



Comparación del Estado de Alerta a Diferente Hora del Día Mediante Electroencefalografía y Test de Vigilancia Psicomotora.

K. J. Chávez Martínez¹, E. Viguera Álvarez¹, R. Valdés Cristerna², M. J. Gaitán González³
¹ Posgrado en Ingeniería Biomédica. ²Departamento de Ingeniería Eléctrica. ³Departamento de Ciencias de la Salud
 Universidad Autónoma Metropolitana

Resumen— Este trabajo es un estudio piloto en el que se cuantifica la energía relativa α , β y la relación α/β del electroencefalograma al aplicar un test de vigilancia psicomotora a diferente hora del día, para conocer el estado de alerta de estudiantes universitarios. El objetivo fue encontrar diferencias significativas en los valores de energía relativa y en el tiempo de reacción durante la realización del test por la mañana y por la tarde. La relación α/β aumenta significativamente en la tarde respecto a la mañana en los electrodos frontales, parietales y occipitales durante la realización de la prueba. El tiempo de reacción fue significativamente mayor por la tarde, además de que la cantidad de respuestas falsas a la prueba aumentó.

Palabras clave—Electroencefalograma, energía relativa, estado de alerta, PVT, tiempo de respuesta.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema cognitivo humano cuenta con redes atencionales que permiten afrontar la compleja y amplia variedad de estimulaciones producidas por el ambiente externo. En específico, la red de alerta y vigilancia está asociada a las zonas parietales y frontales, y al aplicar pruebas de atención visuales, también se genera una respuesta cerebral en la zona occipital [1][2]. Se ha reportado que si un sujeto se encuentra en estado de gran alertamiento asociado con actividad cognoscitiva, se presentan en el registro electroencefalográfico frecuencias entre 14 y 35 Hz [3] mientras que el ritmo alfa se atenúa [4]. Para cuantificar objetivamente el estado de alerta, es posible utilizar el Test de Vigilancia Psicomotora (PVT por sus siglas en inglés), el cual consiste en medir el tiempo de reacción ante un estímulo visual que aparece de forma aleatoria en una pantalla. La respuesta del sujeto puede clasificarse en tres tipos de acuerdo al tiempo de reacción: respuestas falsas (menores a 100 ms), respuestas correctas (mayores a 100 ms y menores a 390 ms), y respuestas tardías (mayores a 390 ms) [5].

Diversos grupos de investigación han estudiado el estado de alerta mediante PVT. Agostini y colaboradores realizaron un estudio en adolescentes, a quienes se les aplicó el PVT en dos etapas y varias veces al día. La primera etapa se realizó sin restricción del sueño durante 2 días, la segunda etapa se realizó con restricción del sueño durante 5 días. Se reportó que el tiempo de reacción aumentó significativamente en los días en los que hubo restricción del sueño, más aún a temprana hora del día [6].

En contraste, en múltiples trabajos se ha discutido sobre la

eficiencia de las tareas cognitivas de adultos en diferente horario sin encontrar resultados concluyentes. Se ha reportado que existen fluctuaciones a lo largo de las 24 horas del día que afectan en distinta medida al rendimiento cognitivo humano [7].

En este estudio presentamos los resultados de un proyecto piloto sobre el análisis de la energía relativa (ER) de las bandas α y β del EEG y el análisis del PVT, con el objetivo de conocer las diferencias en el estado de alerta de sujetos jóvenes adultos por la mañana respecto al de la tarde. Se espera que en estudiantes universitarios, al igual que los adolescentes, se encuentren en un mayor estado de alerta durante la mañana, cuando no existe privación de sueño.

II. METODOLOGÍA

A. Adquisición de datos.

Se obtuvo una muestra de 6 sujetos de sexo masculino con edad promedio de 24.66 ± 3.8 años, a quienes se les realizaron dos adquisiciones, la primera a las 9.00h y la segunda a las 13.30 h del mismo día, no sin antes leer y firmar un consentimiento informado donde se describieron los requisitos y las características de la prueba. Todos los sujetos que realizaron la prueba son estudiantes universitarios. El cumplimiento de requisitos se verificó por cuestionario. Ninguno consumió café, alcohol o algún tipo de droga de abuso o recreativa; no tenían diagnóstico de neuropatologías; y no tomaban medicamentos de manera frecuente. Se recabó información sobre los tiempos de sueño y vigilia. Todo esto, hasta antes de la adquisición.

Los registros constan de 10 canales; 8 pertenecen a los electrodos de registro: Fp1, Fp2, F3, F4, P3, P4, O1 y O2, adquiridos de acuerdo al sistema 10/20 con referencia en los dos lóbulos de las orejas y tierra en el mastoides; el canal 9 pertenece a la señal de estimulación; el canal 10 pertenece a la señal de respuesta. Las señales fueron adquiridas con el amplificador de señales electrofisiológicas g.USBamp de g.tech (Guger Technologies) mediante el BCI-2000, con una frecuencia de muestreo de 256 Hz y el filtro pasa-banda activado de .1 a 40 Hz.

B. Diseño del experimento.

Las dos adquisiciones de cada sujeto tienen las mismas características, y constan de tres etapas: la primera etapa es un registro de base durante un minuto, en el cual el sujeto observó una imagen relajante de 350×350 píxeles en tonos azulados; la segunda etapa es un registro de prueba, en la que el paradigma de estimulación aleatoria fue una letra A de 200×200 píxeles, que cambió de intensidad luminosa

durante 300 ms por lo menos 30 veces durante 3 minutos. En esta etapa, se le indicó al sujeto que debía presionar un botón al momento de observar que la letra A cambiaba de intensidad luminosa; la última etapa fue un segundo registro de base con las mismas características de la primera etapa.

C. Preprocesamiento.

La señal original se normalizó para obtener una nueva señal con media cero y varianza unitaria; posteriormente fue filtrada por un banco de tres filtros, obteniendo tres señales de salida por canal. El filtro de la banda alfa se definió de 8 a 13 Hz, el filtro de la banda beta se definió de 13.1 - 30 Hz, y el filtro total se definió de 0 a 30 Hz. Los tres filtros implementados son FIR de orden 489.

D. Procesamiento

Posterior a la etapa de filtrado, las señales fueron recortadas en épocas. Los registros de base se recortaron en 17 épocas de 1.5s. Los registros de prueba fueron recortados en 21 épocas de 1 segundo, donde cada época inicia a partir del instante donde se registró un estímulo.

Se obtuvieron las ERs α , β y α/β canal a canal para los electrodos frontales, parietales y occipitales. Los valores de ER obtenidos, fueron promediados por pares de canales, obteniendo tres valores de ER α y 3 valores de ER β por época (F: F3 - F4, P: P3 - P4, O: O1 - O2).

Finalmente, se calcularon los tiempos de reacción en cada época, obteniendo 21 valores en el PVT; se calculó la diferencia entre el instante en el que se registró una reacción y el instante en el que se registró un estímulo.

E. Análisis estadístico

Son pocos los valores obtenidos de ER y PVT además, no tienen distribución normal, por lo que se aplicó la Prueba de Suma de Rangos con Signo Wilcoxon para realizar el análisis estadístico. Los parámetros que se compararon fueron: ER del registro de base antes y después de realizar el PVT en la mañana; ER de la línea de base antes de comenzar el PVT en la mañana y en la tarde; ER y los tiempos de reacción de los registros de prueba en la mañana y en la tarde. El nivel de significado estadístico utilizado en todas las comparaciones fue de 0.05.

III. RESULTADOS

Para que los sujetos realizaran el estudio, no se les especificó una cantidad de horas de sueño como requisito, pero se sabe por cuestionario que fue de 6.6 ± 1.03 h. Hasta antes de la primera prueba, habían estado despiertos durante 1.83 ± 1 h.

La comparación estadística entre los dos registros de base adquiridos en la mañana, mostró una diferencia estadística significativa en los tres pares de electrodos, tanto en α como en β . Los valores de las medianas aumentaron en los dos casos (ver Tablas I y II); al evaluar la ER α/β se

encontró que ésta disminuyó en los tres pares de electrodos, y este cambio es significativo para el par O (ver Tabla III). Este resultado sugiere que la realización de la prueba promueve un aumento del estado de alerta de los sujetos, puesto que β aumenta en mayor medida que α .

Para evaluar el estado de los sujetos previo a la prueba, se compararon los registros de base de la primera etapa de la mañana con los de la tarde. El valor de la mediana de la ER α es mayor por la tarde que por la mañana, este aumento es significativo en los tres pares de electrodos (ver Tabla IV). La ER β , aumentó en los tres canales, este cambio es significativo para el par O (ver Tabla V). Al evaluar la ER α/β , se encontró que ésta aumentó en los tres pares de canales, siendo un cambio significativo en los pares F y P (ver Tabla VI). Estos resultados indican que el estado de alerta inicial de los sujetos fue menor en la tarde que en la mañana.

La comparación estadística entre los registros de prueba de la mañana y de la tarde, mostró que la ER α aumentó por la tarde en los tres canales evaluados, este cambio es significativo en el par P (ver Tabla VII). La ER β disminuyó por la tarde respecto a la mañana, sin embargo, este cambio sólo fue significativo para el par O (ver Tabla VIII). Estos resultados sugieren que durante el registro de prueba de la tarde, los sujetos se encontraban con un estado de alerta menor al de la mañana.

La comparación estadística del PVT, mostró que el valor de la mediana del tiempo de reacción fue mayor por la tarde que por la mañana (ver Tabla IX). De forma individual, todos los sujetos obtuvieron tiempos de respuesta más largos y mayor cantidad de respuestas falsas por la tarde (ver Tabla X y Fig. 1).

TABLA I
ER α EN LA MAÑANA

Canal	1° etapa		3° etapa		p
	M	R.I.	M	R.I.	
F	0.0761	0.0240	0.1007	0.0295	0.0013
P	0.0590	0.0169	0.0891	0.0337	0.0000885
O	0.0672	0.0344	0.1099	0.0417	0.0012

F: electrodos frontales. P: electrodos parietales. O: electrodos occipitales. M: mediana. R.I.: rango intercuartil.

TABLA II
ER β EN LA MAÑANA

Canal	1° etapa		3° etapa		p
	M	R.I.	M	R.I.	
F	0.1159	0.0343	0.1688	0.0360	0.000103
P	0.0993	0.0329	0.1551	0.0473	0.00012
O	0.0884	0.0290	0.1661	0.0439	0.0001033

TABLA III
ER α/β EN LA MAÑANA

Canal	1° etapa		2° etapa		<i>p</i>
	M	R.I.	M	R.I.	
F	0.6772	0.1533	0.5872	0.1265	0.1005
P	0.6186	0.2286	0.5764	0.1960	0.2959
O	0.8514	0.4227	0.6029	0.2442	0.0064

TABLA IV
ER α DE LA PRIMERA ETAPA

Canal	Mañana		Tarde		<i>p</i>
	M	R.I.	M	R.I.	
F	0.0761	0.0240	0.0968	0.0244	0.0049
P	0.0590	0.0169	0.1117	0.0287	0.000293
O	0.0672	0.0344	0.1113	0.0356	0.000293

TABLA V
ER β DE LA PRIMERA ETAPA

Canal	Mañana		Tarde		<i>p</i>
	M	R.I.	M	R.I.	
F	0.1159	0.0343	0.1253	0.0371	0.1773
P	0.0993	0.0329	0.1111	0.0323	0.1128
O	0.0884	0.0290	0.1204	0.0308	0.0056

TABLA VI
ER α/β DE LA PRIMERA ETAPA

Canal	Mañana		Tarde		<i>p</i>
	M	R.I.	M	R.I.	
F	0.6772	0.1533	0.7690	0.2221	0.0217
P	0.6186	0.2286	1.0492	0.4887	0.000845
O	0.8514	0.4227	1.0519	0.3544	0.1359

TABLA VII
ER α DE LA SEGUNDA ETAPA

Canal	Mañana		Tarde		<i>p</i>
	M	R.I.	M	R.I.	
F	0.0904	0.0946	0.1049	0.0911	0.1236
P	0.0861	0.0574	0.1042	0.0939	0.0315
O	0.0991	0.0915	0.1036	0.1047	0.0666

IV. DISCUSIÓN

De manera similar a lo que reportó Gómez (2015) [8], se observó un cambio en el estado basal del EEG después de

TABLA VIII
ER β DE LA SEGUNDA ETAPA

Canal	Mañana		Tarde		<i>p</i>
	M	R.I.	M	R.I.	
F	0.1769	0.1430	0.1549	0.1471	0.2591
P	0.1747	0.1105	0.1668	0.1381	0.0769
O	0.2026	0.1197	0.1629	0.1302	0.0096

TABLA IX
TIEMPO DE REACCIÓN DURANTE PVT

Mañana		Tarde		<i>p</i>
M	R.I.	M	R.I.	
0.3203	0.0586	0.3477	0.0664	0.00000182

TABLA X
RESPUESTAS FALSAS POR HORARIO

Sujeto	Mañana	Tarde
1	3	8
2	1	2
3	2	4
4	1	3
5	3	12
6	2	5

realizar una prueba. Este hallazgo sugiere que la ejecución de tareas que involucran tiempo de reacción elevan el estado de alerta de los sujetos, y que el cambio es observable en parámetros del EEG a pesar de que el PVT no es un test de tipo cognitivo.

Al comparar los registros de base de la primera etapa, se observó que el estado de alerta antes de ejecutar el PVT fue menor en la tarde respecto a la mañana. Este hallazgo puede ser resultado del ciclo circadiano natural de los sujetos, tal como reportan Aeschbach y colaboradores (1997) [9], quienes encontraron un aumento en la densidad espectral de α y β durante las primeras 12 horas de actividad rutinaria de 9 sujetos después de despertar. Esto sugiere que el estado de alerta inicial de los sujetos influye en los resultados del tiempo de reacción durante la ejecución del PVT.

En cuanto a la ejecución de la prueba, los sujetos se encontraban con un estado de alerta disminuido por la tarde comparado con el de la mañana, ya que la ER α aumentó y la ER β disminuyó. Este efecto se ve reflejado en el desempeño de la prueba, ya que el tiempo de reacción fue significativamente mayor por la tarde, y la cantidad de respuestas falsas también aumentó.

El par de electrodos con mayor cantidad de diferencias significativas fue O. Este hallazgo puede deberse a que la

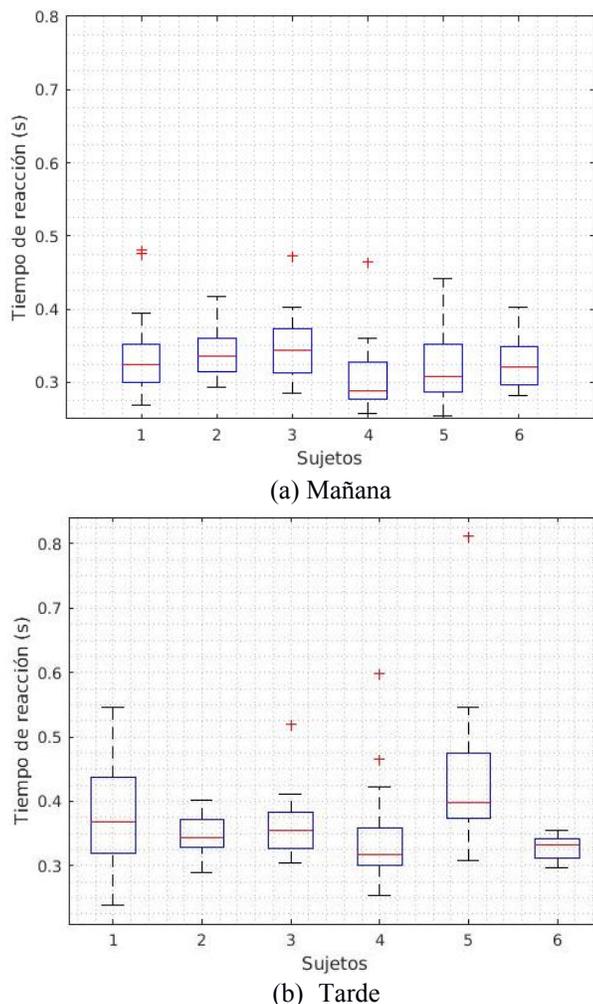


Fig. 1. Cantidad de respuestas falsas por sujeto.

estimulación fue de tipo visual, o incluso a las características del paradigma utilizado, de acuerdo a lo que reportaron Yoto y colaboradores (2007) [10], quienes encontraron diferencias estadísticas significativas del coeficiente de atenuación α debidas a la utilización de tres colores distintos en una prueba de estimulación visual.

Los sujetos de estudio fueron estudiantes universitarios que realizaron sus tareas cotidianas en un día laboral. Si bien, el estado de alerta de adolescentes es mejor en la mañana que en la tarde, se esperaba una tendencia similar en sujetos adultos sanos con actividad académica activa.

V. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos coinciden con lo esperado, esto es, que en la mañana el estado de alerta de los sujetos es mayor en la mañana que en la tarde, incluso a nivel basal. A pesar de que el promedio de horas de sueño podría sugerir

que existió privación de sueño, todos los sujetos afirmaron que el número de horas que durmieron la noche anterior a la prueba coincidió con el que lo hacen de manera regular.

Como trabajo futuro, se propone aumentar la cantidad de sujetos que realicen la prueba, e incluso que tengan actividades y carga académica diferente. También se sugiere modificar las características del paradigma de estimulación (color, tamaño, letra o tipo de letra).

RECONOCIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a Omar Piña Ramírez del Laboratorio de Investigación en Neuroimagenología (LINI) y a Guadalupe Terán Pérez de la Clínica de Trastornos de Sueño UAMI. La autora K. J. Chávez Martínez agradece a CONACYT por la beca (842294) otorgada para estudios de maestría.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. E. Petersen, M. I. Posner, "The Attention System of the Human Brain: 20 Years After", *Annual Review of Neuroscience*, vol. 35, pp.73-89,2012.
- [2] D. Gómez, C. Escera, R. Cilveti, M. Dolores-Polo, R. Díaz, M. Portavella, "Localización neuroeléctrica de procesos cognitivos", *Anuario de Psicología*, no. 54, 77-96, 1992.
- [3] J. J. Bouyer, M. F. Montaron, A. Rougeul, "Fast fronto-parietal rhythms during combined focused attentive behavior and immobility in cat: cortical and thalamic localizations", *Neuroscience*, vol. 22, no. 3, pp. 863-69, 1987.
- [4] J. C. Sierra, G. Luna, A. Fernández, "Evaluación de la activación y de la vigilancia", *Revista Latinoamericana de Psicología*, vol. 25, no.3, pp. 433 - 52, 1993.
- [5] D. A. Grant, K. A. Honn, M. E. Layton, S. M. Riedy, H. P. A. Van Dongen, "3-Minute Smartphone-Based and Tablet-Based Psychomotor Vigilance Tests for the Assessment of Reduced Alertness Due To Sleep Deprivation", *Behavior Research Methods*, vol. 49, no. 3, pp. 1020-29, 2016.
- [6] A. Agostini, M. A. Carskadon, J. Dorrian, S. Coussens, M. A. Short, "An experimental study of adolescent sleep restriction during a simulated school week: changes in phase, sleep staging, performance and sleepiness", *Journal of Sleep Research*, vol. 26, no. 2, pp. 227-56, 2016.
- [7] J. Carrier, T. H. Monk, "Circadian Rhythms of performance: new trends", *Chronobiology International*, vol. 17, no. 6, pp. 719-32, 2000.
- [8] J. Gómez Pilar, "Análisis de los cambios espectrales del EEG producidos por el entrenamiento neurocognitivo mediante una interfaz cerebro-ordenador", *Cognitive Area Networks*, vol.2, no. 1, 2015.
- [9] D. Aeschbach, J. R. Matthews, T. T. Postolache, M. A. Jackson, H. A. Giesen, T.A. Wehr, "Dynamics of the human EEG during prolonged wakefulness: evidence for frequency-specific circadian and homeostatic influences", *Neuroscience Letters*, vol. 239, no. 2-3, pp. 121-24, 1997.
- [10] A. Yoto, T. Katsuura, D. Iwanaga, Y. Shimomura, "Effects of Object Color Stimuli on Human Brain Activities in Perception and Attention Referred to EEG Alpha Band Response", *Journal of Physiological Anthropology*, vol. 26, no. 3, pp. 373-9, 2007.