

Diferencias inter e intra-hemisféricas de dinámicas no lineales en las señales de electroencefalograma durante la resolución de una prueba de atención

Inter- and intra-hemispheric differences of non-linear dynamics in electroencephalogram signals during the execution of an attention test

Fernando Maureira-Cid¹  Elizabeth Flores-Ferro²  Hernán Díaz-Muñoz³ 

¹ Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación - Departamento de Educación Física, Deportes y Recreación - Santiago de Chile - Chile.

² Universidad Bernardo O'Higgins - Pedagogía en Educación Física, Deporte y Recreación- Santiago de Chile - Chile.

³ Universidad de Santiago - Departamento de Matemáticas y Ciencia de la Computación - Santiago de Chile - Chile.

Correspondencia: Fernando Maureira-Cid. Departamento de Educación Física, Deportes y Recreación, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Dr Luis Bisquert 2765. Teléfono: +56 2 223229486. Santiago de Chile. Chile. Correo electrónico: maureirafernando@yahoo.es.

Resumen

Introducción. La actividad cerebral, teniendo en cuenta su dinámica aperiódica, puede ser estudiada mediante funciones no lineales o sistemas caóticos.

Objetivo. Estudiar las diferencias inter e intra-hemisféricas de la relación orden/caos en la actividad cerebral de la onda beta en estudiantes universitarios durante la resolución de un test de atención.

Materiales y métodos. La muestra estuvo compuesta por 10 estudiantes universitarios de educación física, todos hombres, a quienes se les aplicó la prueba de atención de Toulouse-Piéron para registrar, mediante electroencefalograma, su actividad cerebral por 8 minutos durante la ejecución de la prueba. Para el registro de la actividad cerebral se usó el dispositivo Emotiv EPOC®.

Resultados. Se observaron diferencias intra e inter-hemisféricas en la relación orden/caos entre los participantes en las regiones prefrontales, temporales y occipitales ($p < 0.05$), así como diversas correlaciones entre estas regiones ($r > 0.600$), las cuales variaron tanto entre los sujetos, como a nivel individual a medida que avanzaba la ejecución de la prueba.

Conclusión. A medida que la ejecución de la prueba avanzaba, las asimetrías hemisféricas aumentaban, por lo que es posible concluir que la participación en procesos cognitivos continuos produce diferencias en la actividad cerebral; sin embargo, es necesario realizar estudios similares en muestras con diferentes características (diversos grupos etarios, mujeres, etc.) y donde se apliquen otras pruebas de atención para poder confirmar o contrastar los resultados aquí reportados.

Palabras clave: Atención; Electroencefalografía; Dinámicas no lineales (DeCS).

Abstract

Introduction: Considering its aperiodic dynamics, brain activity can be studied by means of non-linear functions or chaotic systems.

Objective: To analyze the inter- and intra-hemispheric differences of the order/chaos relationship observed in the beta waves of university students during their participation in an attention test.

Materials and methods: The sample was composed of 10 university physical education students, all males, who were administered the Toulouse-Piéron Concentrated Attention Test to record, by means of electroencephalogram, their brain activity for 8 minutes during the execution of the test. The Emotiv EPOC® device was used to record brain activity.

Results: Intra- and inter-hemispheric differences were observed in the order/chaos relationship among the participants in the prefrontal, temporal and occipital regions ($p < 0.05$), as well as various correlations between these regions ($r > 0.600$), which varied both between participants and individually as the execution of the test progressed.

Conclusion: As the test progressed, hemispheric asymmetries increased, which allows concluding that engaging in continuous cognitive processes causes brain activity differences. However, it is necessary to carry out similar studies in samples with different characteristics (different age groups, women, etc.) in which other attention tests are used to confirm or contrast the results reported here.

Keywords: Attention; Electroencephalography; Nonlinear Dynamics (MeSH).

Maureira-Cid F, Flores-Ferro E, Díaz-Muñoz H. Diferencias inter e intra-hemisféricas de dinámicas no lineales en las señales de electroencefalograma durante la resolución de una prueba de atención. Rev. Fac. Med. 2020;68(4):577-85. Spanish. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v68n4.76046>.

Maureira-Cid F, Flores-Ferro E, Díaz-Muñoz H. [Inter- and intra-hemispheric differences of non-linear dynamics in electroencephalogram signals during the execution of an attention test]. Rev. Fac. Med. 2020;68(4):577-85. Spanish. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v68n4.76046>.

Introducción

Un electroencefalograma (EEG) es un examen que permite registrar la actividad eléctrica de la corteza cerebral a través de electrodos que se ubican sobre el cuero cabelludo.¹ Los primeros estudios sobre EEG en seres humanos se publicaron en 1929 y abrieron el camino para establecer una relación entre la conducta humana y la actividad eléctrica del cerebro.²

En la actualidad, el registro de la actividad cerebral se puede clasificar en diferentes tipos de ondas:³

Alfa: tiene un rango de 8 a 12 hertz (Hz) y se presenta en sujetos despiertos, relajados y con los ojos cerrados.

Beta: tiene un rango de 13 a 30 Hz y se presenta en sujetos despiertos y receptivos a estímulos del entorno.

Gamma: tiene un rango >30 Hz y se asocia a estados de procesamiento de información superior y a la percepción consciente.

Theta: tiene un rango de 3.5 a 8 Hz y se presenta durante el sueño ligero.

Delta: tiene un rango de 1.5 a 3.5 Hz y se presenta durante el sueño profundo.

Por su parte, los sistemas caóticos poseen una dinámica aperiódica y son extremadamente sensibles a las condiciones iniciales;⁴ es decir, cualquier variación en estas condiciones hace imposible predecir qué ocurrirá a largo plazo con el sistema. Esta teoría puede ser aplicada al clima, al movimiento de las placas tectónicas, a la frecuencia cardíaca, a la actividad cerebral, entre otros.⁵ De ese modo, durante las últimas décadas las señales de los EEG han permitido analizar la actividad cerebral, esto teniendo en cuenta que debido a su dinámica aperiódica puede ser estudiada mediante funciones no lineales o sistemas caóticos.⁶

En la teoría del caos, el exponente de Hurst (H) es un indicador del balance orden/caos que se puede utilizar en las evaluaciones de series de tiempo como el EEG,⁷ y cuyo índice varía entre 0 y 1: un valor $H=0.5$ indica un comportamiento totalmente aleatorio (movimiento browniano), lo que hace imposible predecir el comportamiento futuro del sistema; un valor $0.5 < H \leq 1$ indica un comportamiento persistente, es decir, el sistema tiene memoria a largo plazo y la actividad pasada se sigue de otra igual, lo que disminuye la entropía termodinámica, y, finalmente, un valor $0 \leq H < 0.5$ indica un comportamiento antipersistente, es decir, el sistema no tiene memoria de largo plazo y la actividad pasada se sigue de una actividad opuesta, lo que aumenta la entropía termodinámica.⁸

La literatura en la que se vincula la resolución de pruebas cognitivas con EEG y dinámicas no lineales es escasa: Díaz *et al.*⁹ y Díaz *et al.*¹⁰ analizan las correlaciones de los índices del exponente H obtenidos en registros de EEG durante la resolución de 15 preguntas del test de matrices progresivas de Raven y encuentran diferencias inter-sujetos entre las regiones relacionadas a medida que aumenta la dificultad de las preguntas. Por su parte, Díaz *et al.*¹¹ y Díaz *et al.*,¹² en estudios realizados durante procesos de imaginación de danzas coreográficas con música, muestran diferencias inter e intra-hemisféricas en los índices del exponente H, con predominio en la región temporal, y una gran variabilidad entre los sujetos.

A partir de los antecedentes expuestos, el objetivo de la presente investigación fue estudiar las diferencias

inter e intra-hemisféricas de la relación orden/caos en la actividad cerebral durante la resolución de una prueba de atención en estudiantes universitarios durante la resolución de un test de atención, para lo cual se analizó la actividad registrada por el EEG durante la resolución de la prueba, de tal manera que se estudió el cerebro como un sistema complejo y de dinámicas no lineales, y con un enfoque más acorde a la naturaleza de su funcionamiento.

Materiales y métodos

La muestra fue no probabilística intencional y estuvo constituida por 10 estudiantes, todos hombres, de la carrera de Pedagogía en Educación Física de la Universidad Católica Silva Henríquez de Santiago de Chile, Chile. Las medias de edad, estatura, peso y circunferencia de cráneo de los participantes fueron 21.4 ± 2.5 años, 1.7 ± 0.08 metros, 72.3 ± 3.7 kilos y 58.1 ± 0.6 cm, respectivamente. Ninguno de los sujetos presentó alteraciones visuales ni problemas de atención, consumía medicamentos ni estuvo en tratamiento psicológico en el último año.

El estudio tuvo en cuenta los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos establecidos por la Declaración de Helsinki,¹³ además fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Católica Silva Henríquez mediante acta sin número del 18 de mayo de 2018. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado para poder ser incluidos en la investigación.

La actividad cerebral se registró con el dispositivo Emotiv EPOC® que tiene una frecuencia de muestreo de 128 Hz. Cada EEG registró 14 canales a través de electrodos posicionados según el sistema 10/20 (Figura 1) usando como referencia los electrodos ubicados en el hueso mastoides. Los datos obtenidos se procesaron con el algoritmo automático ADJUST del programa EEGLAB en la plataforma MATLAB 2008. Se utilizaron los registros de los lóbulos frontal (AF3 y AF4), temporal (T7 y T8) y occipital (O1 y O2), y se analizó el rango de frecuencia 13-30 Hz (onda beta) debido a que la actividad cerebral que subyace a la resolución de tareas cognitivas ocurre en este rango.

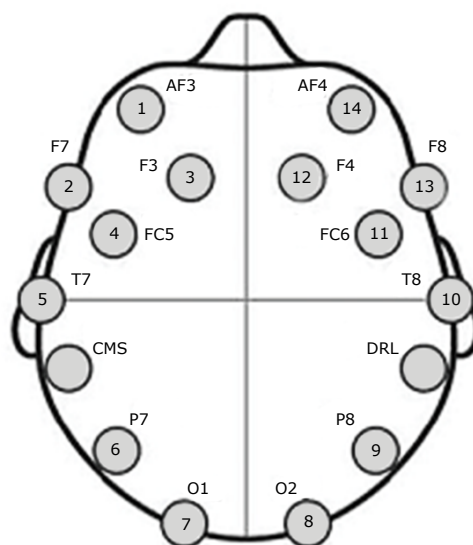


Figura 1. Ubicaciones de los electrodos del dispositivo Emotiv EPOC® en la cabeza durante la realización del estudio. Fuente: Elaboración con base en Díaz *et al.*¹¹

Para evaluar la atención selectiva se utilizó la prueba de Toulouse-Piéron, considerada como una de las herramientas más relevantes para valorar la atención.¹⁴ La prueba, que puede aplicarse de manera individual o colectiva, consta de una matriz de 40 filas por 30 columnas (1200 casillas en total) que en la parte superior tiene dos figuras modelo (un cuadrado con un guión en alguno de sus lados o vértices) y su fin es que los participantes encuentren esas dos figuras entre todas que se encuentran en la hoja. El evaluado comienza la prueba buscando las figuras en la primera fila de derecha a izquierda y al llegar al final continúa con la línea dos y así sucesivamente hasta completar el test. Cada dos minutos los participantes deben marcar una línea en la ubicación en la que se encuentran para poder analizar los resultados en períodos determinados de tiempo y así estudiar la evolución de la atención durante los 8 minutos de la prueba. Este es un instrumento validado previamente en estudiantes de educación física.¹⁵

Para la aplicación de la prueba, cada participante se sentó con los electrodos ubicados en su cabeza en una sala iluminada y sin ruidos ambientales de tal manera que se pudiera relajar. En primer lugar se registraron dos minutos durante los cuales el sujeto debía mantener la vista fija en una cruz presentada en la pantalla del computador y luego otros dos minutos en los que debía permanecer con los ojos cerrados; estos registros se utilizaron para medir la actividad basal de la corteza cerebral y así descartar estados alterados o altamente ansiosos. Posterior a esto, se registraron los 8 minutos en los que cada participante resolvió la prueba.

Para el análisis de los datos se utilizó el exponente H, que fue un indicador del balance orden/caos en los registros del EEG en los lóbulos frontales, temporales y occipitales. También se utilizaron pruebas t-Student para muestras independientes con el fin de comparar la actividad de los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo; pruebas de análisis de varianza (ANOVA) para comparar los índices del exponente H de cada lóbulo, y correlaciones lineales de Pearson para establecer relaciones inter e intra-hemisféricas de la actividad cerebral de las regiones prefrontal, temporal y occipital. La significancia estadística se fijó a un valor $p < 0.05$.

Resultados

Los índices del exponente H se calcularon para cada segundo a partir de los 128 datos que suministró el EEG en ese periodo y la mayoría de los registros osciló entre 0.2 y 0.4 en las tres regiones estudiadas y tanto al costado derecho como izquierdo, lo que mostró una actividad antipersistente en las dinámicas cerebrales durante toda la resolución de la prueba de atención.

La Tabla 1 muestra los resultados de las pruebas t-Student para muestras independientes que evidenciaron diferencias significativas inter e intra-hemisféricas en los valores medios del exponente H en las regiones prefrontales, temporales y occipitales ($p < 0.05$). Las comparaciones se realizaron cada dos minutos (Figura 2); en el primer período de tiempo (0:01 a 2:00 minutos) solo se observaron asimetrías en la región temporal de tres sujetos, mientras que en el período final (6:01 a 8:00 minutos) las asimetrías se presentaron en seis sujetos y se dieron en las tres regiones.

Tabla 1. Diferencias significativas en los valores medios del exponente de Hurst según área cerebral derecha e izquierda en diferentes períodos de tiempo.

Tiempo	Sujeto	Izquierdo	Derecho	Valor p
0:01 a 2:00 minutos	Sujeto 1	T7=0.255	T8=0.267	0.049 *
	Sujeto 3	T7=0.273	T8=0.257	0.003 †
	Sujeto 9	T7=0.306	T8=0.256	0.000 †
2:01 a 4:00 minutos	Sujeto 2	AF3=0.275	AF4=0.286	0.041 *
		T7=0.322	T8=0.281	0.000 †
	Sujeto 6	T7=0.283	T8=0.269	0.009 †
	Sujeto 7	T7=0.239	T8=0.251	0.020 *
4:01 a 6:00 minutos	Sujeto 4	T7=0.296	T8=0.254	0.000 †
		AF3=0.258	AF4=0.246	0.011 *
		T7=0.256	T8=0.247	0.036 *
	Sujeto 8	O1=0.260	O2=0.249	0.017 *
		O1=0.258	O2=0.245	0.001 †
	Sujeto 9	T7=0.496	T8=0.312	0.000 †
O1=0.267		O2=0.455	0.000 †	
6:01 a 8:00 minutos	Sujeto 2	AF3=0.269	AF4=0.280	0.018 *
		T7=0.277	T8=0.379	0.000 †
		O1=0.269	O2=0.301	0.000 †
	Sujeto 5	T7=0.242	T8=0.252	0.024 *
		T7=0.253	T8=0.269	0.000 †
	Sujeto 6	O1=0.254	O2=0.269	0.003 †
		T7=0.260	T8=0.276	0.002 †
	Sujeto 8	T7=0.260	T8=0.276	0.002 †
Sujeto 9	T7=0.368	T8=0.251	0.000 †	
Sujeto 10	T7=0.291	T8=0.255	0.000 †	

AF3: prefrontal izquierdo; AF4: prefrontal derecho; T7: temporal izquierdo; T8: temporal derecho; O1: occipital izquierdo; O2: occipital derecho.

* Diferencias significativas al nivel 0.05.

† Diferencias significativas al nivel 0.01.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se presentan las diferencias entre las medias del índice del exponente H en las regiones prefrontal, temporal y occipital en los cuatro períodos de tiempo y se evidencia que en el tiempo 0:01-2:00 minutos 4 estudiantes presentaron diferencias: 1 de los sujetos registró valores de actividad más altos en la región temporal y los otros 3 los registraron en la región prefrontal. En los siguientes períodos de tiempo se registraron diferencias en el índice del exponente H tanto entre sujetos, como entre regiones cerebrales.

La Figura 3 muestra la evolución de las medias del índice del exponente H a través de los cuatro períodos de tiempo estudiados. En 5 de los 10 estudiantes se registraron variaciones en la actividad eléctrica cerebral de las regiones prefrontal y occipital a través del tiempo, mientras que en la región temporal todos los evaluados presentaron cambios. Estas alteraciones no representaron patrones determinados y variaron en cada persona.

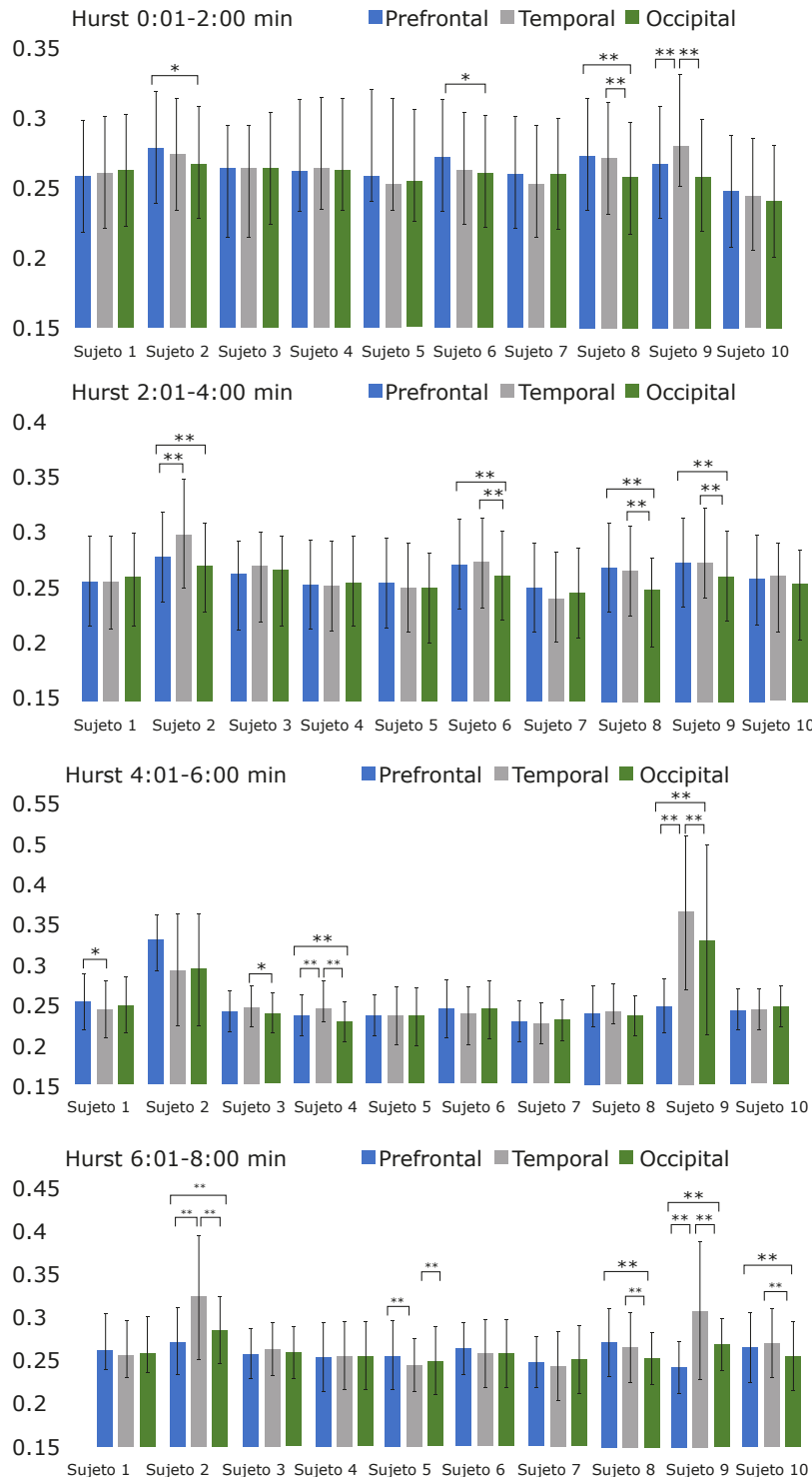


Figura 2. Comparaciones de las medias de los índices del exponente de Hurst entre las regiones prefrontal, temporal y occipital en cada período de tiempo registrado durante la prueba de atención. Fuente: Elaboración propia.

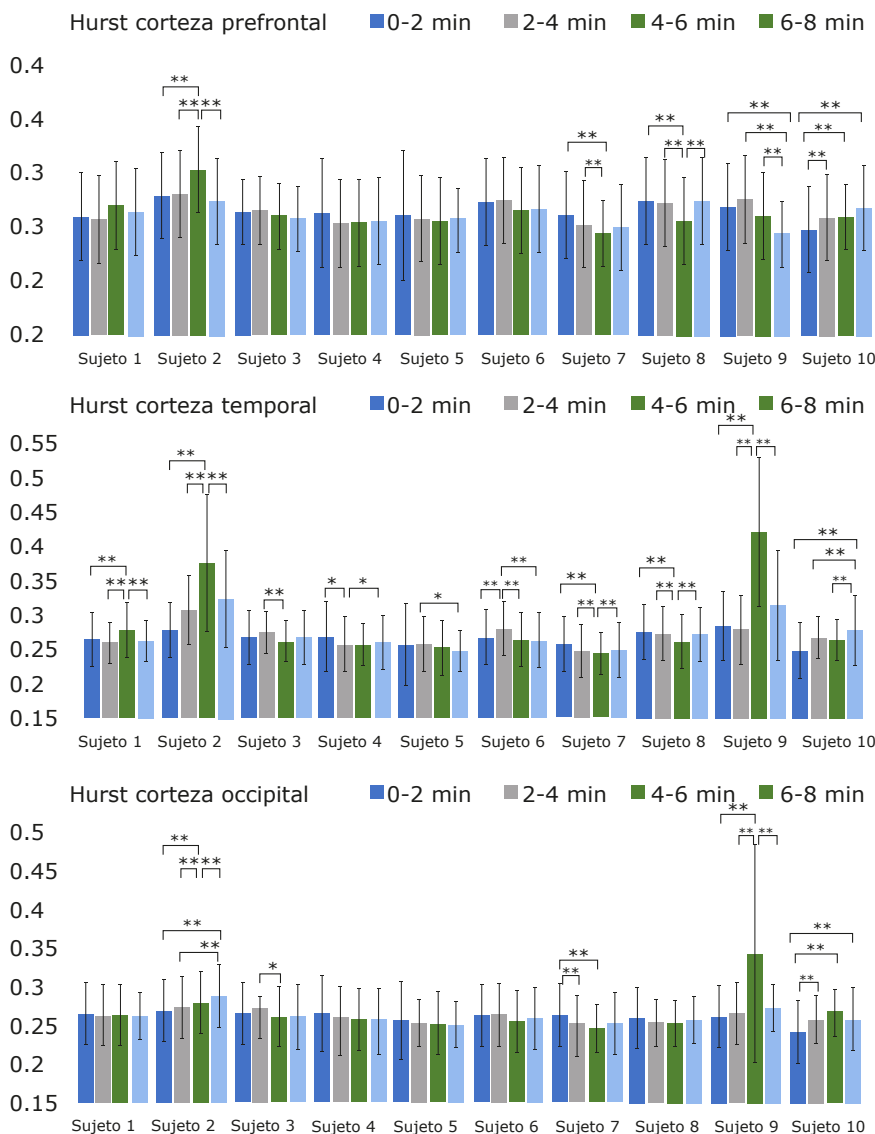


Figura 3. Evolución de las medias de los índices del exponente Hurst de las regiones prefrontal, temporal y occipital a través de los períodos de tiempo registrado durante la prueba de atención. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 presenta las correlaciones entre los índices del exponente H consideradas como altos ($r < 0.600$); allí se evidencia que los sujetos 1, 2, 6 y 9 presentaron pocas correlaciones significativas en los cuatro períodos, mientras que los demás sí presentaron relaciones con algunos cambios en las intensidades entre las regiones.

Discusión

Al estudiar la actividad neurofisiológica de la región prefrontal, temporal y occipital mediante un EGG y durante la resolución de una prueba de atención, en la presente investigación se logró evidenciar una actividad anti-persistente de la onda beta durante los 8 minutos de ejecución del test. La actividad cerebral registrada en el rango de esta onda (13 y 30 Hz) entre el primer período de tiempo y el segundo fue opuesta a la registrada entre el segundo y el tercero, lo que dio cuenta que la actividad neurofisiológica en cualquier segundo fue inversa a la registrada el segundo anterior. Esto coincidió

con el estudio de Díaz *et al.*,¹⁰ en donde la actividad de la onda beta se mantuvo siempre con un $H < 0.5$ durante la resolución de un test de inteligencia. Los hallazgos del presente estudio también indicaron que durante la resolución de problemas cognitivos la corteza cerebral tiende a desordenarse de tal forma que diversas regiones se utilizan de manera desagregada para buscar una solución, siendo más bajos los índices del exponente H a medida que la complejidad del problema aumenta.

Los resultados del estudio mostraron que durante los primeros dos minutos de realización de la prueba solo tres sujetos presentaron asimetrías hemisféricas, pero que al final de la prueba las diferencias se registraron en seis sujetos. Lo anterior pudo deberse a que el esfuerzo sostenido a través del tiempo provoca diferencias en la actividad cerebral, sobre todo en la región temporal debido a que esta se relaciona con la memoria (hipocampo), el reconocimiento de caras y la audición, siendo la primera de ellas fundamental para el proceso de resolución de pruebas cognitivas.¹⁶

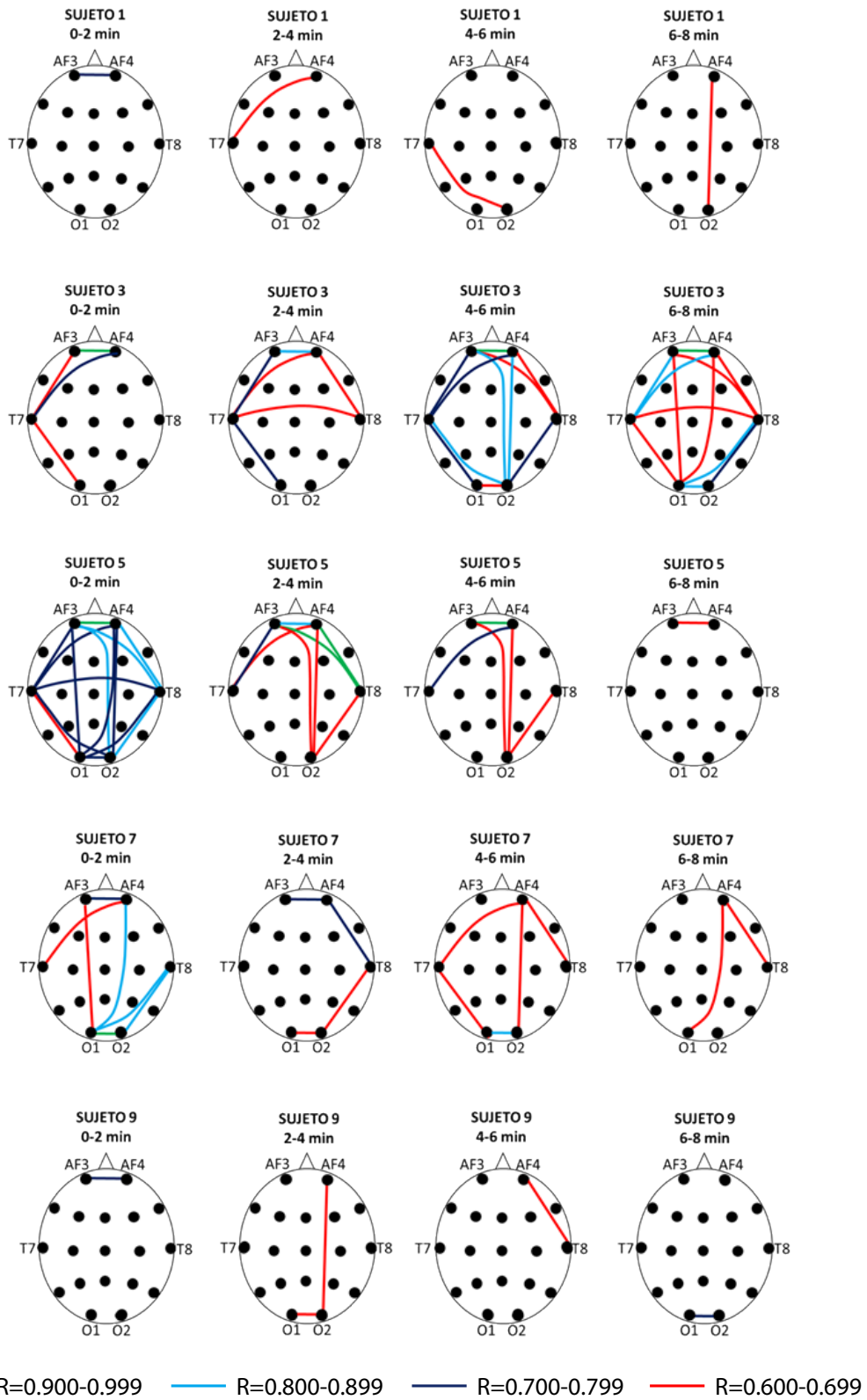


Figura 4. Correlaciones entre la actividad registrada en los seis electrodos de cada sujeto a través del tiempo. AF3: prefrontal izquierdo; AF4: prefrontal derecho. Fuente: Elaboración propia.

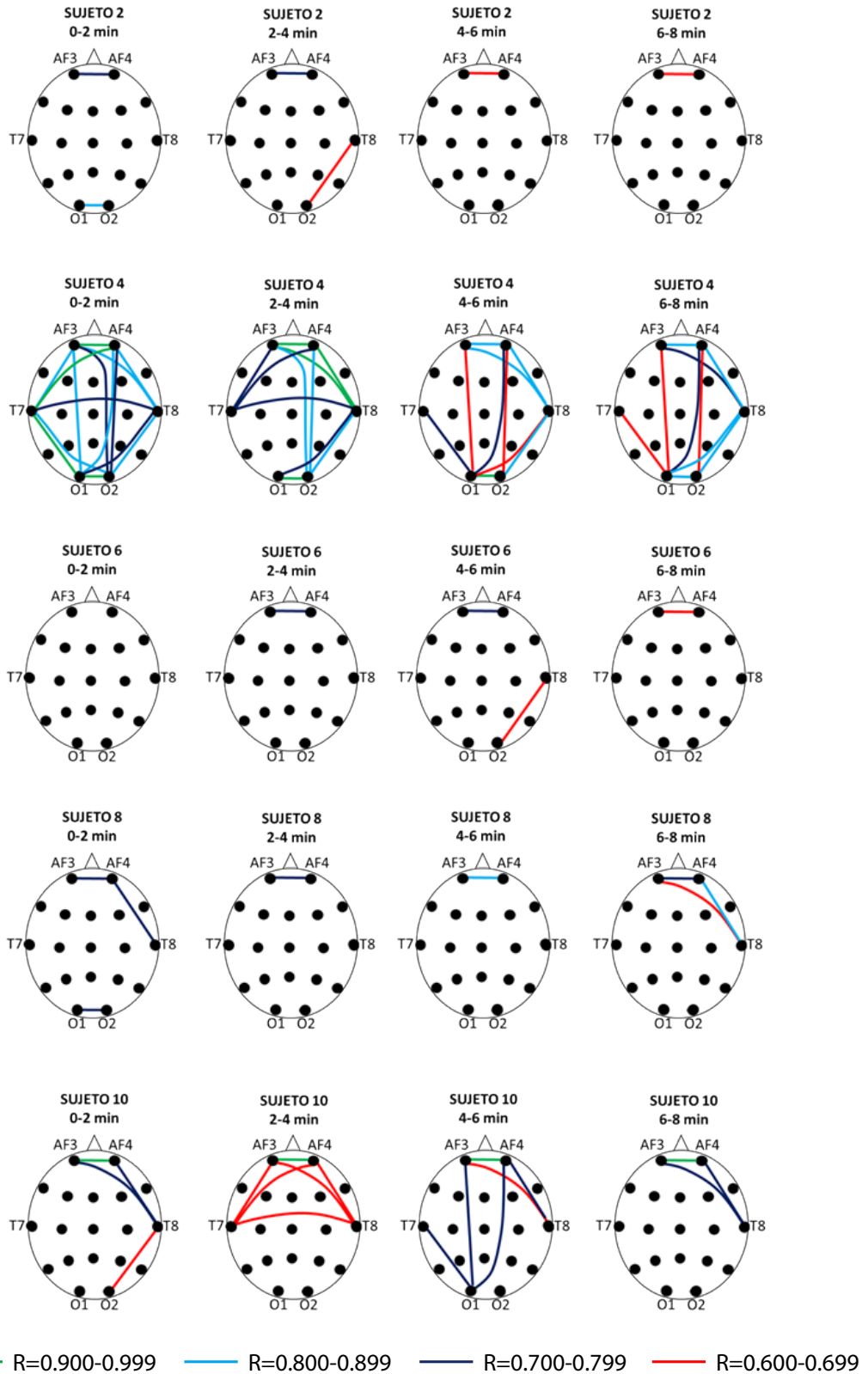


Figura 4. Correlaciones entre la actividad registrada en los seis electrodos de cada sujeto a través del tiempo. AF3: prefrontal izquierdo; AF4: prefrontal derecho. (continúa)
Fuente: Elaboración propia.

Las comparaciones de la actividad de las tres regiones estudiadas muestran que durante los dos primeros minutos cuatro sujetos tuvieron diferencias, siendo la región prefrontal la que presentó una media mayor; esta situación puede explicarse porque dicha región se encarga de focalizar la atención y de planificar y regular los procesos cognitivos¹ y por tanto tiene una actividad un poco más ordenada.

A medida que avanzaban los minutos de la prueba, algunos sujetos registraron mayor actividad de las regiones prefrontal y temporal y finalizaban con un registro más alto en esta última debido a la necesidad de memorizar las figuras buscadas.

Vale la pena mencionar que no todos los sujetos tuvieron diferencias entre la actividad de las tres regiones, lo cual muestra la gran variabilidad que existe debido a las individualidades de cada sujeto, pues frente a la misma resolución de problemas los cerebros utilizan estrategias distintas. Por tanto, y debido a esta variabilidad, es imposible hacer una agrupación o generalización de la actividad neurofisiológica en situaciones de cognición.

Al contrastar la actividad de cada región cerebral a medida que transcurría el tiempo de la prueba de atención, se encontró que todos los participantes tuvieron alteraciones de la relación orden/caos en la región temporal, pero que solo la mitad las presentaron en las regiones prefrontal y occipital. Asimismo, cada individuo presentó diversos mecanismos de acción cerebral: algunos disminuyeron los índices del exponente H con el tiempo mientras que otros los aumentaron, lo que dio cuenta de la increíble variabilidad de la actividad registrada por el EEG durante la resolución de problemas y contribuyó aún más a la postura de la imposibilidad de generalización de la actividad cerebral, situación característica de los sistemas dinámicos complejos.¹⁷

En síntesis, los análisis de correlaciones del orden/caos indican la variabilidad entre la asociación de las regiones prefrontal, temporal y occipital a medida que avanza el tiempo de la prueba; sin embargo, una constante es que los sujetos que poseen bajas correlaciones entre los índices del exponente H ($r > 0.600$) en los primeros minutos las mantienen constantes durante toda la prueba, y viceversa. Un menor número de correlaciones altas muestra mayor especialización regional cerebral y mayor eficiencia para la resolución de problemas, lo que no necesariamente significa mayor eficacia, sino menor utilización de energía del sistema para realizar la tarea.^{18,19}

Conclusión

Según los hallazgos, a medida que la ejecución de la prueba avanzaba, las asimetrías hemisféricas aumentaban, lo que permite concluir que la participación en procesos cognitivos continuos produce diferencias en la actividad cerebral. No obstante, es necesario realizar nuevos estudios en donde se investiguen estos fenómenos en muestras con características diferentes (diversos grupos etarios, mujeres, etc.) y donde se apliquen otras pruebas de atención para poder confirmar o contrastar los resultados aquí reportados.

Conflicto de intereses

Ninguno declarado por los autores.

Financiación

Ninguna declarada por los autores.

Agradecimientos

A la Escuela de Educación en Ciencias del Movimiento y Deportes de la Universidad Católica Silva Henríquez.

Referencias

1. Maureira-Cid F. Principios de neuroeducación física. La nueva ciencia del ejercicio. 2nd ed. Madrid: Bubok Publishing; 2018.
2. Palacios L. Breve historia de la electroencefalografía. *Acta Neurol Colomb*. 2002;18(2):104-7.
3. Maureira-Cid F, editor. ¿Qué es la inteligencia?. Madrid: Bubok Publishing; 2016.
4. Montero-Carnero F, Moran-Abad F. Biofísica: procesos de auto-organización en biología. Madrid: EUDEMA Universidad; 1992.
5. Coppo JA. Teoría del caos y método científico. *Rev Vet*. 2010;21(2):157-67.
6. Pikovsky A, Rosenblum M, Kurths J. Synchronization: a universal concept in nonlinear sciences. Cambridge: Cambridge University Press; 2001.
7. Kale M, Butar-Butar F. Fractal analysis of time series and distribution properties of Hurst exponent. *Journal of Mathematical Sciences and Mathematics Education*. 2011;5(1):8-19.
8. Díaz H, Maureira-Cid F, Cohen E, Córdova F, Palominos F, Otárola J, et al. Individual differences in the orden/chaos balance of the brain self-organization. *Annals of Data Science*. 2015;2(3):1-18. <http://doi.org/d7jz>.
9. Díaz H, Córdova F, Cañete L, Palominos F, Cifuentes F, Rivas G. Inter-channel correlation in the EEG activity during a cognitive problem solving task with an increasing difficulty questions progression. *Procedia Computer Science* 2015;55:1420-5. <http://doi.org/d7jd>.
10. Díaz H, Córdova F, Cañete L, Palominos F, Cifuentes F, Sánchez C, et al. Order and chaos in the brain: fractal time series analysis of the EEG activity during a cognitive problem solving task. *Procedia Computer Science*. 2015; 55: 1410-1419. <http://doi.org/d7jh>.
11. Díaz H, Maureira F, Córdova F. Temporal scaling and inter-individual hemispheric asymmetry of chaos estimation from EEG time series. *Procedia Computer Science*. 2017;122(2017):339-45. <http://doi.org/d7jf>.
12. Díaz H, Maureira F, Córdova F, Palominos F. Long-range linear correlation and nonlinear chaos estimation differentially characterizes functional connectivity and organization of the brain EEG. *Procedia Computer Science*. 2017;122(2017):857-64. <http://doi.org/d7jg>.
13. World Medical Association (WMA). WMA Declaration of Helsinki – Ethical principles for medical research involving human subjects. Fortaleza: 64th WMA General Assembly; 2013.
14. León-Carrión J. Manual de neuropsicología humana. Madrid: Editorial siglo XXI; 1995.
15. Maureira F, Trujillo H, Flores E. Propiedades psicométricas y datos normativos del test de atención Toulouse-Piéron y del test de memoria visual de Benton forma D en estudiantes de educación física de Chile. *Rev GPU*. 2014;10(2):238-45.
16. Kandel E, Schwartz J, Jessell T, editors. Principios de neurociencia. 4th ed. México D.F.: McGraw-Hill-Interamericana; 2001.
17. Corless M. Introduction to dynamic systems. Indiana: Purdue University; 2011.

18. Díaz H, Maureira F, Flores E, Córdova F. Intra and inter-hemispheric correlations of the order/chaos fluctuation in the brain activity during a motor imagination task. *Procedia Computer Science*. 2018;139:456-63. <http://doi.org/d7j3>.
19. Díaz H, Maureira F, Córdova F. Time series of closed and open eyes EEG conditions reveal differential characteristics in the temporality of linear and non-linear analysis domain. *Procedia Computer Science*. 2018;139:570-7. <http://doi.org/d7j4>.