

ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA

Silvia Moreno, Mario Ortiz, José M. Azorín
Brain-Machine Interface Systems Lab. Universidad Miguel Hernández de Elche
Avda. de la Universidad s/n 03202, Elche España
silvia.moreno02@goumh.umh.es

Resumen

La estimulación transcranial de corriente directa (tDCS, transcranial Direct Current Stimulation), una forma no invasiva de estimulación cerebral, ha sido investigada en diversos estudios como un método para mejorar la memoria de trabajo, la atención o inducir alguna mejora en enfermedades cognitivas. En el siguiente artículo se analizan los principales trabajos en este campo, estudiando, entre otros aspectos, las estrategias empleadas de estimulación y los efectos de mejora cognitiva tanto en sujetos sanos como pacientes con diversas patologías.

Palabras Clave: neuroestimulación, tDCS, memoria de trabajo, atención, mejora cognitiva.

1 INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 15% de la población mundial presenta algún tipo de discapacidad. La estimulación transcranial de corriente directa (tDCS, transcranial Direct Current Stimulation) constituye un método no invasivo, de bajo coste y fácil de utilizar capaz de modificar la excitabilidad cerebral [1], y por tanto, capaz de mejorar la vida de estas personas. Durante los últimos años se han llevado a cabo diversas investigaciones en relación a esta técnica, no sólo en casos relacionados con la rehabilitación motora [15], sino que también está tomando importancia su intervención en procesos que inducen a una mejora cognitiva. De esta manera, debe tenerse en cuenta también que este último tipo de estimulación aplicada sobre el córtex prefrontal dorsolateral (DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex) o sobre alguna zona relacionada con la memoria de trabajo, podría ser suministrada a adultos sanos con la finalidad de acelerar el aprendizaje o mejorar el rendimiento en entornos militares o educacionales.

El objetivo de este artículo es mostrar las estrategias que han sido seguidas en algunas de las

investigaciones relacionadas con la mejora cognitiva anteriormente mencionadas, atendiendo así al tipo de estimulación utilizada, la duración de esta misma, la densidad de corriente suministrada y la localización de los electrodos entre otras características. Con todo ello, se pretende aunar la información necesaria para la realización de futuras investigaciones.



Figura 1: Dispositivo de neuroestimulación tDCS (Neuroelectrics).

2 ESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL DE CORRIENTE DIRECTA

La tDCS constituye un tipo de estimulación eléctrica no invasiva en la que se aplica una intensidad de manera constante. Sus efectos se basan en los principios de plasticidad neuronal y neuromodulación. Las células nerviosas presentan propiedades electroquímicas por las cuales es posible disminuir o aumentar su excitabilidad y de esta manera cambiar su comportamiento. Dicho de otra manera, cuando las neuronas perciben un tipo de corriente lo suficientemente elevada como para hiperpolarizar sus dendritas, se produce un efecto de despolarización en el soma, dando lugar a un aumento de la excitación o la plasticidad.

Por otra parte, la excitación tiene lugar al localizar un electrodo como ánodo y otro como cátodo sobre el

cuero cabelludo. Se ha de suministrar una intensidad de corriente a partir de un dispositivo de estimulación (figura 1) lo suficientemente elevada durante un tiempo óptimo cuando el sujeto en cuestión realiza alguna actividad asociada a la zona del cerebro donde se encuentra el ánodo. Por tanto, se han de tener en cuenta parámetros como la densidad de corriente utilizada, la duración de la neuroestimulación, la repetitividad de las tareas y los tiempos de descanso entre sesiones.

3 ESTRATEGIAS BASADAS EN TDCS PARA MEJORA COGNITIVA

A continuación, se presenta un breve resumen cronológico sobre algunos estudios que se han realizado respecto a la tDCS para mejora cognitiva y una tabla (tabla 1) con el contenido de las principales características de cada uno de ellos.

En [7] se empleó estimulación por corriente directa anódica con la finalidad de mejorar la memoria de trabajo. En las pruebas experimentales participaron 15 sujetos sanos. Se realizaron dos sesiones de tDCS sobre el DLPFC izquierdo y Sham. Seis meses después, se realizaron otras dos sesiones de control (tDCS anódica de la corteza primaria motora M1, tDCS catódica del DLPFC o estimulación Sham, de manera aleatoria). El cátodo se situó sobre la región supraorbital contralateral.

Por otra parte, la estimulación fue llevada a cabo durante 10 minutos con una densidad de corriente de 0.029 mA/cm^2 . Durante los primeros 5 minutos los sujetos se encontraron en reposo y durante los últimos 5 realizaron una prueba basada en la aparición de letras ("3-back working memory test"). Se llegó a la conclusión de que la tDCS anódica en el DLPFC conduce una mejora en la memoria de trabajo respecto a la estimulación Sham de la misma área.

En esta ocasión, en [3], los efectos de la tDCS sobre la memoria de trabajo fueron probados en 18 enfermos de Parkinson durante tres sesiones (tDCS anódica del DLPFC F3, de la corteza primaria motora M1 o estimulación Sham) con una separación de dos días. El cátodo, al igual que en el anterior caso, fue situado en la región supraorbital contralateral.

En cuanto a la densidad de corriente utilizada, podemos decir que los sujetos fueron separados en dos grupos. A la mitad de los sujetos se les aplicó 0.029 mA/cm^2 mientras que al resto, se les aplicó 0.057 mA/cm^2 . Las sesiones tuvieron una duración de 20 minutos. En los primeros 15 los sujetos se

encontraron en reposo, mientras que en los últimos 5 minutos realizaron la tarea anteriormente mencionada, "3-back working memory test". Se pudo concluir que la memoria de trabajo en enfermos de Parkinson tras aplicar tDCS anódica sobre el DLPFC mejora a 2 mA pero no a 1 mA.

A su vez, en la investigación [2] formaron parte 26 sujetos con desórdenes mentales depresivos. El objetivo fue mejorar sus síntomas aplicando tDCS. A 12 de ellos se les aplicó tDCS sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG), a otros 7 se les administró tDCS sobre el cortex occipital, mientras que al último grupo de 7 sujetos se les aplicó estimulación Sham. Al igual que anteriormente, el cátodo se posicionó sobre la región supraorbital derecha.

En relación al método seguido en cada sesión, los pacientes realizaron tareas afectivas de acierto o fallo ("go-no-go tasks") previamente y posteriormente a los 20 minutos de estimulación, con una densidad de corriente de 0.057 mA/cm^2 . Se concluyó que la tDCS anódica del DLPFC produce mejoras en este tipo de tareas. También se verificó que, tras 10 días, los efectos de la estimulación desaparecieron.

Por otra parte, el estudio [6] tuvo como finalidad confirmar que los efectos de la tDCS mejoran si existe aprendizaje. Se llevó a cabo gracias a la participación de 17 sujetos sanos, de los cuales, 13 se sometieron a una tarea de tipo Sternberg antes y después de aplicar tDCS sobre el cerebelo. De éstos, 5 sujetos llevaron a cabo la misma tarea un mes después, antes y después de aplicar tDCS sobre el DLPFC (entre las posiciones Fp1-F3 y Fp2-F4 Sistema Internacional 10/20 de EEG).

Asimismo, el experimento constó de seis sesiones en total, tres sesiones (tDCS anódica, catódica y sham), una por semana para tDCS del DLPFC y tDCS del cerebelo con una separación de un mes. El cátodo fue situado sobre el músculo deltoides derecho y la densidad de corriente utilizada fue de 0.095 mA/cm^2 . La conclusión final fue que las tDCS anódica y catódica sobre el cerebelo no contribuyen a la disminución del tiempo de reacción inducido al repetir una tarea sin aplicar tDCS. Sin embargo, la tDCS aplicada sobre el DLPFC, la estimulación catódica provoca una evidente disminución del tiempo de reacción 5 minutos después de haber finalizado, mientras que la estimulación anódica no presenta ningún efecto.

En cuanto al estudio [12], se compararon los efectos de la tDCS y tRNS (transcranial Random Noise) sobre el DLPFC. En él, participaron 10 sujetos sanos, a los que se les aplicó tDCS anódica sobre el DLPFC

(F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG), tRNS y tDCS Sham de manera aleatoria durante las tres sesiones de 10 minutos a las que asistieron. El cátodo fue posicionado en la región supraorbital contralateral.

Durante la estimulación, los sujetos realizaron tareas de tipo Sternberg, mientras que previamente y posteriormente a ésta, desarrollaron diferentes tareas de la batería CogState. La densidad de corriente administrada fue de 0.029 mA/cm². El análisis estadístico no reveló ningún efecto significativo al aplicar tDCS anódica salvo en el caso en el que se estaba efectuando la tarea “2-back working memory” de la batería CogState.

En esta ocasión, en la investigación [1], el objetivo fue aplicar tDCS anódica sobre el DLPFC con la finalidad de mejorar la memoria de trabajo participaron 10 sujetos sanos durante tres sesiones en las que se suministraron tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y estimulación Sham durante la realización de una tarea de tipo “n-back”, así como tDCS anódica previamente a ésta, durante 10 minutos. El cátodo fue colocado sobre la región supraorbital contralateral.

La estimulación se aplicó con una intensidad de corriente de 0.029 mA/cm² y tras el análisis estadístico se concluyó que la tDCS anódica sobre este lugar durante la realización de una tarea relacionada con la memoria de trabajo mejora los efectos de esta misma.

El experimento [18] se realizó con la intención de comparar la tDCS anódica con la catódica sobre el DLPFC y fue posible gracias a la colaboración de 32 sujetos sanos. 16 de estos sujetos realizaron una tarea “2-back working memory task” en dos sesiones distintas en las que se les aplicó tDCS anódica y catódica sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG). El cátodo se situó sobre el mastoideo izquierdo.

En cuanto a las sesiones, tuvieron una duración de 15 minutos y la densidad de corriente utilizada fue de 0.029 mA/cm². El análisis de los resultados condujo a la conclusión de que la tDCS anódica mejora la memoria de trabajo y la catódica la empeora.

Asimismo, en el estudio [17], se investigó sobre el rol de la densidad de corriente durante la tDCS. En él participaron 14 sujetos sanos. A cada uno de ellos se le aplicó tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) a 0.1 mA, a 2 mA y estimulación Sham en tres sesiones distintas. El cátodo fue situado sobre la región supraorbital contralateral.

Por otra parte, las sesiones tuvieron una duración de 20 minutos y las densidades de corriente utilizadas fueron de 0.029 y 0.057 mA/cm². Los sujetos recibieron estimulación durante toda la sesión y en los periodos 10-15 y 15-20 minutos realizaron una tarea “3-back”. Se verifica la hipótesis de que la tDCS anódica mejora la memoria de trabajo de manera dependiente al tiempo y a la intensidad aplicada. Los sujetos reaccionaron con mayor rapidez y exactitud cuando la estimulación fue de 2 mA de intensidad durante los últimos 5 minutos.

En la investigación [5] se estudió el impacto de la tDCS durante el aprendizaje. En el experimento participaron 22 sujetos sanos a los que se les suministró 2 mA de tDCS anódica sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y 13 a que recibieron la misma estimulación pero a 0.1 mA. El cátodo se localizó en la parte superior del brazo izquierdo.

En cuanto a las 3 sesiones que realizaron dichos sujetos (entrenamiento, realización de la tarea DARWARS durante la estimulación, realización de esta misma una hora después de la estimulación), tuvieron una duración de 30 minutos y se utilizaron unas densidades de corriente de 0.009 y 0.181 mA/cm². Los participantes que recibieron 2 mA fueron más exactos en sus respuestas, por lo que este estudio prueba que existe una correlación significativa entre los cambios de comportamiento con aprendizaje y la densidad de corriente aplicada.

Por otro lado, en el estudio [11] se investigó sobre los efectos de la tDCS sobre el lóbulo parietal y la atención. Se llevó a cabo gracias a la participación de 12 sujetos sanos que recibieron tDCS anódica sobre el lóbulo parietal superior (P6, Sistema Internacional 10/20 de EEG) durante los 10 minutos previos a realizar un test de reconocimiento verbal en dos sesiones distintas. También participaron otros 12 sujetos, los cuales formaron parte del grupo de control. El cátodo fue situado sobre el lóbulo parietal inferior derecho (P3, Sistema Internacional 10/20 de EEG).

La densidad de corriente administrada fue de 0.040 mA/cm² y la conclusión a la que se llegó fue que la tDCS anódica aplicada en las regiones parietales podría modular el aprendizaje en tareas de memoria relacionadas con el reconocimiento verbal.

El experimento [9] tuvo como finalidad analizar los efectos de la tDCS sobre el DLPFC en relación a tareas de atención incorporando elementos para aumentar la distracción (interferencias) de los sujetos. Participaron 14 sujetos sanos que recibieron tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) durante la primera sesión de 10

minutos y tDCS Sham durante la segunda sesión. El cátodo se situó en la órbita derecha.

Cada sujeto fue estimulado con una densidad de corriente de 0.029 mA/cm^2 mientras realizaba una tarea de tipo Sternberg. Al finalizar dicha estimulación los sujetos continuaron realizando la tarea alrededor de 20 minutos más hasta finalizarla. Se comprobó que la memoria de trabajo mejora en dicha situación de estimulación si se tiene en cuenta la presencia de interferencias.

En cuanto al estudio [8], también se estudiaron los efectos de la tDCS sobre el DLPFC. Debe decirse que fue llevado a cabo gracias a la colaboración de 20 sujetos sanos que recibieron tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) durante la primera sesión de 10 minutos y tDCS Sham durante la segunda sesión. El cátodo se situó en la órbita derecha.

La densidad de corriente suministrada fue de 0.029 mA/cm^2 y cada sujeto fue estimulado previamente a la realización de un Test de Asociación Implícita. Se demostró que no se cumple la hipótesis de que la tDCS anódica mejore el sesgo en los resultados de este test.

En el experimento [4] se aplicó tDCS sobre el córtex temporal en pacientes con Alzheimer. En él formaron parte 10 sujetos enfermos de Alzheimer que participaron en tres sesiones de 30 minutos diferentes: tDCS anódica sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG), tDCS anódica sobre el córtex temporal izquierdo (Left Temporal Cortex, LTC) (T7, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y estimulación Sham. El cátodo fue situado sobre la órbita derecha y la densidad de corriente administrada fue de 0.029 mA/cm^2 .

En cuanto a las sesiones, cada sujeto realizó tareas de tipo Stroop, de reconocimiento visual y de intervalo de dígitos 10 minutos después de que comenzara la estimulación y hasta su fin. La conclusión a la que se llegó fue que se producen mejoras después de aplicar tDCS anódica tanto sobre la región temporal como sobre la prefrontal, sin embargo, no se observaron cambios significantes en las tareas relacionadas con la atención.

En el estudio [16] se realizó una investigación sobre la mejora de la memoria de trabajo después de aplicar tDCS a 28 sujetos con desórdenes mentales depresivos. A todos ellos se les aplicó durante 2 sesiones tDCS sobre el DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y estimulación Sham. El cátodo se situó sobre el DLPFC derecho (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y la densidad de corriente suministrada fue de 0.080 mA/cm^2 .

Los sujetos realizaron tareas de tipo “n-back” antes de la estimulación y a los 15 minutos de haber empezado esta misma. Se comprobó que el rendimiento de la memoria de trabajo mejora al aplicar tDCS anódica mientras se realizan tareas de este tipo en pacientes con depresión.

En el experimento [10] colaboraron 18 sujetos sanos. A cada uno de ellos se le aplicó tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) a 1 mA , a 2 mA y estimulación Sham en tres sesiones distintas de 20 minutos. El cátodo fue situado sobre la región supraorbital contralateral. Las densidades de corriente administradas fueron de 0.029 y 0.057 mA/cm^2 .

En cada sesión, tras aplicar la estimulación, los sujetos procedieron a realizar tareas de tipo “n-back” durante 10 minutos mientras se grababan las señales EEG. Este estudio demostró que la tDCS anódica mejora la eficiencia del procesamiento cognitivo produciéndose los cambios más significativos a 1 mA .

En la investigación [14] participaron un total de 30 sujetos de edad avanzada con el objetivo de observar si la tDCS mejoraba la memoria de trabajo en esta población. A cada uno de ellos se le aplicó tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) a 1 mA , a 2 mA y estimulación Sham en tres sesiones distintas de 25 minutos. El cátodo fue situado sobre la región supraorbital contralateral. Las densidades de corriente administradas fueron de 0.029 , 0.057 , 0.01 y 0.02 mA/cm^2 .

Durante cada sesión los participantes realizaron en seis ocasiones tareas de tipo “n-back”: antes de la estimulación, durante los 5 primeros minutos de estimulación, durante los minutos 10 -15 y 20-25 de esta misma, y después de aplicarla, durante los minutos 5-10 y 30-35. Los resultados sugirieron que una única sesión de tDCS en el DLPFC es improbable que mejore la memoria de trabajo en personas de edad avanzada.

En el experimento [13] el objetivo fue analizar los efectos de la tDCS al realizar una batería multitarea. Participaron 10 sujetos sanos que recibieron tDCS anódica del DLPFC (F3, Sistema Internacional 10/20 de EEG) y otros 10 a los que se les aplicó estimulación Sham durante una sesión de 30 minutos. El cátodo se posicionó en la parte superior del brazo derecho. Las densidades de corriente administradas fueron de 0.029 y 0.057 mA/cm^2 .

Los sujetos recibieron la estimulación mientras utilizaban la “Multi Attribute Task Battery” (MATB). Se pudo concluir que la tDCS anódica

mejora de manera significativa la capacidad de procesamiento de información de los participantes.

4 DISCUSIÓN

Al analizar y comparar los estudios anteriormente descritos, se puede decir que en la mayoría de ellos se ha demostrado que la tDCS anódica del DLPFC izquierdo conduce a una mejora de la memoria de trabajo respecto a la estimulación Sham de la misma área. Al aplicar este tipo de estimulación sobre la zona anteriormente mencionada, observamos que la posición utilizada habitualmente para colocar el ánodo es F3 (Sistema Internacional 10-20 EEG) [3] [2] [12] [1] [18] [17] [8] [16] [10] mientras que la del cátodo, ha sido el área supraorbital contralateral [7] [3] [2] [12] [1] [17] [9] [8] [4] [10] [14]. También deben ser mencionados los casos en los que el ánodo ha sido situado en el cerebelo [6], no obteniéndose contribuciones claras, el hueso esfenoides derecho

[17], el lóbulo parietal superior [5] o el córtex temporal izquierdo [11], dónde sí se produjeron efectos beneficiosos en cuanto a mejora cognitiva.

Por otra parte, atendiendo en esta ocasión a la relación de dependencia existente entre la tDCS, la densidad de corriente y tiempo de estimulación que debe aplicarse, caben ser mencionados estudios como el detallado en [3], que demuestran que se produce una mejora tras aplicar una estimulación anódica sobre el DLPFC de 2 mA mientras que no se percibe ninguna contribución al aplicar 1 mA durante el mismo periodo de tiempo. Por su parte, el artículo descrito en [17], verifica del mismo modo la dependencia del tiempo de estimulación. También, han de mencionarse [5] [4] [16] [13] donde se aplica un periodo de estimulación de 30 minutos (el más largo en comparación al resto de estudios descritos) y aquellos en los que se han utilizado un número de usuarios en torno a 30 [2] [18] [5] [16].

Tabla 1: Principales características de los estudios relacionados con la tDCS para mejora cognitiva.

Referencia	Polaridad	Posición Ánodo	Posición Cátodo	Duración estimulación	Número sesiones	Número sujetos	Densidad corriente	Efectos
[7]	tDCS Anódica/ Catódica/ Sham	DLPFC izquierdo/ M1	Área Supraorbital contralateral	10 min	2	15	0.029 mA/cm ²	La tDCS anódica del DLPFC mejora la memoria de trabajo.
[3]	tDCS Anódica/ Catódica/ Sham	F3	Área Supraorbital derecha	20 min	3	18	0.029, 0.057 mA/cm ²	La tDCS anódica del DLPFC mejora la memoria de trabajo en pacientes con Parkinson a 2 mA.
[2]	tDCS Anódica/ Sham	F3	Área Supraorbital derecha	20 min	1	26	0.057 mA/cm ²	La tDCS anódica del DLPFC produce mejoras en tareas afectivas de acierto/fallo
[6]	tDCS Anódica/ Catódica/ Sham	Cerebelo/ Fp1-F3 y Fp2-F4	Músculo deltoides derecho	15 min	6	17	0.095 mA/cm ²	La tDCS sobre el cerebelo no implica ninguna mejora cognitiva. La tDCS catódica abre el DLPFC disminuye el tiempo de reacción.
[12]	tDCS Anódica/ Sham/ tRNS	F3	Área Supraorbital contralateral	10 min	3	10	0.029 mA/cm ²	La tDCS anódica mejora el tiempo de reacción según el tipo de tarea. La tDCS anódica
[1]	tDCS Anódica/ Sham	F3	Área Supraorbital contralateral	10 min	3	10	0.029 mA/cm ²	aplicada mientras se ejercita la memoria de trabajo mejora los efectos.
[17]	tDCS Anódica/ Catódica/ Sham	F3	Mastoides izquierdo	15 min	2	32	0.029 mA/cm ²	La tDCS anódica del DLPFC mejora la memoria de trabajo. La catódica no.
[16]	tDCS Anódica/ Sham	F3	Área Supraorbital contralateral	20 min	3	14	0.029, 0.057 mA/cm ²	La tDCS anódica mejora la memoria de trabajo de manera dependiente al tiempo y a la intensidad.
[5]	tDCS Anódica	F10	Parte superior del brazo izquierdo	30 minutos	3	35	0.009, 0.181 mA/cm ²	Existe una correlación entre el aprendizaje y la densidad de corriente al aplicar la estimulación.

[11]	tDCS Anódica	P6	P3	10 min	2	24	0.040 mA/cm ²	La tDCS anódica sobre la región parietal podría modular el aprendizaje en tareas relacionadas con el reconocimiento verbal.
[9]	tDCS Anódica/Sham	DLPFC izquierdo	Órbita derecha	10 min	1	14	0.029 mA/cm ²	Si introducimos un factor adicional de interferencia, la tDCS mejora el tiempo de reacción.
[8]	tDCS Anódica/Sham	F3	Órbita derecha	10 min	2	20	0.029 mA/cm ²	La tDCS no mejora el sesgo en los resultados de IAT.
[4]	tDCS Anódica/Sham	F3/T7	Órbita derecha	30 min	3	10	0.029 mA/cm ²	La tDCS anódica produce mejoras sobre la región temporal y la prefrontal.
[15]	tDCS Anódica/Sham	F3	F4	30 min	2	28	0.080 mA/cm ²	La tDCS anódica mejora la memoria de trabajo en pacientes con depresión.
[10]	tDCS Anódica/Sham	F3	Área Supraorbital derecha	20 min	3	18	0.029, 0.057 mA/cm ²	La tDCS anódica mejora la eficiencia de procesamiento cognitivo a 1 mA. Una única sesión de tDCS es improbable que mejore la memoria de trabajo en personas de edad avanzada.
[14]	tDCS Anódica/Sham	F3	Región Supraorbital contralateral	25 min	3	30	0.029, 0.057, 0.01, 0.02 mA/cm ²	La tDCS anódica del DLPFC mejora la capacidad de procesamiento de información de los participantes.
[13]	tDCS Anódica/Sham	DLPFC izquierdo	Parte Superior del brazo derecho	30 min	1	20	0.029, 0.057 mA/cm ²	

Asimismo, encontramos estudios en los que también han sido procesadas las señales EEG durante la estimulación [18] y posteriormente a ésta [10]. En ellos quedó demostrado que se produce una amplificación de la oscilación en las bandas theta y alfa tras aplicar tDCS anódica sobre el DLPFC izquierdo.

En cuanto a las aplicaciones o test psicológicos utilizados con el fin de evaluar los procesos cognitivos, los más utilizados han sido las tareas de tipo Sternberg y los test “n-back”, por lo que podemos decir que han sido las aplicaciones con las que se han presentado los mejores resultados, aunque también caben ser destacadas las baterías de tareas como CogState, que permiten identificar los procesos cognitivos que más han sido afectados por la estimulación, es decir, nos permite diferenciar entre tareas relacionadas con la atención, la memoria o la lógica entre otras.

Por último, en cuanto al análisis estadístico de los resultados, la mayoría de los estudios han realizado ANOVAS de múltiples caminos atendiendo tanto al tipo de estimulación (Sham, tDCS anódica, tDCS catódica) como al tipo de corriente aplicada y los datos obtenidos al evaluar los procesos cognitivos de cada sujeto durante el desarrollo de una de las tareas o test psicológicos anteriormente mencionados

(tiempos de reacción y exactitud de las respuestas). Se han llevado a cabo ANOVAS tanto de varios caminos como de medidas repetidas. También se tuvieron en cuenta los distintos grupos de sujetos en los que fue dividido cada experimento con el fin de colocar en distintas posiciones el ánodo. Previamente, con la finalidad de normalizar las muestras, se realizó un preprocesamiento de los datos utilizando distintos tipos de aplicaciones o test, uno de ellos el test Shapiro-Wilk, utilizado habitualmente en experimentos de este tipo para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Posteriormente, tras aplicar las ANOVAS necesarias, se procedió a utilizar un test *post hoc* de comparaciones múltiples de tipo Bonferroni o Wilcoxon.

5 CONCLUSIONES

El tratamiento de la disfunción cognitiva sigue siendo una necesidad clínica insatisfecha hoy en día. De acuerdo a la Comisión Europea el número de personas con dificultades cognitivas asciende a 30 millones en Europa. En este documento, se han descrito diversos estudios sobre la utilización de tDCS con la finalidad de obtener mejora cognitiva tanto en personas sanas como en pacientes con Alzheimer, Parkinson o depresión, entre otras enfermedades. Centrándonos en esta información, podemos considerar la tDCS como un tratamiento

experimental en el que, al igual que con otros tratamientos médicos, no se puede asegurar un resultado del todo específico. Se puede observar como algunos pacientes mejoran con rapidez, mientras que otros lo hacen lentamente o incluso, en alguno de ellos no se percibe ningún tipo de mejoría.

Del análisis de dichos estudios, se puede concluir que la relación de dependencia entre la duración temporal de la estimulación y el grado de intensidad aplicada juega un papel fundamental durante el proceso de mejora cognitiva y que se debe investigar más en torno a ella. Por otra parte, se hace especial hincapié en aplicar la estimulación sobre el DLPFC para mejorar sobretodo la memoria de trabajo. No obstante, la mayoría de investigaciones se han basado en localizar el ánodo en la posición F3 del Sistema Internacional EEG 10-20. Podría resultar de interés para futuras investigaciones utilizar otras posiciones cercanas también al área Brodmann 10, así como elegir un grupo de sujetos que participe en cada una de las sesiones de estimulación para comprobar la mejora de un modo individual, ya que algunas de las investigaciones han separado a los usuarios según el tipo de estimulación aplicada. Otra idea interesante podría ser realizar test de coeficiente intelectual a los sujetos, con el fin de que no existan grandes diferencias en sus capacidades y los resultados sean más específicos. Asimismo, dichas investigaciones deberían de llevarse a cabo paralelamente con registros de EEG, ya que de esta manera los estudios no se basarían tan sólo en la obtención de datos de acierto/fallo en respuestas o tiempos de reacción.

Otro tema importante a tener en cuenta, es la duración de los efectos de la tDCS, siendo como máximo de algo más de dos horas tras su aplicación. Se han de buscar soluciones para mejorar estos tiempos o incluir alternativas. Un tratamiento con medicamentos como apoyo a la tDCS podría estar también indicado y ser eficaz, no obstante, han de tenerse en cuenta posibles riesgos o complicaciones. A su vez, este tipo de estimulación puede constituir un tratamiento que potencie la eficacia de otros tratamientos farmacológicos, facilitando reducir la dosis de los mismos.

Según la OMS, para el año 2050 se incrementará en un 73% el número de personas mayores de 65 años en los países industrializados. Un cerebro de esta madurez podría cambiar físicamente en respuesta a un programa de entrenamiento cognitivo y a la tDCS, modificando de esta manera su corteza cerebral y en definitiva, disminuyendo el deterioro cognitivo y la limitación de la capacidad para la vida independiente y autosuficiente. Por todo ello, la investigación sobre esta técnica de neuroestimulación eléctrica es de una gran importancia.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada en el marco del proyecto Associate - Decodificación y estimulación de actividad cerebral sensorial y motora para permitir potenciación a largo plazo mediante estimulación Hebbiana y estimulación asociativa pareada durante la rehabilitación de la marcha (con referencia DPI2014-58431-C4-2-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Plan Estatal de I+D+I) y por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional - FEDER "Una manera de hacer Europa". Además, se agradece a la Universidad Miguel Hernández de Elche el apoyo a S. Moreno a través del programa para la realización de prácticas en actividades de fomento de la investigación en los Departamentos e Institutos Universitarios de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Referencias

- [1] Andrews, Hoy, et al. (2011), "Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex", *Brain Stimulation*.
- [2] Boggio, Bermanpohl, et al. (2007), "Go-no-go task performance improvement after anodal transcranial DC stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex in major depression", *Journal of Affective Disorders*.
- [3] Boggio, Ferruci, et al. (2006), "Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease", *Journal of the Neurological Sciences*.
- [4] Boggio, Khoury, et al. (2012), "Temporal cortex direct current stimulation enhances performance on visual recognition memory task in Alzheimer disease", *J Neurol Neurosurg Psychiatry*.
- [5] Coffman, Trumbo, et al. (2012), "Impact of tDCS on performance and learning of target detection: Interaction with stimulus characteristics and experimental design", *Neuropsychologia*.
- [6] Ferruci, Marceglia, et al. (2008), "Cerebellar transcranial direct current stimulation impairs the practice-dependent proficiency increase in working memory", *Journal of Cognitive Neuroscience*.

- [7] Fregni, Boggio, et al. (2005), “Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory”, *Experimental Brain Research*.
- [8] Gladwin, den Uyl, et al. (2012), “Anodal tDCS of dorsolateral prefrontal cortex during an Implicit Association Test”, *Neuroscience Letters*.
- [9] Gladwin, den Uyl, et al. (2012), “Enhancement of selective attention by tDCS: Interaction with interference in a Sternberg task”, *Neuroscience Letters*.
- [10] Hoy, Emonson, et al. (2013), “Testing the limits: Investigating effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls”, *Neuropsychologia*.
- [11] Jacobson, Goren, et al. (2011), “Oppositional transcranial direct current stimulation (tDCS) of parietal substrates of attention during encoding modulates episodic memory”, *Brain Research*.
- [12] Mulquiney, Hoy, et al. (2011), “Improving working memory: Exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex”, *Clinical Neurophysiology*.
- [13] Nelson, McKinley, et al. (2016),” The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Multitasking Thoughtput Capacity”, *Frontiers in Human Neuroscience*.
- [14] Nilsson, Lebedev and Lovdén (2015), “No significant Effect of Prefrontal tDCS on Working Memory Performance in Older Adults”, *Frontiers in Aging Neuroscience*.
- [15] Nitsche and Paulus (2000), “Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation”, *The Journal of Physiology*.
- [16] Oliveira, Zanão, et al. (2012), “Acute working memory improvement after tDCS in antidepressant-free patients with major depressive disorder”, *Neuroscience Letters*.
- [17] Teo, Hoy, et al. (2011), “investigating the role of current strength in tDCS modulation of working memory performance in healthy controls”, *Frontiers in Psychiatry*.
- [18] Zaehle, Sandmann, et al. (2011), “Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence”, *BMC Neuroscience*.