ISBN: 978-607-00-2083-4

Funcionalidad prefrontoparietal durante la ejecución de Torres de Hanoi en hombres púberes y adolescentes

Lucía Ester Rizo Martínez[1], Marisela Hernández González [2] y Miguel Angel Guevara Pérez[1]

Laboratorio de Correlación Electroencefalográfica y Conducta[1], Laboratorio de Neurofisiología de la Conducta Reproductiva[2], Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara. Francisco de Quevedo #180 Arcos Vallarta, CP 44130. Guadalajara, Jalisco, México.
Correo-e: *lucyrizomar@hotmail.com*

Introducción

Actualmente existen numerosas investigaciones relacionadas con el estudio de la evolución y el desarrollo del cerebro. Desde el punto de vista ontológico, principalmente a través de estudios *post mortem* y de imagenología cerebral, se han descrito patrones de maduración cerebral, tales como incrementos en la mielinización, así como cambios morfológicos (principalmente en la corteza prefrontal) específicos entre la infancia, adolescencia y adultez temprana (Giedd y cols., 1999; Sowell, Thompson, Tessner, & Toga, 2001). Asimismo, se han encontrado patrones estándares electroencefalográficos propios de cada edad mencionada (Marosi y cols., 1992). Por otro lado, también existen múltiples estudios enfocados a determinar las características cognitivas y conductuales específicas en diferentes edades con el fin de definir parámetros cognitivos característicos de cada etapa de la vida (Anderson, 2002). Existen evidencias de que los más altos procesos cognitivos, incluyendo el término "funciones ejecutivas", dependen en gran medida del funcionamiento adecuado de la corteza prefrontal y su conexión con zonas posteriores. De acuerdo a lo anterior, Goldberg (2002) ha propuesto que los lóbulos frontales constituyen el principal sustrato de las funciones ejecutivas, coordinando la información procedente del resto de las estructuras cerebrales y por tanto, modulando las conductas proposicionales o dirigidas a una meta. Tales funciones ejecutivas siguen un proceso de desarrollo y maduración a través de la edad (Anderson, 2002).

Entre las diversas pruebas neuropsicológicas que se han desarrollado para medir estas funciones ejecutivas, tenemos el caso de las Torres de Hanoi, la cual, ideada inicialmente como un juego, constituye una prueba de organización y programación visoespacial que requiere para su ejecución de tareas comúnmente relacionadas con las funciones ejecutivas como la planeación, la memoria de trabajo y la inhibición, entre otras. Actualmente, se han encontrado deficiencias en la realización de TOH en mujeres con síndrome de X frágil (Mazzocco, Hagerman, Cronister & Pennington, 1992), en patologías como el autismo (Ozonoff, Pennington & Rogers, 1991), desorden obsesivo compulsivo (Cavedini, Cisima, Riboldi, D'Annucci & Bellodi, 2001) y esquizofrenia **(**Goldberg, Saint-Cyr & Weinberger, 1990). Asimismo, un importante número de estudios han demostrado que, entre pacientes con lesiones del lóbulo frontal, existe deterioro en la ejecución de Torres de Hanoi (Goel & Grafman, 1995).

De forma general esta prueba ha sido estudiada principalmente bajo parámetros conductuales, realizándose muy pocas investigaciones que incluyan la relación de esta tarea con la actividad cerebral.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar, a través del electroencefalograma (EEG), el grado de acoplamiento funcional o correlación prefronto-parietal durante la ejecución de Torres de Hanoi y determinar si el grado de acoplamiento difiere en relación a la edad de sujetos masculinos púberes y adolescentes.

Materiales y métodos

Participaron 38 sujetos masculinos sanos clasificados en dos grupos: el grupo 1 se conformó de 19 sujetos de 11 y 12 años de edad y el grupo 2 consistió de 19 sujetos de 18 y 19 años. A ambos grupos se les aplicó una prueba de atención: a los del grupo de 11 y 12 años, la Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI); mientras que a los del grupo de 18 y 19 años, la Evaluación Neuropsicológica Breve en Español para adultos (NEUROPSI). El experimento consistió de una sesión de aproximadamente 1 hora de duración, en la que se registró el EEG de las derivaciones F3, F4, P3 y P4, de acuerdo al Sistema Internacional 10-20 de Jasper (1958), en dos condiciones: basal y Hanoi. La condición basal consistió de 5 minutos de registro EEG con ojos abiertos, seguido por 5 minutos de descanso. La condición Hanoi consistió en el registro de EEG durante la ejecución de esta prueba, en versión computarizada. Todos los sujetos realizaron el mismo problema de Torres de Hanoi, que consistió de tres discos manejados por un miniteclado conectado a la computadora. A ninguno de los participantes se les dio a conocer las reglas de ejecución, las cuales tenían que deducir a través de retroalimentación de la misma prueba, que les indicaba, en forma verbal y escrita, si un movimiento era incorrecto. Antes de iniciar la prueba sólo tenían claro cómo mover los discos y la meta correspondiente. La duración máxima de ejecución fueron 7 minutos para todos los sujetos.

Se comparó la correlación interhemisférica e intrahemisférica entre zonas frontales y parietales para las siguientes bandas: delta (de 1 a 3.5 Hz), theta (de 4 a 7.5 Hz), alfa1 (de 8 a 10.5 Hz.), alfa2 (de 11 a 13.5 Hz), beta1 (de 14 a 19.5 Hz) y beta2 (de 20 a 30 Hz). Se realizó análisis de varianza, de parcelas divididas (2x2), comparando grupos y condiciones.

Resultados

No se encontraron diferencias entre grupos en ninguno de los parámetros evaluados durante la ejecución de Torres de Hanoi (latencia de inicio, movimientos correctos y total de movimientos) sin embargo, la mayoría de los sujetos del grupo 2 lograron terminar la tarea en los 7 minutos asignados (13/19), a comparación de los sujetos del grupo 1, donde solo 4 de los 19 lograron terminarla.

En el análisis electroencefalográfico, se encontró que el grupo 2 presentó una mayor correlación interhemisférica prefrontal (F3-F4) y parietal (P3-P4) en todas las bandas estudiadas tanto en la condición basal como en Hanoi con respecto al grupo 1, siendo considerablemente mayor en Hanoi con respecto a basal (Fig. 1).

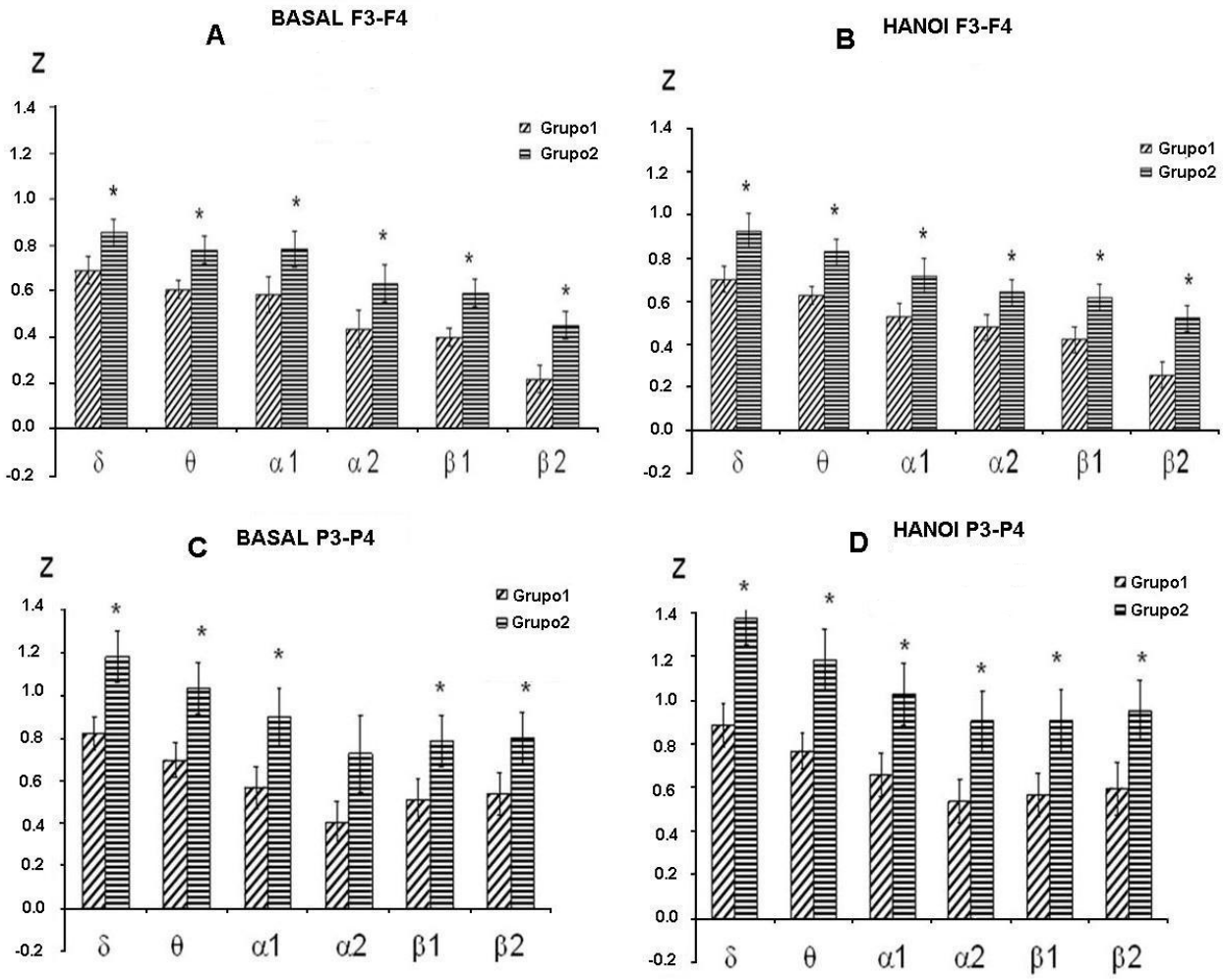

Fig. 1. Media ±2 errores estándar de la correlación interhemisférica frontal (F3-F4) y parietal (P3-P4) en las diferentes bandas de EEG durante la condición basal (A y C) y Hanoi (B y D) de la comparación entre grupos.
p≤0.01 significativamente mayor respecto al grupo1.

Durante el estado basal, la correlación intrahemisférica prefrontal izquierda (F3-P3) y derecha (F4-P4) presentó un inremento solo en la banda theta y beta 2 en el grupo 2 a comparación del grupo 1, mientras que durante Hanoi, se encontró mayor correlación en todas las bandas en el grupo 2 respecto al grupo 1 (ver **fig. 2**).

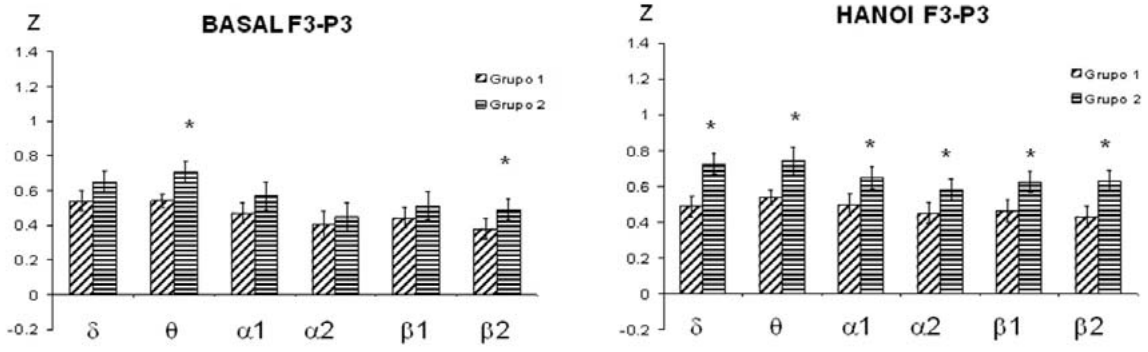

Fig. 2. Media ±2 errores estándar de la correlación intrahemisférica derecha (F3-P3) e izquierda (F4-P4) en las diferentes bandas de EEG durante la condición basal y Hanoi de la comparación entre grupos.
p≤0.01 significativamente mayor respecto al grupo 1.

Comparando la condición basal y Hanoi en cada grupo se encontró lo siguiente: en la comparación interhemisférica prefrontal (F3-F4), el grupo 2 presentó un incremento sólo en la banda theta durante Hanoi respecto a basal, mientras que en el grupo 1 no se encontraron diferencias (**Fig. 3**). La correlación interhemisférica parietal (P3-P4), en el grupo 1 fue mayor en las bandas theta, alfa 1 y alfa 2 en Hanoi con respecto a basal, mientras que en el grupo 2, durante Hanoi, la correlación fue mayor en todas las bandas.

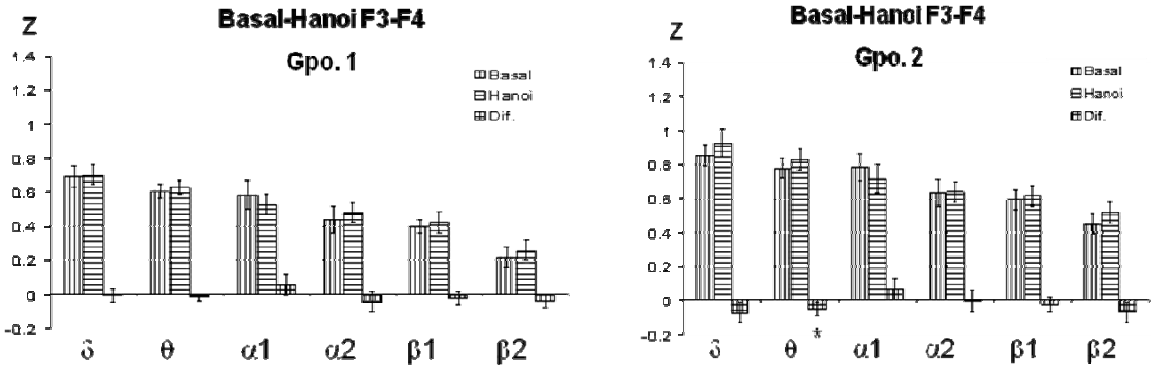

Fig. 3. Media ±2 errores estándar de la correlación interhemisférica frontal (F3-F4) en las diferentes bandas de EEG en la comparación entre las condiciones basal y Hanoi de los dos grupos.
p≤0.01 significativamente mayor respecto al grupo 1.

En la correlación intrahemisférica izquierda (F3-P3) del grupo 1 no se encontraron diferencias mientras que en el grupo 2 fue mayor en las frecuencias rápidas (bandas alfa 1, alfa 2, beta 1 y beta 2) durante Hanoi (**Fig 4**). Por otro lado, la correlación intrahemisférica derecha (F4-P4) en el grupo 1 fue mayor solo en la banda beta 2 en Hanoi con respecto a basal, mientras que en el grupo 2 hubo una mayor correlación en todas las bandas excepto en alfa 2 durante Hanoi (datos no mostrados).

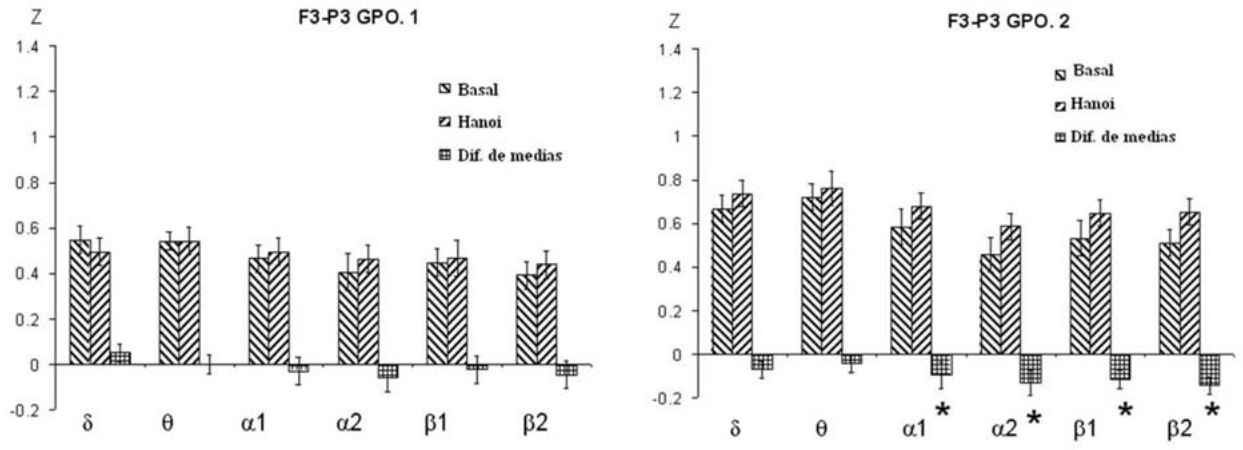

Fig. 4. Media ±2 errores estándar de la correlación intrahemisférica derecha (F3-P3) en las diferentes bandas de EEG durante la condición basal y Hanoi de los dos grupos. $p \leq 0.01$ significativamente mayor respecto al grupo 1.

Discusión

En lo referente a los parámetros evaluados de la ejecución de las Torres de Hanoi, de forma general no se encontraron diferencias entre los dos grupos. La única diferencia significativa fue que, a comparación de los sujetos del grupo 1, la mayor parte de los sujetos del grupo 2 lograron terminar la tarea en el tiempo asignado. Estos resultados coinciden con lo propuesto por Ahonniska y cols. (2000), quienes especifican que la exitosa ejecución de la prueba Torres de Hanoi depende de la edad de los sujetos, a mayor edad, mejor y más rápida ejecución de la tarea.

Con respecto a los resultados electroencefalográficos, se encontró que, de forma general, la correlación en todas las bandas estudiadas tanto en la condición basal como en Hanoi fue mayor en el grupo 2 (edades de 18 y 19 años) con respecto al grupo 1 (edades de 11 y 12 años). Se encontró también una mayor correlación en áreas posteriores con respecto a áreas anteriores; además, se presentó un incremento especialmente en la banda theta en la región frontal durante Hanoi con respecto a basal. Estos cambios en el grado de acoplamiento funcional coinciden con los reportes de Marosi y cols. (1992), quienes reportaron que hay un incremento significativo de la coherencia en las áreas posteriores y un decremento de la coherencia en las áreas anteriores a través de la edad, especialmente en la banda theta, en estado de reposo. Además de lo anterior, en este estudio se encontró una mayor correlación prefronto-parietal en todas las bandas en el hemisferio derecho con respecto al hemisferio izquierdo en el grupo 2. Estos hallazgos coinciden con lo encontrado por Carrillo-de-la-Peña y García-Larreab (2007), quienes encontraron una mayor correlación en el hemisferio derecho con respecto al hemisferio izquierdo, principalmente para las bandas alfa, beta 1 y beta 2, lo cual asociaron con la lateralización del procesamiento cerebral durante funciones ejecutivas, tales como planeación y reflexión.

Conclusiones

La determinación del patrón de acoplamiento electroencefalográfico fronto-parietal que caracteriza a los sujetos tanto del grupo 1 como del grupo 2 durante la ejecución de la prueba de Hanoi, podría constituir una pauta a partir de la cual podrían inferirse una serie de sugerencias de cómo los sujetos procesan y desarrollan las estrategias adecuadas para lograr o no una exitosa ejecución de la tarea. Además, estos datos pudieran considerarse como un índice de maduración de la actividad cerebral subyacente a procesos de alto nivel cognitivo y funciones ejecutivas así como de la maduración de los procesos involucrados en éstas, específicamente en las Torres de Hanoi.

Referencias

Ahonniska J., Ahonen T., Aro T., Tolvanen A. & Lyytinen H. (2000). Repeated assessment of the Tower of Hanoi test: reliability end age effects, realizado por: University of Jyväskylä. Psychological Assessment. Jyväskylä Finlandia.

Anderson P. (2002). Assessment and Developmentof Ejecutive Function (EF) During Childhood. Child Neuropsychology. Vol. 8, No. 2, pp. 71-82.

Carrillo-de-la-Peña M. T. & García-Larreab L. (2007). Right frontal event related EEG coherence (ERCoh) differentiates good from bad performers of the Wisconsin Card Sorting Test (WCST). Clinical Neurophysiology (2007) 37, 63-75.

Cavedini P., Cisima M., Riboldi G., D'Annucci & Bellodi L. (2001). A Neuropsychological Study of Dissociation in Cortical and Subcortical Functioning in Obsessive-Compulsive Disorder by Tower of Hanoi Task. Brain and Cognition 46, 357-363, Milan, Italia.

Giedd J. N., Blumenthal J., Jeffries N. O., Castellanos F. X., Hong Liu, Zijdenbos A., Paus T., Evans A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. Nature Neuroscience • volume 2 no. 10.

Goel V. & Grafman J. (1995). Are de Frontal Lobes Implicated in "Planning" Functions? Interpreting Data From The Tower of Hanoi. Neuropsychologia. Vol. 33, No. 5, pp. 623-642, 1995.

Goldberg T. E., Saint-Cyr J. A., & Weinberger D. R. (1990). Assessment of procedural learning and problem solving in schizophrenic patients by Tower of Hanoi type task. Journal of Neuropsychiatry, 2, 165-173.

Goldberg E. (2002). El cerebro ejecutivo. Barcelona: Crítica Drakontos.

Marosi E., Harmony T., Sánchez L., Becker J., Bernal J., Reyes A., Díaz de León A. E., Rodríguez M. & Fernández T. (1992). Maturation of the coherence of eeg activity in normal and learning-disabled children. Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 83, pp. 350-357.

Mazzocco M. M., Hagerman R. J., Cronister S. A. & Pennington B. F. (1992). Problem solving limitations among cytogenetically expressing Fragile X-women. American Journal of medical genetics, 43, 78-86.

Ozzonoff, S., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1991). Ejecutive functions deficits in high-functioning autistic individuals; Relationship to theory of mind. Journal of child Psychology, 32, 1081-1105.

Sowell, M. Thompson, D. Tessner, & W. Toga (2001). Mapping Continued Brain Growth and Gray Matter Density Reduction in Dorsal Frontal Cortex: Inverse Relationships during Postadolescent Brain Maturation. The Journal of Neuroscience, 21(22):8819–8829.