicas: la ataxia de la marcha se ha asociado con el vermis de los lóbulos II y III; la incoordinación motora en miembros inferiores, con los lóbulos III y IV y en miembros superiores, con los lóbulos V y VI; y las alteraciones oculomotoras con los lóbulos VIII y IX^{4,5}.

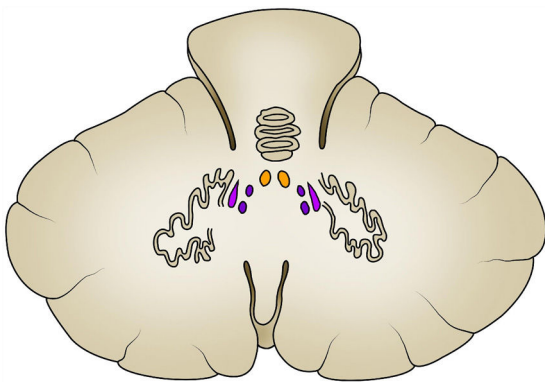
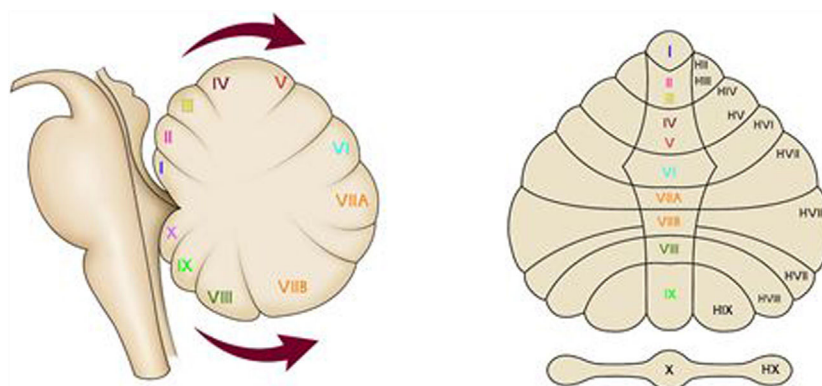


Figura 1 Corte transversal del cerebelo. A cada lado del cerebelo se observan, de medial a lateral: 1 núcleo fastigial (naranja), 2 globosos (violeta oscuro), 1 emboliforme (violeta claro) y 1 dentado (café).

Tabla 1 Vías de asociación del cerebelo

Pedúnculo cerebeloso inferior	Aferencias	Tracto olivocerebeloso Tracto vestibulocerebeloso Tracto espinocerebeloso posterior Tracto cuneocerebeloso Tracto espinocerebeloso rostral Tracto reticulocerebeloso Tracto trigeminocerebeloso Tracto cerebelovestibular
Pedúnculo cerebeloso medio	Eferencias	Tracto pontocerebeloso
Pedúnculo cerebeloso superior	Aferencias	Tracto espinocerebeloso superior
	Eferencias	Fibras cerebelorubrales Fibras cerebelotalámicas Fascículo uncinado Tracto núcleo-olivar

**Figura 2** Corte axial y coronal de la segmentación por lóbulos del cerebelo según Larsell.

Estudios más específicos han detallado incluso los movimientos de los dedos de la mano y su activación sensorial y motora en el cerebelo⁶. Asimismo, en estudios anteriores observamos que al realizar una tarea motora con un miembro superior, existía activación en el cerebelo ipsilateral al hemicuerpo que ejecuta la función, y contralateral al área de activación en la corteza cerebral⁷, hallazgos similares a los descritos por otros autores en estudios de evaluación del lenguaje, donde se ha observado en adultos sanos diestros una activación del hemisferio cerebeloso ipsilateral en paralelo con activaciones de las áreas de Broca y Wernicke contralaterales⁸. Estos hallazgos sugieren que existen conexiones cerebelocerebrales específicas para ciertas funciones cerebrales.

El objetivo de este estudio es describir el patrón de activación en el cerebelo de funciones específicas y su relación topográfica en la corteza cerebelosa utilizando RMf.

Materiales y métodos

Sujetos

Se incluyeron 25 sujetos sanos, 17 hombres y 8 mujeres de entre 16 y 64 años, 23 diestros, 2 zurdos. En los criterios de exclusión se tuvieron en cuenta antecedentes personales o familiares traumáticos, vasculares, neurológicos o

psiquiátricos que pudieran alterar la función cerebral o los resultados del estudio. Este estudio fue aprobado por el comité de ética institucional y se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos.

Protocolo de adquisición

Los estudios fueron realizados en un equipo de resonancia de 1.5 T (Avanto, SIEMENS; Erlangen, Alemania). Los sujetos fueron ubicados en posición de decúbito supino con inmovilización de la cabeza dentro de la antena. Se adquirió una secuencia potenciada en T1, desde el vértex hasta la fosa posterior del cerebro (FOV=256 mm, TE=3,37 ms, TR=1900 ms, angulación=15°, espesor de corte=1 mm, tamaño del vóxel=1 mm³). Para los estudios funcionales, se adquirieron 20 cortes axiales intercalados paralelos al tentorio, desde el vértex hasta el cuarto ventrículo, utilizando secuencias *gradient echo-based* EPI para cada estudio funcional (FOV=240, espesor de corte=6 mm, TE=45 ms, TR=2000 ms, angulación=90°, tamaño del vóxel=3,75 × 3,75 × 6,00 mm²). Las tareas fueron explicadas antes de la sesión y antes del inicio de cada secuencia funcional.

Se presentó a los sujetos cinco paradigmas que consistían en 10 bloques que alternaban condiciones de activación y de control, cinco bloques por condición, todos de igual duración

Tabla 2 Descripción detallada de las tareas utilizadas en cada paradigma

Paradigma	Tarea de activación	Tarea de control	DB (s)	VB	TV	TTA (min)
Motor	Apretar esponja con miembro superior dominante	Fijación visual	20	10	100	3,3
Lenguaje	Discriminación frases verdaderas/falsas	Letras en desorden	30	15	150	5,0
Lenguaje	Lectura pasiva	Símbolos	20	10	100	3,3
Memoria operativa	0-task	Fijación visual	30	15	150	5,0
Memoria	Codificación de escenas	Línea roja	20	10	100	3,3

DB: duración de cada bloque; TTA: tiempo total de adquisición; TV: total volúmenes; VB: volúmenes por bloque.

(tabla 2). Todos los estímulos fueron presentados de manera visual:

- **Tarea motora.** Durante la fase de activación, se proyecta una imagen de una mano en la pantalla, donde se indica al sujeto que debe apretar una esponja que tiene en su mano dominante. Durante la fase de control, el sujeto debe permanecer en reposo y alerta a la pantalla.
- **Tarea lenguaje receptivo.** Durante la fase de activación, se proyecta un texto en español y se indica al sujeto que debe leerlo mentalmente. Durante la fase de control, se proyectan símbolos aleatorios y se indica al sujeto que debe hacer seguimiento con los ojos como si estuviera leyendo.
- **Tarea lenguaje receptivo/productivo.** Durante la fase de activación, se proyecta una frase relacionada con la vida cotidiana (p. ej., “Una herramienta para cortar es un cuchillo”) y se pide al sujeto que indique con su dedo índice de la mano dominante cuándo la frase es verdadera. En la fase de control, se proyectan letras en desorden, y se pide al sujeto que indique de la misma manera cuándo ve la letra X.
- **Tarea memoria operativa.** Durante la fase de activación, se proyecta al sujeto un bloque de letras y se le pide que memorice la primera letra de cada bloque e indique con el dedo índice de la mano dominante cuándo la letra vuelve a aparecer en la pantalla. En la fase de control, se presenta una pantalla blanca con una cruz negra en la mitad y se le indica que haga fijación visual para estar alerta al nuevo bloque de letras.
- **Tarea de codificación de escenas.** En la fase de activación, se proyecta al sujeto imágenes de lugares interiores y exteriores; el sujeto debe indicar con su dedo índice de la mano dominante cuándo el lugar es exterior. En la fase de control, se presentan imágenes de colores similares con una línea roja vertical, y se pide al sujeto que indique con el dedo índice cuándo la línea roja está a la derecha.

Análisis de datos

Las imágenes fueron convertidas del formato DICOM a NIFTI utilizando la herramienta dcm2nii de MRICro (McCausland Center, Columbia, SC). Las secuencias T1 fueron procesadas empleando BET v2.1 (Brain Extraction Tool) para realizar la extracción del cráneo utilizando un umbral de

intensidad fraccional de $FIT=0,5$. Los estudios funcionales fueron procesados mediante la herramienta FEAT v6.0 (FMRIB Expert Analysis Tool), definiendo un valor de corte para el filtro pasa-alta teniendo en cuenta el periodo de tiempo para cada tarea. Se realizó corrección de movimiento a través de la herramienta FLIRT (FMRIB's Linear Image Registration Tool), corrección de la sincronización de los cortes utilizando el espacio de Fourier, y suavizado espacial con un kernel gaussiano $FWHM=7$ mm. Se llevó a cabo una alineación con la secuencia estructural utilizando una transformada de cuerpo rígido de 6 grados de libertad empleando el algoritmo BBR (*Boundary-Based Registration*), y con la plantilla cerebral del Instituto Neurológico de Montreal (MN152) utilizando una transformada afín de 12 grados de libertad. La extracción de los mapas de activación se realizó con las herramientas de FMRIB Software Library v5.0.8 (FSL, FMRIB Centre, Oxford, UK), llevando a cabo un análisis de primer nivel. El análisis estadístico de las series de tiempo fue realizado utilizando FILM (FMRIB's Improved Linear Model) con corrección local de autocorrelación. Se hizo un análisis univariante según el modelo lineal general, estableciendo una sola variable explicativa y una función de respuesta hemodinámica doble gamma para la convolución con la señal funcional. Los mapas estadísticos Z (Gaussianised T/F) fueron obtenidos empleando *clusters* determinados por $Z > 2,3$ y significancia de $p=0,01$. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de alto nivel utilizando FLAME stage 1 (FMRIB's Local Analysis of Mixed Effects, FSL), incluyendo solo el grupo de sujetos con dominancia derecha ($n=23$). Las activaciones fueron descritas teniendo en cuenta el atlas probabilístico cerebral estructural cortical y subcortical de Harvard-Oxford, realizado por el Centro de Harvard para el Análisis Morfométrico. Las activaciones a nivel cerebeloso fueron descritas teniendo en cuenta el atlas probabilístico infratentorial y cerebeloso de alta resolución SUIT⁹⁻¹², y la parcelación cortical estimada por conectividad funcional intrínseca descritas por Yeo et al.¹³ (fig. 3).

Resultados

Sujetos con dominancia derecha

En tareas de lenguaje que involucra componentes tanto productivos como receptivos se observó, a nivel supratentorial, activación del giro frontal inferior y de los giros angular, supramarginal y temporal superior en el hemisferio cerebral

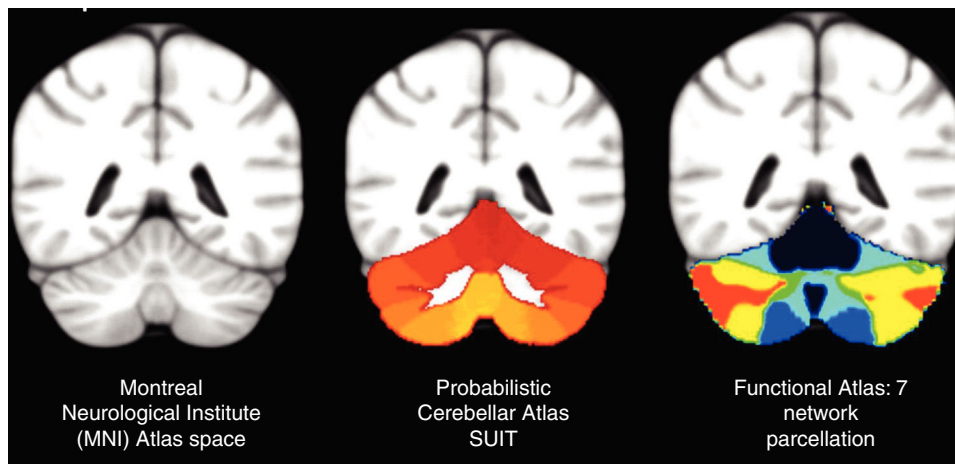


Figura 3 Plantilla cerebral estándar MNI152 (izquierda), atlas de probabilístico cerebeloso de alta resolución SUIT (centro), y la parcelación cortical estimada por conectividad funcional intrínseca descrita por Yeo et al. (derecha).

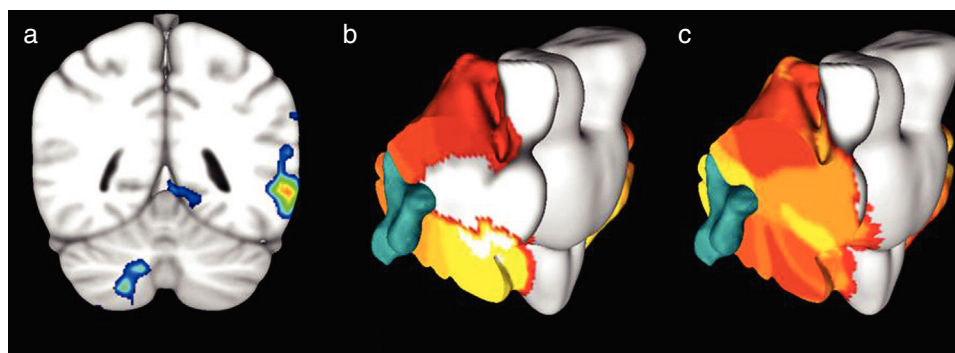


Figura 4 Activación cerebral en el lóbulo temporal del hemisferio izquierdo (A), con activaciones contralaterales a nivel cerebeloso en los lóbulos Crus I, Crus II, VIIb y VIIa (B), que corresponde a las redes frontoparietal y de atención dorsal y ventral (C), durante tareas de lenguaje.

izquierdo asociado a las áreas de Broca y Wernicke, respectivamente; mientras que en el cerebelo se observó activación en el hemisferio derecho de los lóbulos Crus I, Crus II, VIIb y VIIa, que corresponden a las redes frontoparietal y de atención dorsal y ventral (fig. 4). En la tarea de lenguaje receptivo (lectura mental de una historia) se evidenció activación de los giros angular, supramarginal y temporal superior en el hemisferio cerebral izquierdo, asociada al área de Wernicke; mientras que a nivel infratentorial se observó activación de los lóbulos cerebelosos VI, Crus I y Crus II en el hemisferio derecho.

Durante la tarea motora, a nivel supratentorial se observó activación de los giros pre- y poscentral en el hemisferio izquierdo asociado a la representación motora y sensorial del miembro superior derecho. En el cerebelo se observó activación en el hemisferio derecho en los lóbulos V y VI, que hacen referencia a las redes funcionales somatomotora y frontoparietal (fig. 5).

En tareas de codificación de escenas, se observó activación supratentorial de los giros parahipocampal, fusiforme y lingual de aspecto bilateral simétrico, mientras que, a nivel infratentorial, se observó activación bilateral de los lóbulos cerebelosos V, VI y Crus I en relación con las redes funcionales somatomotora y de atención ventral (fig. 6). Por otra

parte, durante la ejecución de tareas de memoria operativa se observó activación de la corteza prefrontal y parietal de manera bilateral y simétrica; en el cerebelo se observó activación en el hemisferio derecho de los lóbulos VI, VIIb y VIIa que corresponden a las redes de atención dorsal y ventral, y a la red frontoparietal (fig. 7).

Sujetos con dominancia izquierda

En tareas de lenguaje receptivo y productivo, en uno de los sujetos se observó un patrón de activación similar al descrito en el grupo de sujetos con dominancia derecha. Sin embargo, el otro sujeto zurdo mostró un patrón de activación con dominancia del hemisferio cerebral derecho para funciones receptivas y productivas de lenguaje, observando activación del giro frontal inferior y de los giros angular, supramarginal y temporal superior en el hemisferio cerebral derecho, mientras que en el cerebelo se observó activación en el hemisferio izquierdo de los lóbulos Crus I, Crus II, VIIb y VIIa, que corresponden a las redes frontoparietal y de atención dorsal y ventral.

En tareas motoras, a nivel supratentorial se observó activación de los giros pre- y poscentral en el hemisferio derecho asociado a la representación motora y sensorial del

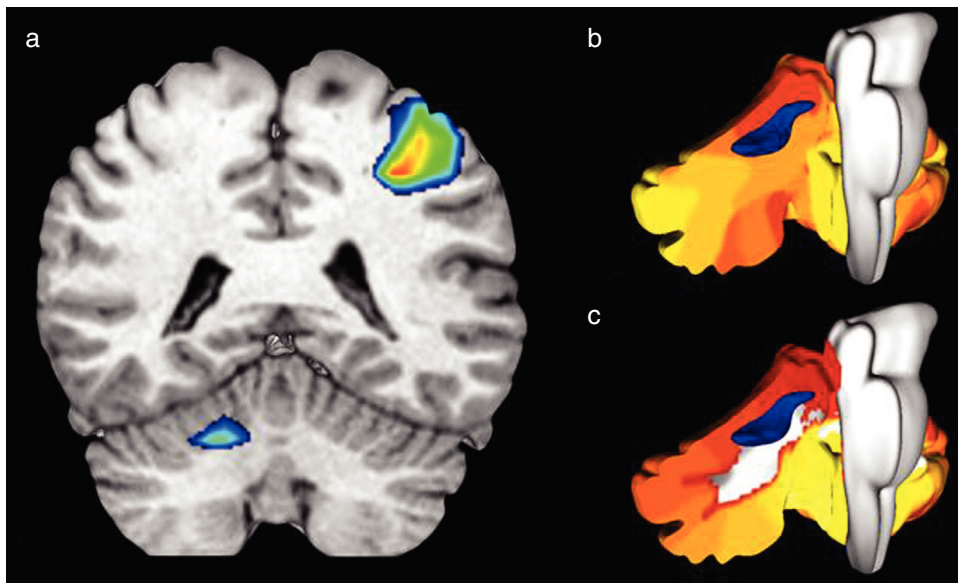


Figura 5 Activación cerebral en el homúnculo motor en el hemisferio izquierdo asociado a la representación motora del miembro superior derecho (A), con activaciones contralaterales a nivel cerebeloso (A) en los lóbulos V y VI (C), que corresponde a la segunda red funcional descrita por Yeo et al. (B), durante tareas motoras.

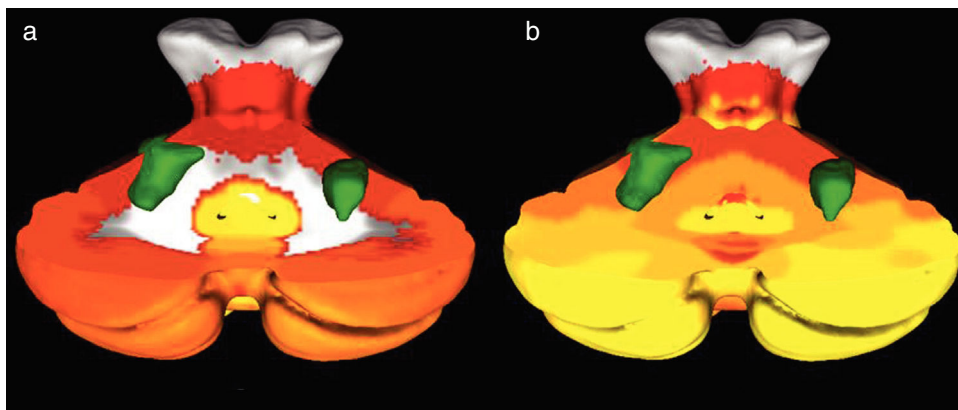


Figura 6 Activación a nivel cerebeloso en los lóbulos V, VI y Crus I (A), que corresponde a la segunda y cuarta red funcional descrita por Yeo et al. (B), durante tareas de codificación de escenas.

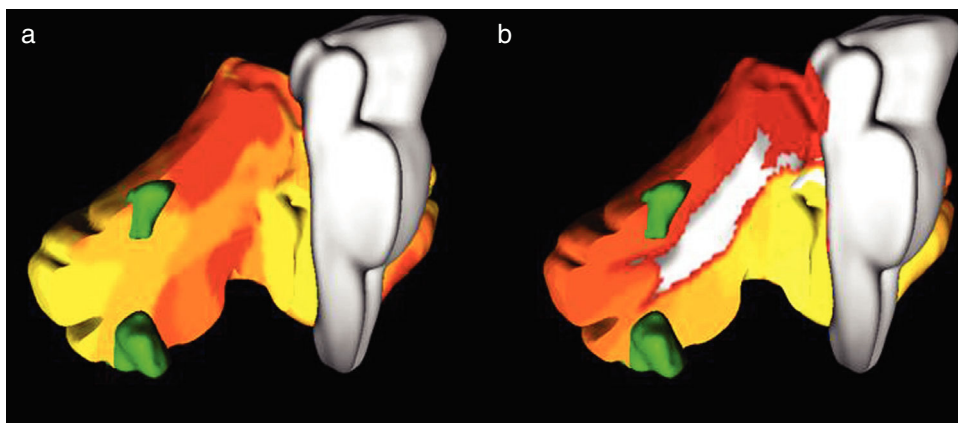


Figura 7 Activación a nivel cerebeloso en los lóbulos VI, VII y VIII (A), que corresponde a la tercera, cuarta y sexta red funcional descrita por Yeo et al. (B), durante ejecución de tareas de memoria operativa.

miembro superior izquierdo, mientras que a nivel del cerebelo se observó activación en el hemisferio izquierdo en los lóbulos V y VI que hacen referencia a las redes funcionales somatomotora y frontoparietal.

En tareas de codificación de escenas y de memoria operativa, el patrón de activación fue similar al del grupo de sujetos con dominancia derecha, tanto a nivel supra- como infratentorial.

Discusión

Diferenciar topográficamente las áreas de activación cerebelosa ha permitido caracterizar los diferentes signos y síntomas clínicos que se presentan en las patologías en esta región⁴. La RMf es una herramienta útil para diferenciar de manera anatomofuncional regiones a nivel del cerebro y cerebelo; algunos estudios de RMf actualmente se centran en comprobar y distinguir áreas topográficas ante diferentes dominios¹. En el presente estudio se describió, en el cerebelo, el patrón de activación funcional y su relación anatómica durante la ejecución de tareas motoras, de lenguaje y memoria.

Áreas motoras

Diferentes estudios muestran que las tareas motoras se localizan en el lóbulo anterior con representación secundaria en los lóbulos VIII y IX^{1,14,15}. Estos hallazgos se correlacionan con las manifestaciones clínicas de los pacientes con síndrome motor cerebral, donde el lóbulo cerebeloso anterior se ve comprometido^{1,16}. A pesar de que en la presente serie de casos no se discrimina entre los tipos de tareas motoras, otros estudios publicados muestran que aquellas tareas que requieren mayor coordinación sensoriomotora con movimientos repetitivos secuenciales están representadas en un área cerebelosa diferente, lóbulos VI y VIIa¹⁷. En nuestro estudio, la tarea motora activó las cortezas V y VI, regiones relacionadas con el movimiento de los miembros superiores en el homínulo sensoriomotor del cerebelo. Estos hallazgos se correlacionan con lo observado en la literatura científica^{4,16-19}. La activación sincrónica motora en el cerebelo tiene localización hemisférica contralateral a la activación cerebral. La relación entre ambas activaciones se cree que está vinculada con la preparación, ejecución y coordinación del movimiento^{1,20}. En nuestra serie de casos, tanto los sujetos de dominancia derecha como los de dominancia izquierda lograron una activación cerebelosa contralateral a la activación en la corteza supratentorial.

Áreas de lenguaje productivo y receptivo

La lateralización del lenguaje en el cerebelo depende de la dominancia cerebral del lenguaje. Es por eso por lo que, en la mayoría de las personas, las tareas de lenguaje activan los lóbulos cerebelosos VI y VII derechos^{8,14,21}. En esta serie de casos se discrimina entre las tareas de lenguaje receptivo y productivo a través de un diseño de paradigmas en bloque. En la tarea de lenguaje receptivo encontramos activación de los lóbulos cerebelosos VI, Crus I y Crus II; en la tarea de lenguaje productivo se encontró activación de los lóbulos

cerebelosos Crus I, Crus II y VIIb. Algunos estudios sugieren que las tareas de lenguaje receptivo tienen activación hemisférica, mientras que las tareas de producción del lenguaje activan zonas vermicianas y paravermianas⁸. El cerebelo parece estar involucrado en las asociaciones semánticas, fonéticas y gramaticales del lenguaje^{8,22}. El cerebelo hace parte del componente motor de la red del lenguaje, en donde además están involucrados el giro frontal inferior, la ínsula anterior, la corteza premotora y el núcleo caudado. Algunos autores creen que el rol del cerebelo en esta red está relacionado con la fluencia verbal y la estructuración de la fonación^{8,23}.

Áreas de memoria operativa

En nuestro estudio, la activación del cerebelo durante las tareas de memoria de trabajo muestra el mismo patrón de activación que las tareas de lenguaje^{14,24}. La activación de los lóbulos VI, VII y VIII, con predominio cerebeloso derecho, puede estar relacionada con el componente fonológico en la memoria de trabajo^{14,25}. También algunos autores afirman que la activación del componente lateral en los lóbulos VI y Crus I durante la memoria de trabajo está relacionada con la planificación y preparación (el componente ejecutivo central de la memoria de trabajo) y los lóbulos Crus II y VIII están relacionados con el procesamiento de información auditiva y visual necesaria para estas tareas²⁶⁻²⁸.

Conclusiones

Las lesiones en el cerebelo presentan un espectro variado de manifestaciones clínicas. Los avances recientes en neuroimagen han permitido un mejor entendimiento de la anatomía, función y conectividad del cerebelo; sin embargo, todavía falta mucho por conocer y entender sobre la activación cerebelosa y sus vías de conexión con la corteza cerebral; en especial, en aquello relacionado con las funciones cognitivas no-motoras. El conocimiento de los patrones normales de activación a través de la RMf puede ser útil para el radiólogo y el clínico en el abordaje de pacientes con un espectro variado de patologías con compromiso cerebeloso.

Autoría

1. Responsable de la integridad del estudio: AMG
2. Concepción del estudio: AMG, JFO, GPBC, SYRT
3. Diseño del estudio: AMG, JFO
4. Obtención de los datos: JFO, GPBC, SYRT
5. Análisis e interpretación de los datos: AMG, JFO, GPBC, SYRT
6. Tratamiento estadístico: AMG, JFO
7. Búsqueda bibliográfica: AMG, JFO, GPBC, SYRT
8. Redacción del trabajo: AMG, JFO, GPBC, SYRT
9. Revisión crítica del manuscrito con aportaciones intelectualmente relevantes: AMG, JFO, GPBC, SYRT
10. Aprobación de la versión final: AMG, JFO, GPBC, SYRT

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Strick PL, Dum RP, Fiez JA. Cerebellum and Nonmotor Function. *Annu Rev Neurosci*. 2009;32:413–34.
2. Ito M. Control of mental activities by internal models in the cerebellum. *Nat Rev Neurosci*. 2008;9:304–13.
3. Stoodley CJ, Valera EM, Schmahmann JD. Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study. *Neuroimage*. 2012;59:1560–70.
4. Grimaldi G, Manto M. Topography of cerebellar deficits in humans. *Cerebellum*. 2012;11:336–51.
5. Habas C. Functional imaging and the cerebellum: recent developments and challenges. *Cerebellum*. 2012;11:311–3.
6. Wiestler T, McGonigle DJ, Diedrichsen J. Integration of sensory and motor representations of single fingers in the human cerebellum. *J Neurophysiol*. 2011;105:3042–53.
7. Granados A, Orejuela J, Rodríguez-Takeuchi S. Neuroimaging evaluation in refractory epilepsy. *Neuroradiol J*. 2015;28:529–35.
8. Gelinas JN, Fitzpatrick KPV, Kim HC, Bjornson BH. Cerebellar language mapping and cerebral language dominance in pediatric epilepsy surgery patients. *Neuroimage Clin*. 2014;6:296–306.
9. Diedrichsen J. A spatially unbiased atlas template of the human cerebellum. *Neuroimage*. 2006;33:127–38.
10. Diedrichsen J, Balsters JH, Flavell J, Cussans E, Ramnani N. A probabilistic atlas of the human cerebellum. *Neuroimage*. 2009;46:39–46.
11. Diedrichsen J, Maderwald S, Kuper M, Thurling M, Rabe K, Gizewski ER, et al. Imaging the deep cerebellar nuclei: A probabilistic atlas and normalization procedure. *Neuroimage*. 2011;54:1786–94.
12. Diedrichsen J, Zotow E. Surface-based display of volume-averaged cerebellar data. *PLoS One*. 2015;10:e0133402.
13. Yeo BT, Krienen FM, Sepulcre J, Sabuncu MR, Lashkari D, Hollinshead M, et al. The organization of the human cerebral cortex estimated by intrinsic functional connectivity. *J Neurophysiol*. 2011;106:1125–65.
14. Stoodley CJ, Schmahmann JD. Functional topography in the human cerebellum: a meta-analysis of neuroimaging studies. *Neuroimage*. 2009;44:489–501.
15. Buckner R, Krienen F, Castellanos A, Diaz J, Yeo B. The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional connectivity. *J Neurophysiol*. 2011;106:2322–45.
16. Stoodley CJ, Schmahmann JD. Functional topography of the human cerebellum. *Handb Clin Neurol*. 2018;154:59–70.
17. Schlerf J, Verstynen T, Ivry R, Spencer R. Evidence of a Novel Somatotopic Map in the Human Neocerebellum During Complex Actions. *J Neurophysiol*. 2010;103:3330–6.
18. Ashida R, Cermignani NL, Edwards RJ, Apps R, Brooks JCW. Sensorimotor, language, and working memory representation within the human cerebellum. *Hum Brain Mapp*. 2019;40:4732–47.
19. Grodd W, Hülsmann E, Lotze M, Wildgruber D, Erb M. Sensorimotor mapping of the human cerebellum: fMRI evidence of somatotopic organization. *Hum Brain Mapp*. 2001;13:55–73.
20. Bostan A, Dum R, Strick P. Cerebellar networks with the cerebral cortex and basal ganglia. *Trends in Cogn Sci*. 2013;17:241–54.
21. Méndez Orellana C, Visch-Brink E, Vernooij M, Kalloe S, Satoer D, Vincent A, et al. Crossed Cerebrocerebellar Language Lateralization: An Additional Diagnostic Feature for Assessing Atypical Language Representation in Presurgical Functional MR Imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;36:518–24.
22. Jansen A, Floel A, Van Randenborgh J, Konrad C, Rotte M, Forster A, et al. Crossed Cerebro-Cerebellar Language Dominance. *Hum Brain Mapp*. 2005;24:165–72.
23. Mariën P, Ackermann H, Adamaszek M, Barwood C, Beaton A, Desmond J, et al. Consensus Paper: Language and the Cerebellum: an Ongoing Enigma. *Cerebellum*. 2014;13:386–410.
24. Pillai J, Allison JD, Sethuraman S, Araque JM, Thiruvaiyaru D, Ison CB, et al. Functional MR. Imaging Study of Language-Related Differences in Bilingual Cerebellar Activation. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2004;25:523–32.
25. Eickhoff S, Heim S, Zilles K, Amunts K. A systems perspective on the effective connectivity of overt speech production. *Neuroimage*. 2009;47:S96.
26. Durisko C, Fiez J. Functional activation in the cerebellum during working memory and simple speech tasks. *Cortex*. 2010;46:896–906.
27. Noroozian M. The Role of the Cerebellum in Cognition Beyond Coordination in the Central Nervous System. *Neurol Clin*. 2014;32:1081–104.
28. Marvel C, Desmond J. The contributions of cerebro-cerebellar circuitry to executive verbal working memory. *Cortex*. 2010;46:880–95.