



Correlato neuronal del procesamiento de los verbos de movimiento: un estudio de estimulación magnética transcraneal

Javier Rodríguez Ferreiro¹, Fernando Cuetos²

¹Universidad de Barcelona, ²Universidad de Oviedo

RESUMEN

La estimulación magnética transcraneal (EMT) se ha utilizado para demostrar el papel crucial de la corteza motora en la comprensión del significado de verbos de movimiento. Otras regiones como la parte posterior de la circunvolución temporal media, o la circunvolución frontal inferior izquierda, se han asociado también al procesamiento de este tipo de verbos, pero no está claro si su actividad juega un papel fundamental en la comprensión de los verbos de movimiento, o simplemente acompaña su procesamiento. Presentamos un estudio del correlato neuronal del procesamiento semántico de los verbos de movimiento basado en la aplicación de EMT. Diez voluntarios llevaron a cabo una tarea de categorización semántica en la que se utilizaron verbos de movimiento y verbos abstractos mientras se sometían a EMT en estas dos regiones. La estimulación en la circunvolución frontal inferior izquierda provocó un efecto significativo sobre la comprensión de los verbos de movimiento. La estimulación de la parte posterior de la circunvolución temporal media, sin embargo, no produjo efectos significativos. Nuestros resultados apoyan la idea de que la circunvolución frontal inferior izquierda es crucial para la comprensión de los verbos que expresan movimientos.

Palabras clave: verbos; movimiento; estimulación magnética transcraneal

ABSTRACT

Transcranial magnetic stimulation (TMS) has been used to demonstrate the crucial role of the motor cortex in the comprehension of the meaning of motion verbs. Other regions, like the posterior middle temporal or left inferior frontal gyri, have also been associated to the processing of this verb category. However, it is not clear whether activity in these areas is crucial for verb processing or just a meaningless correlate. We present a study of the neural basis of motion verb processing in which TMS was applied to ten healthy volunteers while they performed a semantic categorization task with motion and abstract verbs. Stimulation of the left inferior frontal gyrus produced a significant effect on the comprehension of motion verbs. Stimulation of the posterior middle temporal gyrus, on the other hand, did not yield any significant results. Our results support the idea that left inferior frontal gyrus plays a critical role in the understanding of motion verbs.

Keywords: verbs; motion; transcranial magnetic stimulation.

Contacto:

Javier Rodríguez Ferreriro
e-mail: rodriguezferreiro@ub.edu.



1.- Introducción

La estimulación magnética transcraneal (EMT) permite interferir momentáneamente en la actividad de una región concreta de la corteza cerebral en un momento determinado. Mientras que las técnicas de neuroimagen o de registro electrofisiológico nos dan una idea de la correlación existente entre determinadas tareas y los patrones de activación que aparecen en las distintas áreas del cerebro, la EMT nos da la oportunidad de influir directamente en la región de interés para estudiar su papel en un proceso determinado. Cuando un área del cerebro aparece activada consistentemente al realizar una tarea concreta, se asume que área y tarea están relacionadas, pero, lamentablemente, no es posible concluir que dicha área es la que dirige la ejecución de esa tarea. La actividad detectada podría ser simplemente un epifenómeno o resonancia del proceso que estamos estudiando. Mediante la EMT se puede modular la actividad neuronal de un área concreta del cerebro de un paciente o participante sano de un experimento. Así, si la región estimulada está realmente implicada en la tarea a realizar, la aplicación de la EMT provocará algún tipo de efecto en la capacidad del participante para realizar dicha tarea. De esta forma, podemos establecer una relación causal entre esa región cortical y la tarea estudiada.

La aplicación de la EMT se realiza mediante un generador de pulsos eléctricos conectado a una bobina que se coloca sobre la región del cerebro que se desea estimular. Al emitir corrientes eléctricas que van cambiando rápidamente, se crea un campo electromagnético alrededor de la bobina que influye en la actividad de las neuronas cercanas de forma no invasiva. Dependiendo del tamaño del área a estimular se pueden utilizar bobinas de distinto tamaño o forma, con bobinas más grandes o en forma circular para las regiones más extensas, y bobinas más pequeñas o en forma de ocho para las áreas más focales. Además, ajustando los parámetros de intensidad de estimulación, el número de pulsos o su frecuencia, se pueden conseguir efectos distintos sobre la actividad neuronal. En cuanto al número de pulsos, se habla de EMT sencilla cuando se aplica un solo pulso, o EMT repetitiva (EMTr) cuando se aplican tres o más pulsos. Por lo que respecta a la frecuencia, generalmente se considera que la EMT lenta, con frecuencias menores de 1Hz tiene efectos inhibitorios, mientras que la EMT rápida, de frecuencias mayores de 1Hz, suele tener efectos excitatorios (Evans, 2007).

La EMT se ha utilizado, entre otras cosas, para corroborar el papel causal de la corteza motora en el procesamiento del significado de verbos referidos a movimientos realizados con distintas partes del cuerpo (Pulvermüller, Hauk, Nikulin, & Olmonemi, 2005). La aplicación de EMT sobre la región de la corteza motora encargada de controlar los movimientos de los brazos provocó un acortamiento de los tiempos de reacción en una tarea de decisión léxica con verbos referidos a ese tipo de movimientos (v.g. “coger”...), pero no con verbos que designaban movimientos de las piernas (v.g. “patear”...). El efecto opuesto se observó al estimular la región correspondiente a los movimientos de las piernas. Estos resultados fueron confirmados por otros estudios (Buccino et al., 2005), aunque también han aparecido datos que sugieren que la actividad de la corteza motora sólo juega un papel en la generación de imágenes mentales de los movimientos, y no en el acceso al significado propiamente dicho (Tomasino, Fink, Sparing, Dafotakis, & Weiss, 2008).

El procesamiento de los verbos de movimiento se ha asociado, además de a la corteza motora, a otras regiones como el área posterior de la circunvolución temporal media, sobre o alrededor del área MT. Esta región está involucrada en la percepción visual del movimiento, y



ha aparecido activada en diversos estudios de resonancia magnética funcional durante tareas de lectura de verbos de movimiento (Kable, Kan, Wilson, Thomson-Schill, & Chatterjee, 2005; Kable, Lease-Spellmeyer, & Chatterjee, 2002). También se ha encontrado actividad relacionada con el procesamiento de verbos en otras áreas, como la circunvolución frontal inferior izquierda (Martin, Haxby, Lalonde, Wiggs, & Ungerleider, 1995; Perani et al., 1999; Warburton et al., 1996).

Presentamos un estudio del correlato neuronal del procesamiento semántico de los verbos de movimiento basado en la aplicación de EMTr durante una tarea de categorización semántica en la que se utilizaron verbos de movimiento y verbos abstractos. El objetivo de este trabajo era comprobar el papel de la circunvolución frontal inferior izquierda y la región posterior de la circunvolución temporal media (MT) en el procesamiento de verbos de movimiento.

2.- Metodología

2.1. - Participantes

Diez estudiantes del University College London (5 mujeres), de edades comprendidas entre los 21 y los 28 años (media: 24,7), tomaron parte en el estudio a cambio de una remuneración económica. Todos eran diestros y de lengua materna inglés, y ninguno de ellos tenía historia de trastorno neurológico o psiquiátrico, ni antecedentes de epilepsia en la familia. También se descartó el uso de marcapasos e implantes cocleares, además de la existencia de cualquier tipo de metal en la cabeza. Previamente a su participación en el estudio, se obtuvieron imágenes de resonancia magnética del cerebro de los participantes, para ser utilizadas en la localización de las regiones de interés.

2.2.- Materiales

Se seleccionaron 80 verbos experimentales, y otros 80 de relleno. La mitad de los verbos experimentales se refería a acciones de movimientos humanos (v.g. “to dodge” -esquivar-) y la otra mitad a verbos abstractos con componente emocional (v.g. “to appreciate” -apreciar-). Los dos subgrupos estaban emparejados en frecuencia léxica obtenida de la base de datos CELEX (Baayen, Piepenbrock, & van Rijn, 1993), además de longitud en fonemas y vecindad ortográfica obtenida de N-Watch (Davis, 2005). Los verbos de relleno se referían a acciones de la naturaleza (v.g. “to germinate” -germinar-) y estaban globalmente emparejados con el grupo de verbos experimentales en frecuencia, longitud y número de vecinos ortográficos. En los casos en que los verbos se podían utilizar también como sustantivo, se seleccionaron únicamente aquellos cuya frecuencia como verbo fuera al menos el doble que la correspondiente a su uso como sustantivo. Quince voluntarios distintos a los que participaron en la fase experimental, todos ellos jóvenes hablantes nativos de inglés contestaron una escala de 7 niveles tipo Likert en el que debían señalar si los verbos utilizados en el estudio se referían a acciones típicamente humanas o no. Mediante este cuestionario se confirmó que los verbos experimentales se referían a acciones típicamente humanas, mientras que los verbos de relleno se correspondían con acciones que habitualmente no aparecen en el repertorio humano. Se seleccionaron además ocho estímulos de práctica, de características similares a los estímulos experimentales y de relleno.



2.3.- Procedimiento

Mediante un equipo de estereotaxia sin marco Brainsight, y a partir de las imágenes de resonancia magnética, se localizaron las zonas de la cabeza más cercanas a la corteza inferior frontal izquierda de cada participante. MT izquierda se localizó mediante la generación de fosfemas. Vértex se localizó en el punto medio del cráneo mediante medidas externas.

Una vez localizadas las regiones, el participante se sentaba frente al ordenador en el que se presentaban los estímulos y comenzaba el experimento, construido en el software EPrime. El total de palabras se repetía cuatro veces. En cada repetición, las palabras se presentaban en cuatro bloques. En cada uno de ellos se aplicaba EMTr en una de las regiones de interés o bien se aplicaba estimulación placebo (con el ruido propio de la EMTr pero sin la aplicación de campos magnéticos). El orden de aplicación de los cuatro tipos de estimulación se contrabalanceó entre los participantes. El orden de los estímulos se contrabalanceó entre bloques y se aleatorios intra bloques. Cada repetición comenzaba con los estímulos de práctica, y se introdujeron periodos de descanso entre los bloques.

Se utilizó una tarea de categorización semántica, pidiendo a los participantes que decidieran si los verbos presentados se referían a acciones humanas o no, presionando una de dos teclas. Las palabras se presentaban durante un periodo de 100ms. Una vez el sujeto respondiera, y tras un mínimo de 400ms de pantalla en blanco, se presentaba una cruz como punto de fijación durante 1000ms hasta que aparecía la siguiente palabra. La EMTr se aplicó mediante un estimulador MagStim Rapid al 60% de su potencia máxima, en grupos de tres pulsos separados entre sí por 100ms, y comenzando 100ms tras la aparición de cada palabra.

3.- Resultados

El número de errores, 35% del total de las respuestas, que los participantes cometieron en cada condición de estimulación y para cada categoría de verbos experimentales se estudió mediante análisis estadísticos basados en modelos lineales de efectos mixtos en el programa R. Los resultados correspondientes a la estimulación en circunvolución inferior frontal izquierda y MT se compararon con los de la estimulación en vértex y el placebo. Las características de los estímulos, frecuencia, longitud y vecindad ortográfica, se introdujeron como covariables en el análisis.

El número de errores cometido por los participantes se vio afectado por la frecuencia léxica de las palabras (est.=0,41, $p<,05$), al cometerse menos errores con las palabras más frecuentes. También se observó un efecto de la categoría semántica, ya que los participantes produjeron un 34,25% más de errores en respuesta a los verbos de movimiento que a los abstractos (est.=1,82, $p<,001$). También hubo un efecto significativo del área de estimulación, al producirse un 2% más de errores cuando se aplicaba EMTr en la circunvolución inferior frontal izquierda en comparación con la estimulación placebo (est.=0,31, $p<,05$). Más interesante aún resulta la interacción significativa entre las variables categoría semántica y región de estimulación, al mostrar que los participantes produjeron un 6,5% más de errores en la categoría de verbos de movimiento durante la estimulación en la circunvolución inferior



frontal izquierda en comparación a la estimulación placebo (est.=0,58, $p<,05$). El resto de efectos o interacciones no resultó significativo.

4. – **Discusión**

Con este trabajo se pretendía estudiar el papel de dos regiones de la corteza cerebral, la circunvolución frontal inferior izquierda y MT, en el procesamiento de verbos que se refieren a movimientos. Las respuestas de los participantes en relación a verbos de movimiento en una tarea de categorización semántica se vieron afectadas por la aplicación de EMTr en la circunvolución frontal inferior izquierda. En cambio, la estimulación en MT no interfirió significativamente en la ejecución de los participantes. La producción de respuestas en relación a verbos abstractos tampoco se vio afectada significativamente por la aplicación de EMTr en ninguna de las regiones, lo que indica que el efecto observado no es generalizable a cualquier tipo de verbo, sino específico de aquellos cuyo contenido semántico está relacionado con los movimientos.

La circunvolución frontal inferior izquierda se ha asociado a diversas funciones relacionadas con el procesamiento lingüístico, ya sea fonológico (Gough, Nobre, & Devlin, 2005; Paulesu et al., 1997), semántico (Demonet et al., 1992; Gough et al., 2005) o sintáctico (Caplan, Alpert, & Waters, 1998). Sin embargo, también se ha constatado su papel dentro del sistema de neuronas espejo en humanos (Rizzolatti et al., 1996). Las neuronas espejo muestran actividad ante movimientos ajenos, como agarrar un objeto con la mano, y mediante EMTr se ha demostrado que son indispensables para comprender correctamente esos movimientos. Pobric y Hamilton (2006) pidieron a un grupo de participantes que emitiera juicios sobre cuánto pesaban distintos objetos que veían levantar a otra persona. La aplicación de EMTr sobre esta región interfirió significativamente sobre la capacidad de los participantes para emitir los juicios. Nuestros resultados muestran que las funciones de la circunvolución frontal inferior izquierda incluirían, además, la comprensión del significado de los verbos que se refieren a movimientos.

La aplicación de EMTr sobre MT en nuestro experimento, sin embargo, no dio lugar a ningún efecto significativo sobre el procesamiento de los distintos tipos de verbos. Aunque estudios previos han señalado la existencia de correlación entre la lectura de verbos de movimiento y actividad en esta región (Kable et al., 2002; Kellenbach, Brett, & Patterson, 2003; Wallentin, Lund, Østergaard, Østergaard, & Roepstorff, 2005), nuestros resultados apuntan que esta actividad no sería crucial en la comprensión de este tipo de verbos. Cabe destacar, que este resultado nulo debe ser tomado con precaución, ya que nuestro experimento utiliza una muestra pequeña. Es posible que futuros estudios utilizando muestras más amplias, o con diferentes parámetros de estimulación, consigan demostrar la influencia del área MT sobre la comprensión de los verbos de movimiento.



5.- Referencias

- Baayen, H., Piepenbrock, R., & van Rijn, H. (1993). The CELEX lexical database (CD-ROM). University of Pennsylvania, PA: Linguistic Data Consortium.
- Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 24, 355-363.
- Caplan, D., Alpert, N., & Waters, G. (1998). Effects of syntactic structure and propositional number on patterns of regional cerebral blood flow. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 541-552.
- Davis, C. J. (2005). N-Watch: A program for deriving neighborhood size and other psycholinguistic statistics. *Behavior Research Methods*, 37, 65-70.
- Demonet, J. F., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D., Nespoulous, J. L., Wise, R., et al. (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115, 1753-1768.
- Evans, A. (2007). A review of the safety of transcranial magnetic stimulation: The Magstim Company Limited.
- Gough, P. M., Nobre, A. C., & Devlin, J. T. (2005). Dissociating linguistic processes in the left Inferior frontal cortex with transcranial magnetic stimulation. *The Journal of Neuroscience*, 25, 8010-8016.
- Kable, J. W., Kan, I. P., Wilson, A., Thomson-Schill, S. L., & Chatterjee, A. (2005). Conceptual representations of action in the lateral temporal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(12), 1855-1870.
- Kable, J. W., Lease-Spellmeyer, J., & Chatterjee, A. (2002). Neural substrates of action event knowledge. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 795-805.
- Kellenbach, M. L., Brett, M., & Patterson, K. (2003). Actions speak louder than functions: The importance of manipulability and action in tool representation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(1), 30-46.
- Martin, A., Haxby, J. V., Lalonde, F. M., Wiggs, C. L., & Ungerleider, L. G. (1995). Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action. *Science*, 1995(270), 102-105.
- Paulesu, E., Goldacre, B., Scifo, P., Cappa, S. F., Gilardi, M., Castiglioni, I., et al. (1997). Differential activation of left frontal cortex during phonemic and semantic word fluency. An EPI-fMRI activation study. *Neuroreport*, 8, 2011-2016.
- Perani, D., Cappa, S. F., Schnur, T., Tettamanti, M., Collina, S., Rosa, M. M., et al. (1999). The neural correlates of verb and noun processing: A PET study. *Brain*, 122, 2337.
- Pobric, G., & Hamilton, A. F. (2006). Action Understanding Requires the Left Inferior Frontal Cortex. *Current Biology*, 16, 524-529.
- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Olmonemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *European Journal of Neuroscience*, 21(3), 793-797.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., & Perani, D. (1996). Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Experimental Brain Research*, 111, 246-252.



- Tomasino, B., Fink, G. R., Sparing, R., Dafotakis, M., & Weiss, P. H. (2008). Action verbs and the primary motor cortex: A comparative TMS study of silent reading, frequency judgments, and motor imagery. *Neuropsychologia*, 46(46), 1915-1926.
- Wallentin, M., Lund, T. E., Østergaard, S., Østergaard, L., & Roepstorff, A. (2005). Motion verb sentences activate left posterior middle temporal cortex despite static context. *NeuroReport*, 16, 649-652.
- Warburton, E., Wise, R. S., Price, C. J., Weiller, C., Hadar, U., Ramsay, S., et al. (1996). Noun and verb retrieval by normal subjects. Studies with PET. *Brain*, 119, 159–179.