

Comunicación basada en el componente P300 de los potenciales relacionados con eventos: propuesta de una matriz con imágenes

A.D. Santana-Vargas, M.L. Pérez, F. Ostrosky-Solís

COMMUNICATION BASED ON THE P300 COMPONENT OF EVENT-RELATED POTENTIALS: A PROPOSAL FOR A MATRIX WITH IMAGES

Summary. Introduction. For more than two decades, several research groups have tried to build a device called 'brain computer interface' (BCI) to make it available for people having several disabilities such as the locked in syndrome through the use of the recording of electroencephalography activity while the patients are being visually stimulated. Aim. To obtain a P300 component elicited by intensifications of images arranged in a matrix in an oddball paradigm in two selection modes: assigned and free. Subjects and methods. A 5×5 matrix for communication purposes was used to visually stimulate 12 volunteers while their event related potentials were recorded in three leads (Fz, Cz and Pz). Off-line analyses were performed to obtain the P300 component which was elicited by targets images intensified randomly by rows or columns. Results. In both modalities assigned and free, all volunteers generated a reliable P300 component. Confirmation of the selected images was made through a comparison of the P300 when each target, row and column matched. In the free selection mode, higher amplitude and a broader activation including frontal leads was observed. No significant differences in the P300 latency were found. Conclusion. In all volunteers the elicited P300 allows the identification of the selected images in the 5×5 matrix. In the present study the use of drawings representing ideas instead of letters might increase the communication rate in a P300-based BCI. [REV NEUROL 2006; 43: 653-8]

Key words. Brain computer interface (BCI). Communication. Event related brain potentials (ERP). Image matrix. Oddball. P300.

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de dos décadas diversos grupos de investigación en todo el mundo han trabajado en el desarrollo de un dispositivo con el que una persona pueda comunicarse con otros dispositivos —o controlarlos— empleando únicamente su actividad cerebral [1-8]. Aunque esta idea no es nueva, se había relacionado más con la ciencia ficción que con la aplicación real de la actividad cerebral y de las disciplinas computacionales. Emplear sólo el cerebro para interactuar con el exterior sería útil principalmente para personas que sufren alteraciones neuromusculares graves. Tal es el caso del síndrome de encapsamiento o *locked in*, en el cual el paciente pierde toda posibilidad de realizar casi cualquier movimiento voluntario, mientras que sus funciones mentales permanecen intactas [9,10].

La transferencia directa de información desde el cerebro de una persona hasta una computadora sin la intervención de actividad muscular o nerviosa es ahora posible gracias a un sistema que se conoce como 'interfaz cerebro-computadora' o 'BCI' (por sus siglas en inglés) [9]. Un sistema de BCI consta de tres grandes módulos [10,11]. En el primero se adquiere la señal, ya sea mediante la aplicación de electrodos superficiales o bien mediante la implantación dentro de la corteza cerebral. En el segundo, la señal se extrae y se procesa mediante algoritmos para que el sistema pueda interpretarla como portadora de la inten-

ción del usuario. Finalmente, en el tercero se aplica dicha actividad para que el usuario interactúe con otras personas; por ejemplo, para la selección de blancos en un ordenador o la comunicación mediante un sintetizador de voz [12,13]. De toda la actividad que el cerebro produce sólo se han identificado cinco tipos de señales útiles para una BCI: los potenciales corticales lentos, los ritmos beta y mu, los potenciales visuales evocados, la actividad neuronal cortical y el componente P300 de los potenciales relacionados con eventos (PRE) [10,14]. Los tipos principales de BCI que se han propuesto utilizan estas señales; sin embargo, todos los sistemas aún son prototipos que se encuentran en fase experimental [1-5,8,15].

Farwell et al [16] propusieron un tipo específico de BCI para la comunicación y adaptaron el paradigma *oddball* para obtener el componente P300. Típicamente este componente se obtiene mediante el registro con electrodos superficiales de la actividad electroencefalográfica (EEG) relacionada con los PRE. El P300 se define como una onda positiva con mayor amplitud en las zonas centroparietales en el sistema internacional 10-20 (posiciones Fz, Cz y Pz). En estas derivaciones aparece como un pico prominente aproximadamente a los 300 ms después de la presentación del estímulo. En el paradigma *oddball* se presentan dos tipos de estímulos en una secuencia aleatoria. Uno de ellos, el infrecuente o blanco, se presenta en menor proporción (15-20%) con respecto al frecuente o estímulo estándar (75-80%). La tarea que se pide al sujeto es discriminar el evento o estímulo infrecuente del frecuente. Para esto, se le solicita presionar un botón o bien llevar una cuenta mental del número de veces que aparece el estímulo infrecuente. De esta manera, el estímulo resulta relevante para realizar la tarea y producir así el P300 [17-19].

Farwell et al [16] y Donchin et al [2] presentaron a participantes sanos en la pantalla de un ordenador una matriz de seis columnas por seis renglones con todas las letras del alfabeto, comandos y símbolos para que pudieran deletrear palabras. Los estímulos consistieron en series aleatorias de intensificaciones

Aceptado tras revisión externa: 02.10.06.

Laboratorio de Neuropsicología y Psicofisiología. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF, México.

Correspondencia: Dra. Feggy Ostrosky-Solís. Laboratorio de Neuropsicología y Psicofisiología. Universidad Nacional Autónoma de México. Rivera de Cupia, 110-71. Lomas de Reforma. Del. Miguel Hidalgo. CP 11930, Ciudad de México 04510, México. Fax: + 52 51 95 23. E-mail: feggy@servidor.unam.mx

Trabajo parcialmente financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la Universidad Nacional Autónoma de México (PAPIT), IN300603-3.

© 2006, REVISTA DE NEUROLOGÍA

de columnas y renglones de la matriz hasta completarla (12 intensificaciones por serie). Éstas se repetían cierto número de veces para seleccionar un carácter específico de una palabra asignada y así sucesivamente hasta completarla. En este estudio, los participantes debían discriminar el estímulo infrecuente de los estímulos frecuentes. El estímulo infrecuente consistió en la intensificación de la columna y el renglón que contenían el carácter en cuestión; de esta forma, sólo dos de las 12 intensificaciones eran relevantes y, por tanto, se esperaba que el participante generara el componente P300, mientras que en el resto de las intensificaciones no lo hiciera. Además de demostrar que el componente P300 era útil para el desarrollo de una BCI, Donchin et al [2] exploraron su procesamiento mediante diversas técnicas para extraer sus características principales, tales como la amplitud (medida en microvoltios), su latencia (en milisegundos), el número mínimo de ensayos requeridos para obtener una señal confiable y la tasa o velocidad de presentación de los estímulos. Otros autores, como Allison et al [20], también han explorado el uso de matrices con fines de comunicación que emplean letras del alfabeto; en su estudio el objetivo fue investigar el tamaño óptimo de la matriz.

En el paradigma para la comunicación a base de letras diseñado por Donchin se advierte claramente la posibilidad de construir con el alfabeto prácticamente cualquier idea, lo cual lo hace muy flexible. Sin embargo, una de sus limitantes es que se requiere que la persona seleccione letra por letra hasta completar una palabra. Esto puede tener implicaciones negativas con el uso a largo plazo, además de que es indispensable que el usuario posea lectoescritura ya que de otra forma no podría reconocer las letras. Este aspecto no es quizá tan relevante en otros sistemas de comunicación basados en el P300 y que no emplean matrices, sino otro tipo de paradigmas, como los que emplean ambientes virtuales con imágenes [21] o el paradigma propuesto para seleccionar orientaciones mediante puntos cardinales [22]. En el caso de las matrices para la comunicación, aspectos como la flexibilidad del paradigma o el contenido con el cual interactúa el usuario se habían relegado a estudios posteriores [20].

En foros especializados se han discutido los puntos fundamentales para el desarrollo de la BCI. El énfasis principal se había hecho sobre el diseño de algoritmos para procesar las señales [5,23] a pesar de que esto es sólo una parte del sistema. Actualmente se empiezan a considerar como relevantes los factores del usuario y se ha creado la necesidad de explorarlos más allá de considerar únicamente la parte computacional [9,24]. Se ha resaltado la importancia de considerar los aspectos físicos y psicológicos de los usuarios que pueden influir en la generación de la actividad electrofisiológica, tales como la fatiga, la motivación, la frustración, la atención y la interacción con el sistema, entre otros [9]. Sin embargo, Moore et al [25] señalan que los trabajos en BCI que contemplan estos factores aún son escasos. En estudios recientes de BCI con electrodos implantados se ha considerado incorporar para futuras investigaciones el factor afectivo.

En el caso del P300, actualmente se sigue la línea propuesta por el paradigma de Donchin et al, la cual ha logrado avances notables en el desarrollo de algoritmos [23,26,27]. En lo concerniente a factores que no tienen que ver con el procesamiento, las investigaciones han empezado a considerar aspectos como el tamaño de la matriz [20], la generalización a otros usuarios [28] y las características de la percepción [29]. Sin embargo, no hay datos suficientes que exploren los elementos del paradigma pa-



Figura 1. Matriz con imágenes de personas, objetos y acciones (con autorización de The Picture Communication Symbols® 1981-2004, Mayer-Johnson LLC; www.mayer-johnson.com).

ra obtener el componente P300, aunado a la falta de información respecto a la naturaleza y el contenido de los estímulos.

El propósito de la presente investigación fue estudiar los elementos de la matriz como un factor asociado al paradigma de estimulación para obtener el componente P300. En lo concerniente a los elementos de los que está constituida la matriz, proponemos por primera vez en participantes sanos el uso de una matriz de imágenes en lugar de letras y símbolos. Consideramos que las imágenes podrían simplificar el esfuerzo de realizar la tarea de construcción de frases y acelerar la cantidad de información que eventualmente una persona con alteraciones neuromusculares graves podría emplear para comunicarse.

Los objetivos de este estudio fueron los siguientes: 1) explorar el uso de una matriz basada en imágenes para una BCI para la comunicación, 2) comparar la latencia y la amplitud del componente P300 producido en dos modalidades de selección: asignada y libre, y 3) determinar qué electrodos son los más representativos para registrar la señal de forma fiable.

SUJETOS Y MÉTODOS

Participantes

Los participantes fueron 12 adultos universitarios sanos (seis hombres y seis mujeres), diestros, de entre 20 y 32 años de edad (media: $27 \pm 3,2$ años), sin antecedentes de enfermedades neurológicas o psiquiátricas, con vista normal o corregida, activos y funcionalmente independientes. Todos los participantes firmaron una forma de consentimiento.

Estímulos

Los participantes observaron la pantalla de un ordenador que mostraba 25 imágenes dispuestas en una matriz de cinco renglones por cinco columnas (Fig. 1). Para facilitar su discriminación, las imágenes se presentaron sobre fondo negro, su dimensión se ajustó a 4×4 cm y se resaltó en la parte superior un letrero con su descripción.

Tabla I. Amplitud media (μV) de 11 participantes en las dos condiciones de los estímulos frecuentes e infrecuentes en los electrodos con mayor actividad.

Estímulo	Media (desviación estándar)		
	Fz	Cz	Pz
Frecuente	2,71 (3,21)	3,93 (2,80)	5,46 (3,68)
Infrecuente	6,04 (3,81)	8,85 (3,54)	10,36 (4,40)

Tabla II. Amplitud (μV) individual en la derivación Pz de los 11 participantes en la modalidad de selección libre.

Sujetos	Estímulos infrecuentes		Estímulos frecuentes	
	Amplitud (μV)	Latencia (ms)	Amplitud (μV)	Latencia (ms)
1	16.951	414,1	9.119	304,7
2	11.621	347,7	7.392	320,3
3	6.662	339,9	2.937	250,0
4	2.194	382,8	-0,925	250,0
5	8.474	375,0	0,396	378,9
6	1.435	457,0	-0,222	457,0
7	8.528	371,1	-0,312	355,5
8	19.411	343,8	6.877	253,9
9	12.741	476,6	8.415	250,0
10	12.735	398,4	7.513	343,8
11	6.860	480,5	3.526	257,8

Los estímulos consistieron en intensificaciones de cada renglón y cada columna de la matriz, presentados en una secuencia aleatoria, con una duración de 500 ms e intervalos de 600 a 800 ms entre una intensificación y otra. Las intensificaciones consistieron en cambios fácilmente detectables del fondo negro a blanco del renglón/columna en cuestión, mientras que el resto permaneció igual. Cada renglón/columna se intensificó de manera que ninguno se repitiera y se abarcaran todos los elementos de la matriz (un ensayo). Al término de cada ensayo (10 intensificaciones), la matriz permaneció sin intensificar por un período de 2.500 ms antes de comenzar nuevamente. Por cada ensayo cada imagen se intensificó sólo en dos ocasiones, una por el renglón y una por la columna que la contenía. De lo anterior se infiere que si una imagen se selecciona como blanco, la probabilidad de intensificarse es del 20% (2/10) y el 80% restante (8/10) para las demás. Con base en este criterio, la imagen blanco se consideró como infrecuente y el resto como frecuentes. Las series de intensificaciones a través de los ensayos constituyen una secuencia *oddball* con la que se espera producir el componente P300 [16,18].

Procedimiento

El estudio consistió en el registro de la actividad electroencefalográfica relacionada con eventos en dos modalidades de selección: dirigida y libre. Ambas selecciones se realizaron en una misma sesión, con una selección previa de entrenamiento para familiarizar al participante con las imágenes y para verificar la ejecución de la tarea. A los participantes se les pidió atender sólo a una imagen blanco y contar mentalmente el número de veces que se intensificaba tanto el renglón como la columna que la contenían y que, a su vez, ignoraran el resto de las intensificaciones. Las imágenes atendidas fueron la asignada por el investigador en la modalidad dirigida y cualquier otra imagen seleccionada por el participante para la modalidad libre. En esta última modalidad se solicitó a los participantes que la selección representara a una persona, un estado de ánimo o una necesidad que quisieran

comunicar; ésta se confirmó mediante un formulario en la que describieron la posición y el contenido de dicha imagen. Los datos del formulario se utilizaron en el análisis de identificación.

Se realizaron cuatro series de 15 ensayos por modalidad con períodos de descanso de tres minutos. En la modalidad dirigida la imagen asignada fue la que representa un par de 'zapatos', y para la modalidad libre, las imágenes seleccionadas por los participantes.

Registro electrofisiológico

Los participantes se sentaron en una silla confortable situada dentro de una cámara electromagnética aislada, a 1 m de distancia del ordenador donde se presentaron los estímulos. La actividad electroencefalográfica se registró con una gorra de 32 electrodos (Electrocap Internacional, EE. UU.), los cuales se conectaron a los lóbulos de las orejas y cuya impedancia se mantuvo por debajo de los 5 k Ω . Se emplearon dos electrodos adicionales para registrar la actividad ocular (EOG) vertical mediante un canal bipolar. Los electrodos que recogían la actividad EOG se situaron 1 cm por encima y por debajo en el canto externo del ojo izquierdo registrado.

Se utilizó un convertidor analogodigital de 12 bits de resolución instalado en otro segundo ordenador para la adquisición de las señales cerebrales. La adquisición de las señales estuvo sincronizada con la presentación de los estímulos. Los datos se almacenaron para su análisis posterior empleando el programa SCAN versión 4.2. Se utilizó un sistema de amplificadores de 32 canales con filtros fijos pasa-banda de 0,1-30 Hz. Se muestreó a una frecuencia de 256 Hz con épocas o segmentos de EEG de 1 s de duración, divididas en -100 ms preestímulo y 900 ms postestímulo. El componente P300 se consideró como el pico más positivo en una ventana de análisis de entre 250 y 600 ms. Las épocas se inspeccionaron visualmente para descartar las que contenían artefactos o que estuvieran contaminadas con un movimiento ocular excesivo mayor de 50 μV .

Para identificar las intensificaciones en el registro se asignaron códigos automáticamente en el EEG para cada columna y renglón de la matriz que se intensificaba. Se midió la amplitud media para cada PRE en una ventana predeterminada de -100 a 0 ms para corregir la línea base con el preestímulo. Para obtener los PRE y diferenciar el componente P300 se promediaron las 25 primeras épocas con el mismo código. Posteriormente los datos se procesaron para identificar las imágenes blanco atendidas en ambas modalidades. En todos los participantes, el máximo de amplitud del P300 se midió en 31 canales (en esta fase se excluye el canal ocular). La identificación de las imágenes blanco, que fueron: 'zapatos' en la modalidad dirigida y cualquier otra en la modalidad libre, se determinó mediante la identificación de los PRE producidos por la columna y el renglón con amplitud máxima en el P300, los cuales se compararon con los formularios de la selección de los participantes.

Análisis estadístico

Se obtuvieron grandes promedios de los 12 sujetos en las 31 derivaciones y se seleccionaron aquellos con mayor amplitud. Se midió la amplitud máxima tanto en la columna y en el renglón que contenía la imagen blanco, como en las cuatro columnas y renglones restantes. Con estos datos se realizaron pruebas de análisis de varianza para determinar el efecto del blanco y para analizar la interacción entre el estímulo blanco y el estándar.

RESULTADOS

Los datos de uno de los 12 participantes se descartaron debido a que en su registro había un exceso de artefactos por movimientos oculares que impidieron su análisis.

En los PRE se esperaba encontrar la actividad de las dos categorías o tipos de estímulos: dos correspondientes a la columna y el renglón que contenían la imagen blanco (infrecuentes), y ocho correspondientes a las cuatro columnas y a los cuatro renglones de los estímulos frecuentes. Como se puede observar en la tabla I, los electrodos que mostraron una amplitud mayor en el componente P300 fueron: Cz, Pz y Fz. Las imágenes seleccionadas se identificaron al comparar la amplitud medida en los PRE de cada columna y renglón en el electrodo Pz, el cual mostró una amplitud mayor y que corresponde a lo comunicado por Donchin et al [2] y en los estudios normativos sobre el P300 [18].

En las figuras 2 y 3 se muestran los grandes promedios de un participante, evocados por la imagen 'zapatos' (renglón dos, columna tres) en la mo-

dadidad dirigida y por la imagen seleccionada en la modalidad libre 'sí' (renglón tres, columna cuatro). En estas figuras se pueden observar los P300 producidos en las épocas correspondientes a la intersección de la columna y el renglón donde las imágenes se ubicaban.

La tabla II muestra la amplitud de los ensayos promediados de los PRE obtenidos de cada participante en la modalidad de selección libre.

En ambas modalidades, tanto en la asignada como en la libre, se encontró que todas las intersecciones de los códigos de los PRE correspondían a las intersecciones de las columnas y renglones de las imágenes atendidas.

Se realizaron dos análisis de forma separada: un ANOVA de tres factores para determinar el efecto del estímulo infrecuente: dos modalidades (dirigida, libre) por dos estímulos (frecuente, infrecuente) por tres electrodos (Fz, Cz, Pz) y un ANOVA de dos factores para analizar la interacción entre el estímulo infrecuente y el estímulo frecuente: dos modalidades (dirigida, libre) por tres electrodos (Fz, Cz, Pz).

El ANOVA de tres factores mostró que en las mediciones de la modalidad dirigida la amplitud del componente P300 producido por el estímulo infrecuente tiene un efecto significativo en dos electrodos: Pz, $F_{(1, 21)} = 5.917, p < 0,025$, y Cz, $F_{(1, 21)} = 5.339, p < 0,032$, mientras que los efectos en la modalidad libre son más amplios y son significativos los tres electrodos: Pz, $F_{(1, 21)} = 10,02, p < 0,005$; Cz, $F_{(1, 21)} = 5.210, p < 0,034$, y Fz, $F_{(1, 21)} = 7.708, p < 0,012$. En cuanto a los efectos por modalidad no se observaron efectos significativos. La interacción del estímulo infrecuente fue significativa en los tres electrodos $F_{(3, 40)} = 15.623, p < 0,003$. En el análisis *post hoc* de Tukey (con nivel de significación $p < 0,05$), la interacción mostró que en los PRE producidos por el estímulo infrecuente, el resultado fue significativo para ambas modalidades: dirigida $p < 0,006$ y libre $p < 0,075$. En el análisis *post hoc* de la interacción entre el estímulo infrecuente y el estímulo frecuente, resultó significativo para el estímulo infrecuente $p < 0,0004$.

En ninguno de los análisis se observaron resultados significativos con respecto a la latencia.

DISCUSIÓN

Los resultados en este estudio sugieren que la amplitud del componente P300 refleja claramente el procesamiento de la información proporcionada por los estímulos, lo cual permitió distinguir el estímulo infrecuente del frecuente. Se observó que la mayor amplitud se detectó en los electrodos Pz y Cz, que corresponden a posiciones de la zona centroparietal; de ellos, el más prominente fue en la posición Pz. Estos resultados concuerdan con lo comunicado en numerosos estudios sobre el P300 [17,30]. Con la amplitud medida en la posición Pz se pudieron determinar con acierto las imágenes blanco, tanto la asignada, como la seleccionada libremente, lo cual sugiere que la amplitud del componente P300 es una señal que en un siste-

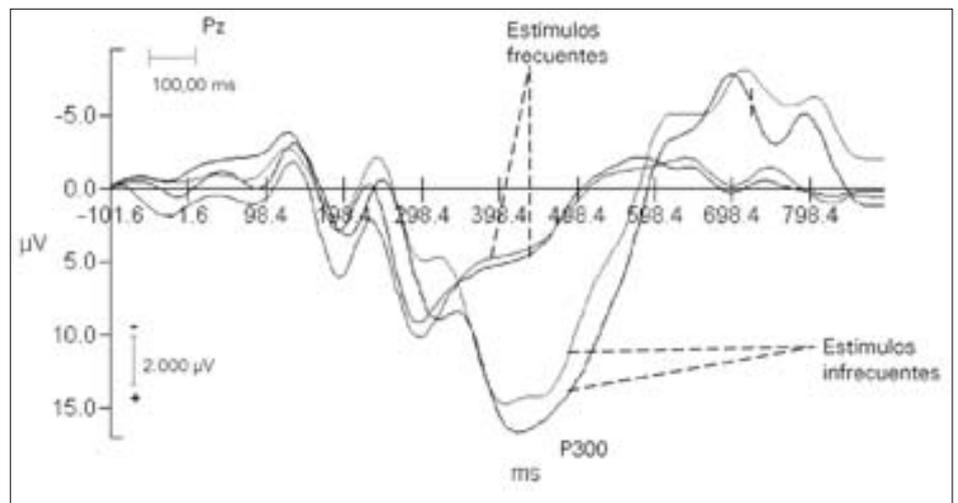


Figura 2. Ejemplo de potenciales relacionados a eventos de un sujeto obtenidos en la columna y el renglón de la imagen blanco 'zapatos' y de las columnas y renglones restantes en la modalidad asignada.

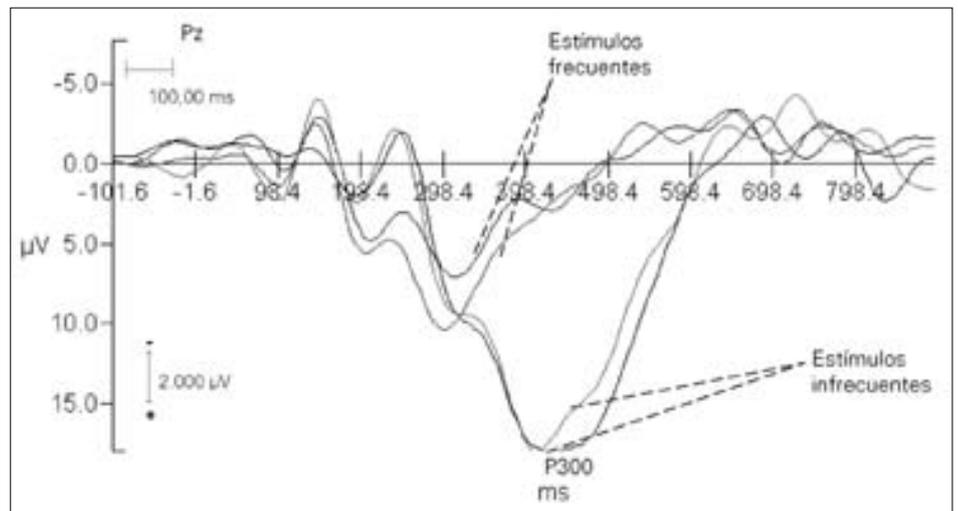


Figura 3. Ejemplo de potenciales relacionados con eventos de un sujeto obtenidos en la columna y el renglón de la imagen blanco seleccionada y de las columnas y renglones restantes en la modalidad libre.

ma de tipo BCI puede interpretarse como portadora de la intención del participante y que podría emplearse con fines de comunicación. Estos resultados, a diferencia de otros estudios con matrices [2,16,20,31,32], se obtuvieron utilizando por primera vez imágenes como elementos de la matriz, en lugar de letras y otro tipo de símbolos. Con este paradigma se amplían las posibilidades de proporcionar información mediante matrices al adaptar el paradigma de BCI para obtener el componente P300.

Los electrodos con amplitud máxima variaron de una condición a otra; en la primera modalidad, el investigador proporcionó la imagen blanco, pero, en la segunda, cada participante la seleccionó con la consigna de que fuera algo representativo y personal, lo que implica acciones voluntarias. El resultado fue que, en esta modalidad, en la posición Fz también se registran máximos de amplitud, a pesar de que la matriz permaneciera sin cambios probablemente porque la actividad observada en esta posición frontal se relaciona con el procesamiento de estímulos que representan necesidades personales [33]. Por ello podría ser útil incluir más de una posición para colocar electrodos y registrar una señal fiable con la cual mejorar su procesamiento [26,27].

Como señalan Allison et al, el número de elementos en una matriz es un aspecto importante a considerar ya que su cantidad y su disposición están íntimamente ligadas a la probabilidad de ocurrencia del estímulo infrecuente. Ésta debe mantenerse entre el 15 y el 20% [17,20], ya que la información que el estímulo proporcione tiene implicaciones en cuanto al esfuerzo requerido para comunicar una idea, por ejemplo, deletreando palabra por palabra. Si bien utilizar imágenes reduce o hace menos flexible la comunicación, sí representa una forma abreviada de construcción de ideas. Como señalan Donchin et al [2], esto podría solucionarse en parte poniendo a disposición de los usuarios varias matrices que cuenten con elementos significativos para la comunicación rutinaria además de contar con una matriz del alfabeto, ya que, como mencionan otros autores [10,13,24, 25], es recomendable que los elementos con los que interacciona el usuario, ya sean matrices u otros paradigmas, estén más relacionados con su entorno inmediato y su estilo de vida.

El desarrollo de un sistema como la BCI aún tiene mucho

por explorar. Como se mencionó en la introducción, las investigaciones han considerado principalmente el procesamiento de las señales y recientemente se empiezan a explorar los factores humanos que repercuten en el sistema. Esperamos que los resultados obtenidos con el paradigma de imágenes sirvan para mejorar el diseño de una BCI.

En esta misma línea, se ha comprobado que el uso de imágenes es efectivo en otras áreas de la rehabilitación, como es en el caso de personas con trastornos del lenguaje, o para el entrenamiento lingüístico en personas con problemas graves de comprensión y de expresión, tal como ocurre en los casos de padecimientos como autismo o en trastornos motrices como parálisis cerebral infantil. Por otra parte, esta opción considera la posibilidad de ser accesible a personas analfabetas y podría ser útil en personas que no puedan mantener la atención en los estímulos por tiempos prolongados, como en el caso de los niños [18,30]. Referente a esta última población, actualmente estamos evaluando la posibilidad de emplear esta misma matriz.

BIBLIOGRAFÍA

- Birbaumer N, Ghanayim N, Hinterberg T, Iversen I, Kotchoubey B, Kübler A, et al. A spelling device for the paralyzed. *Nature* 1999; 398: 297-8.
- Donchin E, Spencer KM, Wijesinghe R. The mental prosthesis: assessing the speed of a P300-based brain-computer interface. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2000; 8: 174-9.
- Kennedy PR, Bakay RAE, Moore MM, Adams K, Goldwithe J. Direct control of a computer from the human central nervous system. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2000; 8: 198-202.
- Middendorf M, McMillan G, Calhoun G, Jones KS. Brain-computer interfaces based on steady-stare visual-evoked response. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2000; 8: 211-4.
- Pfurtscheller G, Flotzinger D, Kalcher J. Brain-computer interface: a new communication device for handicapped persons. *Journal of Microcomputer Applications* 1993; 16: 293-9.
- Sutter EE. The brain response interface: communication through visually induced electrical brain responses. *Journal of Microcomputer Applications* 1992; 15: 31-45.
- Vidal JJ. Real-time detection of brain events in EEG. *Proceedings of the IEEE* 1977; 65: 157-80.
- Wolpaw JR, McFarland DJ, Vaughan TM. Brain-computer interface research at the Wadsworth Center. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2000; 8: 222-6.
- Wolpaw JR, Birbaumer N, Heetderks WJ, McFarland DJ, Peckham PH, Schalk G, et al. Brain-computer interface technology: a review of the first international meeting. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2000; 8: 164-73.
- Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clin Neurophysiol* 2002; 113: 767-91.
- Mason SG, Birch G. A general framework for brain-computer interface design. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2003; 11: 70-85.
- Millán JDR. Brain-computer interfaces. In Arbib MA, ed. *Handbook of brain theory and neural networks*, 2 ed. Cambridge: MIT Press; 2002. p. 1-14.
- Moore MM. Real-world applications for brain-computer interface technology. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2003; 11: 162-5.
- Santana D, Ramírez M, Ostrosky-Solís F. Novedades en tecnología de la rehabilitación: una revisión acerca de la interfaz cerebro-computadora. *Rev Neurol* 2004; 39: 447-50.
- Schalk G, McFarland DJ, Hinterberger T, Birbaumer N, Wolpaw JR. BCI 2000: a general-purpose brain-computer interface (BCI) system. *IEEE Trans Biomed Eng* 2004; 51: 1034-43.
- Farwell LA, Donchin E. Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1988; 70: 510-23.
- Donchin E, Karis D, Bashore TR, Coles MGH, Gratton G. Cognitive psychophysiology and human information processing. In Coles MGH, Donchin E, eds. *Psychophysiology: systems, processes, and applications*. New York: Guilford Press; 1986. p. 244-67.
- Polich J. Clinical application of the P300 event-related brain potential. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2004; 15: 133-61.
- Pritchard WS. Psychophysiology of P300. *Psychol Bull* 1981; 89: 506-40.
- Allison BZ, Pineda JA. ERP's evoked by different matrix sizes: implications for a brain-computer interface (BCI) system. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2003; 11: 110-3.
- Bayliss JD, Ballard DH. A virtual reality tested for brain-computer interface research. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2000; 8: 188-90.
- Polikoff J, Bunnell HT, Borkowski W. Toward a P300-based computer interface. *Proceedings of RESNA 95 Annual Conference*. Arlington: Resnapress; 1995. p. 178-80.
- Blankertz B, Müller KR, Curio G, Vaughan TM, Schalk G, Wolpaw JR, et al. The BCI competition 2003: progress and perspectives in detection and discrimination of EEG single trials. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2004; 51: 1044-51.
- Moore MM, Kennedy PR. Human factors issues in the neural signals direct brain-computer interface. *Proceedings of the 4th International ACM Conference on Assistive Technologies ASSETS*. Arlington: ACM Press; 2000.
- Moshkina L, Moore MM. Towards affective interfaces for neural signal users. *Workshop on Attitudes, Personality and Emotions in User-Adapted Interaction, in conjunction with User Adaptation and Modeling Conference*; 2001.
- Bostanov V. BCI competition 2003-data set Ib and IIB: feature extraction from event-related brain potentials with the continuous wavelet transform and the t-value scalogram. *IEEE Trans Biomed Eng* 2004; 51: 1057-61.
- Xu N, Gao X, Hong B, Miao X, Gao S, Yang F. BCI competition 2003-data set IIB: enhancing P300 wave detection using ICA-based subspace projections for BCI applications. *IEEE Trans Biomed Eng* 2004; 51: 1067-72.
- Kaper M, Ritter H. Generalizing to new subjects in brain-computer interfacing. *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE*. San Francisco: EMBS Conference on Neural Engineering; 2004. p. 4363-6.
- Lin ZL, Zhang CS. Enhancing classification by perceptual characteristic for the P300 speller paradigm. *Proceedings of the 2nd International IEEE*. San Francisco: EMBS Conference on Neural Engineering; 2005.
- Hillyard SA, Kutas M. Electrophysiology of cognitive processing. *Annu Rev Psychol* 1983; 3: 33-61.
- Vaughan TM, Wolpaw JR, Donchin E. EEG-based communication: prospects and problems. *IEEE Trans Rehabil Eng* 1996; 4: 425-30.
- Serby H, Yom-Tov E, Inbar GF. An improved P300-based brain-computer interface. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2005; 13: 89-97.
- Stuss DT, Levine B. Adult clinical neuropsychology, lessons from studies of the frontal lobes. *Annual Review of Psychology* 2002; 53: 401-3.

COMUNICACIÓN BASADA EN EL COMPONENTE P300 DE LOS POTENCIALES RELACIONADOS CON EVENTOS: PROPUESTA DE UNA MATRIZ CON IMÁGENES

Resumen. Introducción. Desde hace más de dos décadas diversos grupos de investigación han intentado desarrollar un dispositivo denominado 'interfaz cerebro-computadora' (BCI), para que puedan utilizarla personas que sufren de alteraciones motrices graves tales como el síndrome de locked in, mediante el uso de su actividad electroencefalográfica registrada mientras son estimulados visualmente. Objetivo. Obtener el componente P300 producido por intensificaciones de imágenes dispuestas en una matriz en un paradigma de tipo oddball, en dos modalidades de selección: dirigida y libre. Sujetos y métodos. Participaron 12 voluntarios sanos que fueron visualmente estimulados con una matriz de 5×5 imágenes con fines de comunicación, mientras se registraron sus potenciales relacionados con eventos en tres derivaciones (Fz, Cz y Pz). Se realizaron análisis fuera de línea para obtener el componente P300 producido por las intensificaciones aleatorias por renglón y por columna que contenían las imágenes blanco. Resultados. En ambas modalidades (dirigida y libre), todos los participantes generaron de forma fiable el componente P300. Las selecciones se confirmaron a través de la comparación de los P300 en el renglón y la columna de cada imagen blanco. En la modalidad libre, se observó una mayor activación incluyendo las áreas frontales. En la latencia, no se observaron diferencias significativas. Conclusión. Se identificaron las selecciones de la matriz de 5×5 de todos los participantes mediante los P300 producidos. En el presente estudio, el empleo de imágenes en lugar de letras puede incrementar la tasa de comunicación en una BCI basada en el componente P300. [REV NEUROL 2006; 43: 653-8]

Palabras clave. Comunicación. Interfaz cerebro-computadora (BCI). Matriz de imagen. Oddball. P300. Potenciales relacionados con eventos (PRE).

COMUNICAÇÃO BASEADA NA COMPONENTE P300 DOS POTENCIAIS RELACIONADOS COM EVENTOS: PROPOSTA DE UMA MATRIZ COM IMAGENS

Resumo. Introdução. Desde há mais de duas décadas, diversos grupos de investigadores tentam desenvolver um dispositivo designado por 'interface cérebro-computador' (BCI) a ser utilizado em indivíduos com incapacidades motoras graves, tais como a síndrome de locked in, através do registo da actividade electroencefalográfica durante estimulação visual. Objectivo. Obter uma componente P300 desencadeada pela intensificação de imagens dispostas numa matriz num paradigma oddball em dois modos de selecção: assigned e free. Sujeitos e métodos. Participaram neste estudo 12 voluntários sãos os quais foram estimulados visualmente com uma matriz de 5×5 imagens para fins de comunicação, procedendo-se ao registo dos potenciais relacionados com eventos em três derivações (Fz, Cz e Pz). Realizaram-se avaliações off-line para determinar a componente P300, com target images intensificadas aleatoriamente por colunas ou filas. Resultados. Em ambas as modalidades (assigned e free) todos os participantes geraram uma componente P300 válida. A confirmação das selecções foi feita comparando a P300 obtida quando cada imagem, fila e coluna coincidiam. No modo free observou-se uma activação mais generalizada registada inclusive nas derivações frontais. Não foram encontradas diferenças significativas na latência da P300. Conclusão. Em todos os voluntários a componente P300 desencadeada permite a identificação das imagens seleccionadas na matriz 5×5 . Neste estudo, é provável que a utilização de desenhos como forma de representação conceptual, em vez de letras pode conduzir a uma comunicação mais eficaz no sentido de estabelecer uma BCI baseada na análise da componente P300. [REV NEUROL 2006; 43: 653-8]

Palavras chave. Comunicação. Interface cérebro-computador (BCI). Matriz de imagem. Oddball. P300. Potenciais relacionados com eventos (PRE).