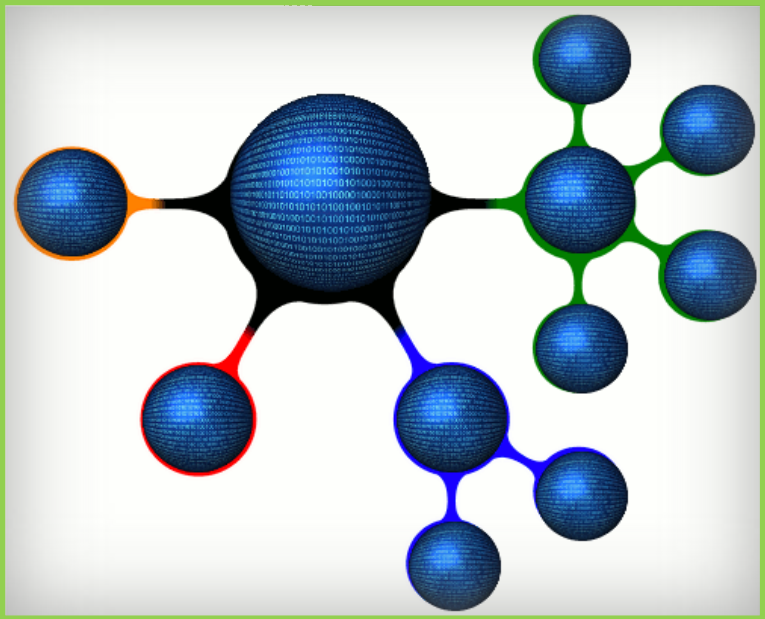
Miguel Ángel López Gordo
Eva María de la Plaza Hernández
(Eds.)

Cognitive Area Networks



Cognitive Area Networks
vol. 1, nº 1, Junio 2014
© Asociación Nicolo
(www.nicolo.es)
ISSN: 2341-4243

Miguel Ángel López Gordo
Eva María de la Plaza Hernández (Eds.)

Cognitive Area Networks

6º Simposio CEA Bioingeniería 2014
Interfaces Mente-computador y Neurotecnologías

Granada, Junio de 2014

Asociación Nicolo
www.nicolo.es
ISSN: 2341-4243

© Asociación Nicolo (www.nicolo.es)
Churriana de la Vega (Granada), 2014

Cognitive Area Networks, vol. 1, nº 1, Junio 2014, © Asociación Nicolo, ISSN: 2341-4243
Actas del 6º Simposio CEA Bioingeniería 2014, Interfaces Mente-computador y Neurotecnologías, Granada Junio 2014

DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE ENTRENAMIENTO COGNITIVO BASADA EN BCI PARA PREVENIR LOS EFECTOS DEL ENVEJECIMIENTO

Javier Gómez Pilar
Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Valladolid. E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación, Paseo Belén 15, 47011 – Valladolid, España. javier.gomez@gib.tel.uva.es

Rebeca Corralejo Palacios, Luis Fernando Nicolás Alonso, Daniel Álvarez González, Roberto Hornero Sánchez
Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Valladolid. E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación, Paseo Belén 15, 47011 – Valladolid, España.

Resumen

El deterioro cognitivo asociado a la edad es un problema cuya relevancia se encuentra en aumento debido a que la población en los países occidentales se encuentra cada vez más envejecida. Es habitual el uso de sistemas cerebro-ordenador (Brain Computer Interfaces, BCI) cómo método para mejorar la calidad de vida y la autonomía de personas dependientes. Sin embargo, existen nuevas líneas de investigación enfocadas al entrenamiento cognitivo mediante BCI. En dicho contexto, en el presente trabajo se ha desarrollado una herramienta de entrenamiento cognitivo (NeuroFeedback Training, NFT) empleando un sistema BCI basado en la detección de ritmos sensoriomotores. En el estudio participaron 40 sujetos con edad superior a 59 años. El grupo experimental, formado por 20 sujetos, realizó un programa de NFT mediante la aplicación propuesta, mientras que el grupo de control, formado por los restantes 20 sujetos, no lo realizaron. La aplicación está basada en tareas de NFT combinadas con sencillas tareas de memorización y relación lógica simple. Según indicaron los test neuropsicológicos realizados, los resultados muestran una mejora en ciertas áreas neuropsicológicas: percepción visual y memoria inmediata, principalmente. Por tanto, este estudio sugiere que un NFT basado en tareas de imaginación motora podría suponer un impacto positivo sobre el deterioro cognitivo debido a efectos del envejecimiento.

Palabras Clave: *Brain Computer Interface*, *NeuroFeedback Training*, rehabilitación cognitiva, envejecimiento.

1 INTRODUCCIÓN

Una interfaz cerebro-ordenador (*Brain Computer Interface*, BCI) es aquella que permite interactuar con el entorno sin que se involucren músculos o el sistema nervioso periférico [11]. Por tanto, los sistemas BCI se presentan como una alternativa para reflejar las intenciones del usuario mediante una traducción directa de determinadas características de la actividad cerebral.

El electroencefalograma (EEG) es método más habitual en los sistemas BCI para monitorizar la actividad cerebral [12]. El EEG es un método no invasivo que requiere un equipo relativamente simple y de bajo coste en comparación con otros métodos [12]. Una de las aplicaciones de los sistemas BCI es la de traducir las actividades de imaginación motora en el movimiento de un cursor en una pantalla. Esto ha sido usado en diversos estudios como una forma de facilitar tareas a usuarios con una cierta discapacidad de manera que se consiga un aumento de su independencia y calidad de vida [6].

Las aplicaciones BCI basadas en ritmos sensoriomotores son sistemas endógenos ya que dependen de la capacidad del usuario para controlar la amplitud del EEG en una banda de frecuencia específica. Dicha actividad, producida en una región cortical concreta, es una actividad electrofisiológica endógena que no necesita ser inducida mediante un estímulo externo [12]. Estos sistemas usan estrategias de imaginación motora para generar sincronizaciones (*Event-Related Synchronization*, ERD) y des-sincronizaciones (*Event-Related Desynchronization*, ERD) en las bandas de frecuencia α y β [8].

Los sistemas de BCI han sido principalmente usados como interfaz para aumentar la autonomía de los usuarios: controlando el ratón de un ordenador, facilitando la navegación por la red, controlando una silla de ruedas, etc. [6]. Sin embargo, estudios más recientes abordan la posibilidad de usar estos sistemas como una manera de inducir actividad cerebral que ayude a aumentar su plasticidad [3]. De esta forma, por medio de ejercicios de imaginación motora, se consigue la activación y desactivación voluntaria de ciertas regiones cerebrales. Por tanto, el sistema BCI es usado como un medio de

realimentación al usuario que le indica si realiza la tarea de manera adecuada. Este tipo de ejercicios de entrenamiento neurocognitivo (*NeuroFeedback Training*, NFT) han sido probados con éxito en estudios anteriores [10, 13]. Sin embargo, en estos estudios, la evaluación del entrenamiento se centra principalmente o de manera exclusiva en observar cambios en la distribución de potencia en distintas bandas del EEG una vez acabado el ejercicio de NFT. Hasta donde alcanza nuestro conocimiento, ningún estudio aborda la evaluación del NFT mediante la comparación de las capacidades neurocognitivas antes y después del NFT, que al fin y al cabo, es el objetivo último de de este tipo de ejercicios.

Nuestra hipótesis inicial se basa en que una estimulación endógena repetitiva de la actividad cerebral de ciertas regiones corticales produce una mejora en ciertas áreas neuropsicológicas. De esta forma, se podría conseguir decelerar los efectos cognitivos perniciosos asociados al envejecimiento. La hipótesis se basa en indicios previos que muestran que los cambios en la plasticidad cerebral está claramente asociada con el deterioro cognitivo [1].

En el presente estudio se ha desarrollado una aplicación de NFT basada en BCI. Además, se ha diseñado un protocolo de entrenamiento basado en ejercicios de imaginación motora combinados con ejercicios de memorización y relación lógica simple, con el objetivo de evaluar la influencia de estos ejercicios en los efectos cognitivos causados por el envejecimiento. Para este propósito, 5 regiones neuropsicológicas fueron evaluadas mediante el test de diagnóstico neuropsicológico de adultos (DNA) de Luria [2] antes y después de la realización del programa de entrenamiento. Después, los resultados encontrados se compararon entre los sujetos que realizaron el NFT y los que no lo realizaron. Así, a través de este estudio, se verifica la existencia de mejoras cognitivas asociadas con un programa de entrenamiento.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El protocolo del experimento diseñado consistió en 5 sesiones (1 por semana) durante las cuales los participantes realizaron ejercicios de NFT combinados con tareas de memorización y relación lógica simples. Se diseñaron 5 tareas distintas de dificultad creciente. Los ejercicios diseñados se explican a continuación:

- NFT1. El objetivo de esta primera tarea consiste en aprender a realizar las tareas de imaginación motora. Para ello, la aplicación presenta al usuario, de manera aleatoria, una puerta o una ventana. Cuando se muestra una puerta el usuario debe imaginar movimientos de la mano derecha y cuando aparece una ventana debe hacer lo propio con la mano izquierda. Si el ejercicio es realizado de manera adecuada la aplicación muestra una realimentación al usuario de manera que la puerta o la ventana se abren. De esta forma el usuario puede saber si ha realizado la tarea de forma correcta o, de no ser así, cambiar su estrategia. La Figura 1 muestra capturas en distintos momentos de la ejecución de esta tarea.

- NFT2. Este segundo tipo de ejercicio está destinado a mover de forma horizontal un cursor mediante ejercicios de imaginación motora para alcanzar un objetivo que se sitúa en el extremo derecho o izquierdo de la pantalla. Dado que es posible visualizar en todo momento el movimiento del cursor en la pantalla, el usuario recibe una realimentación continua durante la tarea. La Figura 2 muestra capturas de esta tarea.

Figura 1: Capturas de la aplicación durante la tarea NFT1. La parte superior muestra la ventana y la puerta antes de comenzar el ejercicio. La aplicación traduce las intenciones del usuario y muestra una realimentación abriendo la ventana o la puerta.

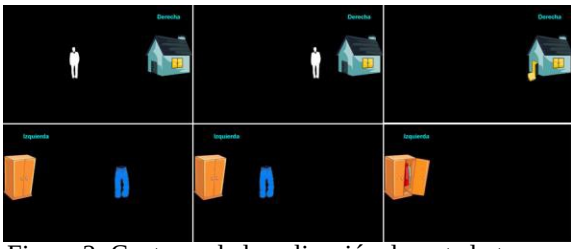


Figura 2: Capturas de la aplicación durante la tarea NFT2. La parte superior representa la realimentación cuando la tarea de imaginación motora corresponde a la mano derecha. En la parte inferior se muestra la realimentación correspondiente a la mano izquierda.

- NFT3. Esta tarea es una versión ligeramente modificada de la anterior. En esta ocasión aparecen dos objetivos uno a la izquierda y otro a la derecha de la pantalla. El usuario debe elegir mediante una relación lógica simple si

dirigir el cursor a la derecha o a la izquierda de la pantalla. Para ello, debe observar el objeto que representa el cursor y llevarlo al objetivo que esté relacionado con el mismo. Por ejemplo, llevar una camisa a un armario o un pescado a un frigorífico. En la Figura 3 se muestran capturas de esta tarea.

- NFT4. Esta tarea consiste en un cursor, representado por una persona, que se encuentra caminando por una carretera. El usuario debe esquivar los obstáculos (tractor, animal o roca) que van apareciendo por el camino mediante la ejecución de los ejercicios de imaginación motora que ha venido aprendiendo en anteriores tareas. La Figura 4 muestra capturas en tiempo de ejecución de la tarea.

- NFT5. Esta última tarea consiste en la combinación de ejercicios de memoria con tareas de imaginación motora. En primer lugar, aparecen dos figuras en la pantalla de los que el usuario debe memorizar su forma y color. A continuación, estas figuras desaparecen y aparecen otras dos junto con un cursor (representado con una pequeña pelota). De las dos nuevas figuras una apareció en primera instancia y otra no. El usuario debe identificar cuál es la figura repetida y dirigir el cursor hacia la misma como ha venido haciendo en anteriores tareas. La Figura 5 muestra capturas de este ejercicio.

En cada sesión, los participantes realizaron una combinación de las anteriores tareas de NFT de forma que la dificultad fuera creciente. La Figura 6 muestra un esquema indicando la distribución de las distintas tareas a lo largo de las sesiones, así como el número de intentos dedicado a cada una. Se aprecia cómo las tareas más simples (NFT1 y NFT2) desaparecen o se reduce el número de intentos a medida que se van realizando nuevas sesiones.

Para evaluar los posibles cambios cognitivos producidos por el NFT, todos los participantes realizaron el test de Luria-DNA [2] antes y después de completar el entrenamiento.

2.2 SUJETOS BAJO ESTUDIO

Un total de 40 sujetos participaron en el estudio. Todos eran mayores de 59 años, sanos, sin desórdenes neurocognitivos y BCI-*naives* (sin experiencia previa con sistemas BCI). El grupo de

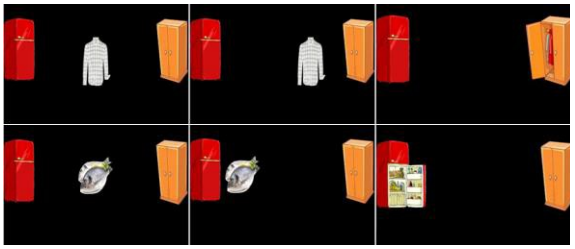


Figura 3: Capturas de la aplicación durante la tarea NFT3. La parte superior representa la realimentación cuando la tarea de imaginación motora corresponde a la mano derecha. En la parte inferior se muestra la realimentación correspondiente a la mano izquierda.

Figura 4: Capturas de la aplicación durante la tarea NFT4. La parte superior representa la realimentación cuando la tarea de imaginación motora corresponde a la mano derecha. En la parte inferior se muestra la realimentación correspondiente a la mano izquierda.

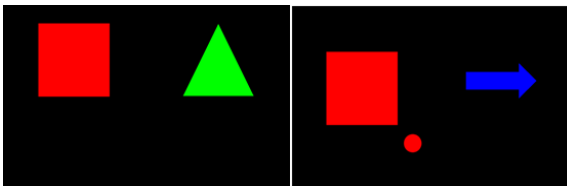


Figura 5: Capturas de la aplicación durante la tarea de NFT5. En la imagen de la izquierda aparecen dos figuras que el usuario debe memorizar. En la imagen de la derecha el usuario identifica la figura repetida y desplaza el cursor en dicha dirección.

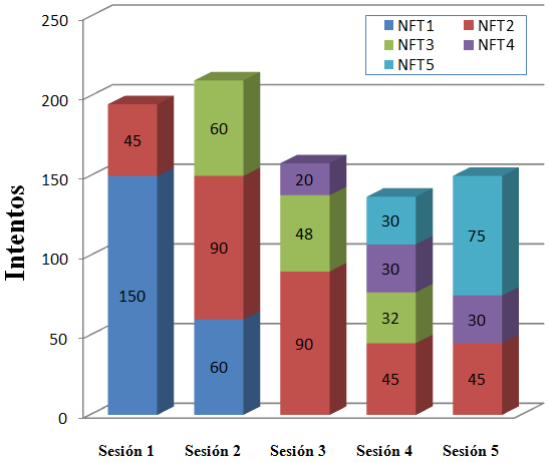


Figura 6: Esquema del diseño del programa de NFT.

entrenamiento, consistente en 20 sujetos (11 mujeres, 9 hombres; edad media = 67.6 ± 3.3 años, rango 63–77 años) realizaron el NFT. El grupo de control, formado por los restantes 20 sujetos (13 mujeres, 7 hombres; edad media = 69.5 ± 5.5 años, rango = 61–80 años) no lo realizaron. Se analizó la distribución de edades y sexo de ambos grupos con el fin de buscar posibles diferencias significativas entre ellos. Tras comprobar mediante el test de Kolgomorov–Smirnof que la distribución de edad y sexo de los sujetos bajo estudio no correspondían a una distribución normal, se utilizó el test no paramétrico de Mann–Whitney. Dado que los *p*-valores fueron superiores a 0.05, no se encontraron diferencias significativas en la distribución de edad o el sexo entre ambos grupos (experimental y control).

Tanto el grupo experimental como el de control estaban libres de efectos producidos por medicación. Todos ellos fueron informados y dieron su consentimiento para participar en el estudio, el cual fue aprobado por el comité ético local.

2.3 REGISTROS DE EEG

Los registros de EEG fueron adquiridos por medio de 8 electrodos activos (F3, F4, T7, C3, Cz, C4, T8 y Pz) localizados según el sistema internacional 10–20 [5]. Las señales fueron amplificadas mediante a un amplificador g.USBamp (Guger Technologies OG, Graz, Austria) y filtradas mediante un filtro hardware analógico paso banda entre 0.1 y 60 Hz. Además, se utilizó un filtro *notch* de eliminación de la frecuencia de red a 50 Hz. Finalmente, las señales fueron muestreadas y almacenadas con una frecuencia de muestreo de 256 Hz. Un electrodo adicional localizado en la oreja fue usado como referencia y el canal AFz como tierra. Las señales de EEG fueron almacenadas y procesadas en tiempo real mediante la herramienta de propósito general BCI2000 [9].

2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el objetivo de evaluar los posibles cambios cognitivos producidos por el NFT realizado por medio de la aplicación propuesta, el test de Luria-DNA fue realizado por todos los sujetos (grupo experimental y de control) al comienzo (pre-test) y al final (post-test) del estudio. El test de Luria-DNA empleado se compone de 9 subtests divididos en 5 áreas neuropsicológicas: visoespacial (percepción visual y orientación espacial), lenguaje oral (comprensión y expresión oral), memoria (memoria inmediata y lógica), inteligencia (dibujos temáticos y actividad conceptual) y atención (control de atención). Las puntuaciones de cada subtest están comprendidas entre 0 y 80, a excepción del subtest de control de atención cuyo valor máximo es 75 [2]. El análisis estadístico se realizó por medio del cálculo de estadísticos simples como son la media y la desviación típica de las puntuaciones de cada grupo (control y experimental). Además, el estudio se complementó con la realización de *boxplots* con el fin de facilitar la inspección visual de los resultados obtenidos.

Por último, se calculó la variación relativa (*VR*) porcentual por medio de:

$$VR = \frac{\left| Puntuación_{POST} - Puntuación_{PRE} \right|}{Puntuación_{PRE}} . \qquad (1)$$

De esta manera las variaciones de las puntuaciones observadas son analizadas de forma más objetiva.

3 RESULTADOS

Por medio de la realización de los test de Luria-DNA se han obtenido distintas puntuaciones de las características neuropsicológicas de los grupos de control y experimental. Un análisis de la media de dichas puntuaciones indica que, en general, las puntuaciones del grupo de control apenas sufren modificación entre el pre-test y el post-test. Sin embargo, teniendo en cuenta la variación de las medias entre el pre-test y el post-test del grupo experimental, se observa cómo las puntuaciones se han visto incrementadas. En concreto, en las características de percepción visual y memoria inmediata, dichas variaciones fueron las más elevadas en media, siendo de 17.25 y 18.75 puntos, respectivamente. Los incrementos mencionados suponen una *VR* porcentual del 39.65% para la característica de percepción visual y del 42.37% para la característica de memoria inmediata. Por otra parte, la característica de control de atención es con diferencia, la que menos se ve incrementada, siendo su aumento relativo de tan solo 0.01%.

Para facilitar el análisis descriptivo de los resultados se ha hecho uso de los *boxplots* mostrados en la Figura 7. Gracias a ellos se aprecia con mayor facilidad la distribución de las puntuaciones de los test de Luria-DNA. Dicha figura muestra cómo las distribuciones de las puntuaciones en el pre-test y el post-test del grupo de control se encuentran en todos los casos prácticamente solapadas, mientras que las puntuaciones del grupo experimental se ven incrementadas para todas las características estudiadas salvo para la de control de atención.

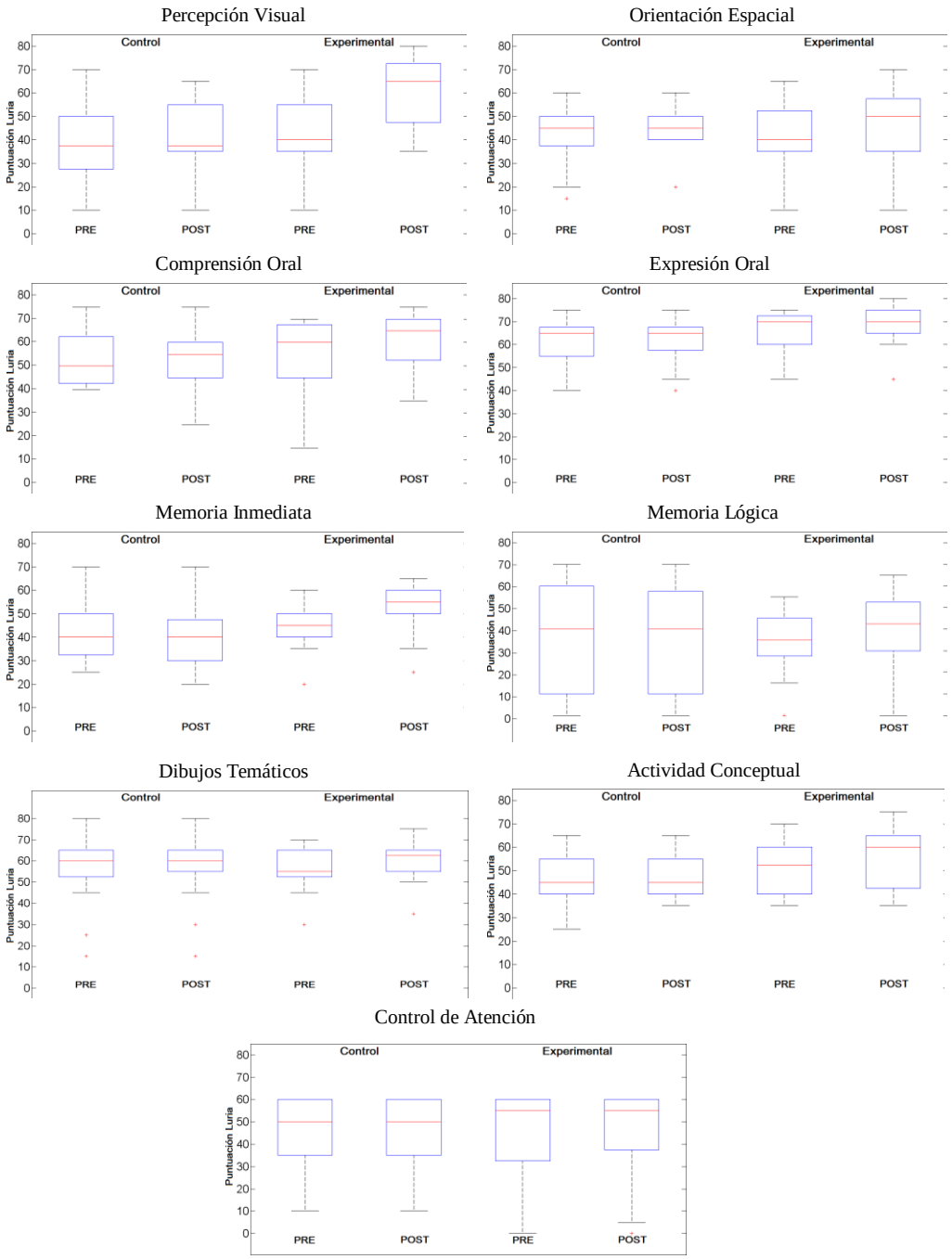


Figura 7: *Boxplots* de las puntuaciones de los test de Luria-DNA de cada característica neuropsicológica evaluada en los grupos de control y experimental en el pre-test y el post-test.

4 DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta nuestra hipótesis inicial, parece claro que la realización de ejercicios de NFT ha supuesto un cambio en las puntuaciones de los test neuropsicológicos de los sujetos de realizaron este entrenamiento. También queda demostrado que el NFT no repercute por igual en todas las características cognitivas, siendo la percepción visual y la memoria inmediata las que consiguen un mayor incremento. En otras características, como control de atención, dicha variación es mínima o inexistente.

Por otra parte, el grupo de control no ha sufrido variaciones en las puntuaciones de los test. Esto era algo esperable ya que la diferencia temporal entre la realización de los pre-test y de los post-test fue de aproximadamente dos meses. Este intervalo temporal no es suficiente para que el deterioro cognitivo asociado al envejecimiento sea apreciable.

Estos resultados sugieren que el NFT produce cambios en ciertas áreas neuropsicológicas, lo cual podría ser de utilidad para prevenir los efectos asociados al envejecimiento. Sin embargo, la influencia precisa del NFT en la plasticidad neuronal aún no está completamente explicada. Algunos estudios [7, 13] sugieren que la ausencia de cambios en la amplitud y distribución de potencia del EEG medidos antes y después de la realización del NFT implica que no se han producido cambios en la dinámica neurocortical. Por tanto, este trabajo abre la posibilidad de futuros estudios en los que analizar en profundidad los posibles cambios en el EEG.

Existen limitaciones en este estudio que se han de remarcar. En primer lugar, sería conveniente aumentar la población bajo estudio, tanto del grupo de control como del experimental, con el objetivo de comprobar si la tendencia de las puntuaciones de los test de Luria-DNA se mantiene con una muestra mayor. Además, debido a las mejoras cognitivas encontradas, este estudio sugiere un análisis en profundidad para detectar cambios espectrales en el EEG por el hecho de realizar un programa de NFT.

En resumen, este estudio ha presentado resultados prometedores sobre el uso del NFT, ya que ha quedado demostrado que su realización durante varias sesiones afecta a ciertas áreas neuropsicológicas. En total, 9 áreas neuropsicológicas fueron evaluados mediante la utilización del test de Luria-DNA comprobando como varias de las puntuaciones de dicho test se veían incrementadas al realizar el NFT.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiada parcialmente por el Proyecto Cero 2011 de la Fundación General del CSIC, Obra Social La Caixa y CSIC y el proyecto TEC2011-22987 del Ministerio de Economía y Competitividad y FEDER.

Referencias

[1] Burke S.N. and Barrnes C.A., (2006) "Neural plasticity in the ageing brain", *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 7(1), pp. 30–40.

[2] Christensen A.L., (1979) *Luria's Neuropsychological Investigation*. Copenhagen: Munksgaard.

[3] Daly J.J. and Wolpaw J.R., (2008) "Brain–computer interfaces in neurological rehabilitation", *The Lancet Neurology*, vol. 7(11), pp.1032–1043.

[4] Egner T., Zech T.F., and Gruzelier J.H., (2004) "The effect of neurofeedback training on the spectral topography of the electroencephalogram", *Clin. Neurophysiol.*, vol, 115, pp. 2452–2460.

[5] Jasper H.H., (1958) "The ten twenty Electrode system of the International Federation", *Electroenceph. and Clin. Neurophysiol.*, vol. 10, pp. 371–375.

[6] Kubler A., Nijboer F., Mellinger J., Vaughan T., Pawelzik H., Schalk G., McFarland D., Birbaumer N., and Wolpaw J., (2005) "Patients with ALS can use Sensorimotor Rhythms to Operate a Brain-Computer Interface," *Neurology*, vol. 64, pp. 1775–1777.

[7] Lubar F.J., (1997) "Neocortical dynamics: implications for understanding the role of neurofeedback and related techniques for the enhancement of attention", *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, vol. 22, pp. 111–126.

[8] Neuper C., Scherer R., Wriessnegger S., and Pfurscheller G., (2009) "Motor imagery and action observation: Modulation of sensorimotor brain rhythms during mental control of a brain–computer interface", *Clin. Neurophysiol.*, vol. 120, pp. 239–247.

[9] Schalk G., McFarland D.J., Hinterberger T., Birbauner N., and Wolpaw J.R., (2004) "BCI2000: a general-purpose brain-computer interface (BCI) system", *IEEE Trans. on Biomed. Engin.*, vol. 51(6), pp. 1034–1043.

[10] Vernon D., (2005) "Can neurofeedbck training enhance performance? An evaluation of the evidence with application for future research", *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, vol. 30, pp. 347–364.

[11] Wolpaw J.R., Birbaumer N., Heetderks W.J., McFarland D.J., Peckham P.H., Schalk G., Donchin E., Quatrano L.A., Robinson C.J., and Vaughan T.M., (2000) "Brain-computer interface technology: A review of the first international meeting", *IEEE Trans. Rehab. Eng*., vol. 8, pp. 164–173.

[12] Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarlay D.J., Pfurtscheller G., and Vaugham T.M., (2002) "Brain–computer interfaces for communication and control", *Clin. Neurophysiol*., vol. 113, pp. 767–791.

[13] Zoefel B., and Huster R., Herrmann C.S., (2011) "Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance", *NeuroImage*, vol. 54, pp. 1427–1431.