

Evaluación de los déficit atencionales secundarios a traumatismos craneoencefálicos: aplicación de la cartografía cerebral al diagnóstico neuropsicológico

Electrophysiological measures of attentional disorders secondary to traumatic brain injury: applying brain mapping to neuropsychological assessment

Unidad de Cartografía Cerebral
Instituto Pluridisciplinar
Universidad Complutense de Madrid

Barceló F.
Muñoz Céspedes J. M.
Pozo M. A.
Rubia F. J.

RESUMEN

Estudios recientes han puesto de manifiesto las limitaciones de las pruebas diagnósticas actuales para evaluar con precisión la disfunción atencional secundaria a una lesión traumática cerebral. Las pruebas neuropsicológicas al uso no ofrecen información que permita relacionar los datos clínicos obtenidos con: a) los substratos neurofisiológicos afectados por la lesión, y b) los modelos cognitivos interpretativos de la disfunción atencional. En este trabajo se han empleado los potenciales evocados cerebrales para mejorar la capacidad diagnóstica de tres pruebas neuropsicológicas clásicas que exploran diferentes componentes de la atención, a saber, el test de clasificación de cartas de Wisconsin (WCST), la tarea de STROOP y el *Paced Auditory Serial Addition Task* (PASAT). Estas pruebas fueron administradas a una muestra de 12 pacientes con daño cerebral traumático en áreas frontales y no frontales, y a una muestra control normal ($n = 12$). Los resultados indican que la cartografía cerebral de los potenciales evocados aporta una información muy valiosa que complementa y mejora el examen neuropsicológico convencional. Los datos cartográficos aportaron información sobre la naturaleza de las anomalías clínicas y ayudaron a interpretar el origen de las deficiencias atencionales de los pacientes.

Palabras clave: Daño cerebral frontal, atención, evaluación neuropsicológica, potenciales evocados cerebrales.

Barceló F, Muñoz Céspedes J M, Pozo M A, Rubia F J
Evaluación de los déficit atencionales secundarios a traumatismos craneoencefálicos: aplicación de la cartografía cerebral al diagnóstico neuropsicológico
Mapfre Medicina, 1999; 10: 124-133

ABSTRACT

Recent studies have revealed limitations in many of the tests customarily used to assess attentional disorders resulting from a traumatic brain injury (TBI). Existing neuropsychological tests do not offer information about the way clinical data relate to: a) the neurophysiological substrates affected by the lesion; b) current cognitive models which explain those attentional deficits. In this study, event-related potentials (ERP) were recorded to improve the validity and specificity of three neuropsychological tests commonly used in the assessment of attention, namely, the Wisconsin Card Sorting Test (WCST), the STROOP task, and the Paced Auditory Serial Addition Task (PASAT). The three tests were administered to a sample of 12 patients with TBI in frontal and non-frontal areas, as well as to 12 normal controls. The results indicate that the topographic information obtained from the event-related potentials supply valuable information which may complement and improve the standard neuropsychological evaluation. Topographic maps of brain electrical activation yielded information about the nature of the clinical disorders and helped interpret the temporal course of the attentional disorders in patients.

Key words: Frontal brain damage, attention, neuropsychological assessment, event-related potentials.

Barceló F, Muñoz Céspedes J M, Pozo M A, Rubia F J
Electrophysiological measures of attentional disorders secondary to traumatic brain injury: applying brain mapping to neuropsychological assessment
Mapfre Medicina, 1999; 10: 124-133

Correspondencia:

Dr. Francisco Barceló
Departamento de Psicobiología
Facultad de Psicología
Universidad Complutense
28223 Somosaguas (Madrid)
E-mail: fbarcelo@psi.ucm.es

Fecha de recepción: 10 de febrero de 1999

INTRODUCCIÓN

Las personas que han sufrido un traumatismo craneoencefálico (TCE), con frecuencia tienen problemas para mantener la concentración en una actividad durante un período prolongado, son muy vulnerables a la distracción y, a veces, se muestran incapaces de inhibir respuestas inoportunas a personas o estímulos de su entorno. Las tareas que exigen un esfuerzo mental considerable como conducir un vehículo pueden resultar imposibles de realizar, e incluso aquellas actividades que antes eran fáciles y casi automáticas demandan ahora un esfuerzo adicional que las hace menos atractivas, tal como sucede por ejemplo con ver un programa de televisión. Por lo tanto, las secuelas de una lesión cerebral traumática menoscaban no sólo el desempeño profesional, sino también la realización de las principales actividades cotidianas.

Los problemas anteriormente descritos pueden ser globalmente referidos como disfunciones atencionales y son muy frecuentes en pacientes con traumatismo craneoencefálico incluso varios años después del accidente (1). Algunos estudios epidemiológicos refieren que entre el 60% y el 80% de las personas con un traumatismo craneoencefálico muestran déficit atencionales a largo plazo (2, 3). Este hallazgo clínico se comprende mejor si se recuerda tanto la neurofisiología de la atención como la fisiopatología de este tipo de traumatismo, en donde los lóbulos frontales desempeñan un papel esencial. Conviene recordar que las lesiones cerebrales traumáticas cerradas suelen caracterizarse por contusiones y hemorragias en las áreas prefrontales y por un daño axonal difuso que desconecta fibras ascendentes implicadas en los mecanismos de la atención (4, 5). Además es conocido que las regiones cerebrales más vulnerables a lesiones multifocales o difusas como son los traumatismos craneoencefálicos cerrados comparten las siguientes características:

- a) mayor riqueza de sus conexiones,
- b) tienen un desarrollo ontogenético y filogenético más reciente,
- c) realizan funciones menos ruinarías y más complejas.

Estas cualidades caracterizan a la corteza prefrontal, lo que explica que se encuentren déficit similares en pacientes con extirpación de los lóbulos frontales y en afectados por lesiones axonales difusas (6).

A pesar de todo ello, la evaluación y el diagnóstico de los déficit atencionales continúa planteando problemas en los ámbitos clínico, forense

y experimental. Uno de los motivos es la ausencia de una definición satisfactoria de los déficit atencionales derivados de una lesión del lóbulo frontal (7). Otras limitaciones dependen tanto de problemas de naturaleza conceptual como de cuestiones metodológicas y técnicas (8). Existe una carencia de protocolos válidos de examen (tareas) que permitan medir de forma objetiva el deterioro conductual, cognitivo y fisiológico de la atención. La mayoría de los tests existentes están anticuados y no incorporan los descubrimientos recientes sobre fisiología y anatomía de la atención, ni los modelos actuales sobre función atencional (9, 10). Y es que para poder relacionar la atención con sus concomitantes fisiológicos hay que descomponer aquélla en sub-operaciones más simples (11). A este fin han contribuido las técnicas de neuroimagen y sobre todo aquellas que permiten examinar los cambios rápidos en la actividad cerebral. Éste es el caso de la electroencefalografía (EEG) y de su derivada, la técnica de los potenciales evocados (PE) cerebrales. Esta técnica ha demostrado su utilidad para evaluar la integridad del sistema atencional frontal durante la ejecución de tareas neuropsicológicas especialmente diseñadas (12-15).

La técnica de los potenciales evocados aporta un análisis electrofisiológico minucioso a la evaluación neuropsicológica convencional. No sólo permite extraer información sobre la ejecución global de cada una de las tareas (por ejemplo, tiempo empleado, número total de errores, etc.), sino que también informa de los subprocesos en los que se descompone la prueba. Normalmente cada elemento de una prueba neuropsicológica es procesado en fracciones de segundo. Por ejemplo, es posible clasificar una carta del WCST en menos de un segundo (12), y también se nombra el color de un elemento de la lista de interferencia del test de STROOP en menos de un segundo. Por lo tanto, el potencial evocado ofrece información en tiempo real sobre los cambios fisiológicos cerebrales que preceden a cada una de las respuestas, tanto de las correctas como de las incorrectas.

En relación con los traumatismos craneoencefálicos, los potenciales evocados han sido utilizados hasta la fecha para predecir el curso clínico de pacientes con traumatismo muy severo, por ejemplo, aquellos que presentan estados mínimos de conciencia (16). En el caso de traumatismos leves y moderados, los potenciales evocados se han empleado para objetivar la existencia de déficit en pacientes con quejas de disminución de rendimiento neuropsicológico (14, 17, 18). Este trabajo aporta una novedad al área, por cuanto se mues-

tran las ventajas que ofrece la técnica de los potenciales evocados cognitivos aplicadas al diagnóstico de los déficit atencionales en los traumatismos craneoencefálicos y confirman su utilidad para detectar la existencia de déficit atencionales tras un daño cerebral. Los resultados de este trabajo se pueden agrupar en tres partes:

1. Examen neuropsicológico convencional de los déficit atencionales y comparación con la ejecución en las nuevas pruebas psicofisiológicas. En este apartado se hace una descripción de la muestra empleada y se evalúa la correlación entre las puntuaciones en ambos tipos de pruebas.

2. Contribución de la cartografía cerebral al examen neuropsicológico. En este epígrafe se describen los resultados de la cartografía de los potenciales evocados sobre los déficit atencionales en cada una de las dimensiones evaluadas. La posibilidad de integrar la conducta, con la fisiología y la anatomía contribuye a establecer la validez de las pruebas neuropsicológicas tradicionales para medir la función frontal.

3. La descripción detallada de la conducta, la anatomía y la fisiología asociada con los procesos atencionales alterados y preservados en pacientes con traumatismos craneoencefálicos permite hacer inferencias que guíen el proceso de reha-

litación. En este apartado se pasa revista, además, a las ventajas y limitaciones de la técnica de los potenciales evocados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestra

La muestra clínica estuvo compuesta inicialmente por 14 personas con traumatismos craneoencefálicos graves y/o moderados, algunos de los cuales habían sido atendidas en el Servicio de Psicología del Centro de Rehabilitación FREMAP en Majadahonda (Madrid). La gravedad de los déficit motores en dos pacientes impidió la ejecución de tres de las tareas, por lo que sus datos no han sido incluidos en los análisis de grupo (Tabla I). Los criterios de inclusión fueron: *a)* una puntuación en la escala de Glasgow igual o inferior a 12, y *b)* al menos un año transcurrido desde el accidente. La mayoría de los pacientes (75%) reflejaba un daño cerebral difuso según el informe de neurorradiodiagnóstico (tomografía computarizada o resonancia magnética). La muestra control la formaban 12 personas con edad, sexo y nivel edu-

TABLA I. Características epidemiológicas y clínicas de la muestra

#	Id	Sexo	Edad	Nivel educativo	Escala Glasgow	Amnesia postraumática	Meses/ accidente	Neuroimagen
1	APM	V	34	1	5	45	23	Difuso
2	RCM	V	26	1	6	45	17	Frontal
3	JGA	M	49	1	6	99	42	Frontal
4	AIB	V	16	3	6	14	22	Difuso
5	CRT	M	49	1	3	99	18	Difuso
6	MTV	M	27	3	5	45	26	Difuso
7	JLG	V	35	2	6	60	96	Difuso
8	JEG	V	25	2	4	99	23	Difuso
9	MAH	V	24	3	5	—	40	Difuso
10	LC	V	56	1	—	—	11	No frontal
11	JSL	V	21	2	3	20	7	Difuso
12	CPS	M	18	2	9	10	6	Difuso
Media (pacientes) =		8 V	31,7	1,8	5,3	53,6	27,6	—
SD =			13,2	0,8	1,7	35,0	24,3	—
Media (controles) =		6 V	32,5	1,5	—	—	—	—
SD =			11,3	0,5	—	—	—	—

cativo similares a los de la muestra clínica. Los criterios de exclusión de la muestra control fueron: a) por abuso de drogas o consumo alcohólico reciente; b) diagnóstico en ejes I y II del DSM-IV; c) trastorno neurológico o trauma cerebral; d) consumo reciente de psicofármacos; y e) por preferencia manual izquierda o mixta. En la Tabla I se constata que no existe una diferencia significativa en la edad o el nivel educativo de las dos muestras.

Material

En la evaluación neuropsicológica se emplearon las siguientes pruebas (3):

a) El test de STROOP para detectar la presencia de déficit de atención focalizada y la capacidad de inhibir una respuesta automática (19). Se determinó en todos los casos el tiempo empleado en la realización de cada una de las pruebas.

b) El PASAT (*Paced Auditory Serial Addition Task*), para medir la capacidad de dividir la atención entre dos tareas (20, 21). En nuestro estudio empleamos dos velocidades de presentación (1,6 y 2,4 segundos) y se registró el número de aciertos, errores y omisiones en cada caso.

c) El test de clasificación de cartas de Wisconsin (WCST) es una prueba muy conocida para evaluar el razonamiento abstracto y la flexibilidad atencional (19). Entre los diferentes indicadores clínicos se consideraron, entre otros, el número de aciertos y el número de categorías completadas, el porcentaje de errores de perseveración y de errores no perseverativos y el número de ensayos necesarios para completar la primera categoría.

El examen electroencefalográfico (EEG) se realizó en una sala con aislamiento eléctrico y con una iluminación tenue (5 ± 1 lux). Para los registros se emplearon electrodos de estaño montados en un gorro elástico tipo Electrocap en las posiciones F7, Fz, F8, T7, Cz, T8, P7, P3, PO3, Pz, PO4, P4, P8, O1 y O2 del Sistema Internacional 10/20. Los electrodos activos fueron referidos al promedio de mastoides ligados. El electrooculograma (EOG) fue registrado bipolarmente mediante una derivación oblicua desde el canto superior del ojo izquierdo hasta el canto exterior del ojo derecho. El EEG fue amplificado mediante un sistema SYNAMPs con filtros de pasa-banda entre 0,1 y 35 Hz, y con una pendiente en la frecuencia de corte de 12 dB. La señal fue digitalizada a tiempo real a una velocidad de 250 muestras por segundo y almacenada en disco óptico para su posterior análisis y promediado.

Procedimiento

La evaluación neuropsicológica convencional precedió en todos los casos al examen neurofisiológico mediante potenciales evocados. El examen de potenciales evocados se realizó durante la ejecución de las adaptaciones computarizadas de las tareas arriba descritas y siguió las directrices expuestas en nuestros estudios previos (12, 13). Los tiempos entre estímulos y entre ensayos de las tareas STROOP y PASAT se equipararon a los de la tarea WCST para poder comparar las tareas entre sí. Los potenciales evocados se midieron durante 1.400 milisegundos en tomo a cada estímulo físico, con una línea base de 200 milisegundos previa al estímulo. Se computaron dos promedios en el WCST (los dos ensayos iniciales y finales de cada serie); tres promedios en la tarea STROOP (color, palabra e interferencia) y tres promedios para el PASAT (rápida, lenta y control). Los ensayos con respuestas incorrectas, con artefactos musculares, saturación del amplificador, y cuando el examen electroencefálico superó el límite de $\pm 75 \mu V$ fueron excluidos de los promedios. Sólo el 20% de los ensayos fue rechazado por estas causas. Cada potencial evocado resultó de promediar unos 45 ensayos (rango de 35 a 68), siendo este promedio igual para cada una de las tres tareas empleadas. Antes de cada registro electroencefalográfico el paciente era informado del propósito del estudio, así como de las instrucciones de cada una de las tareas. El tiempo de ejecución de cada una de las tareas rondó los 15 minutos, con una duración total de la sesión de registro de 45 minutos.

Dado el tamaño reducido de las muestras y el elevado número de pruebas empleadas, se optó por realizar contrastes no paramétricos entre los grupos mediante el estadístico U de Mann-Whitney. En todos los casos se adoptó un nivel de significación de $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación neuropsicológica convencional

En la Tabla II se resumen las diferencias en la ejecución de ambas muestras en las tareas neuropsicológicas convencionales empleadas. Así pues, los pacientes con traumatismo craneoencefálico realizan significativamente peor que los controles todas las tareas. Sin embargo, un análisis más minucioso nos indica que esas diferencias no son siempre atribuibles a una disfunción atencio-

TABLA II. Puntuaciones promedio para el grupo de pacientes con traumatismo craneoencefálico y el grupo control en cada uno de los índices de las pruebas neuropsicológicas convencionales

	STROOP (seg)			PASAT 2.4			PASAT 1.6			WCST	%		%		Fallos
	Pal.	Col.	Int.	Ac.	Err.	Om.	Ac.	Err.	Om.	N.º ens.	Cat.	Ac.	Er.p	Er.np	cat.
Media (pacientes)	57,1†	80,5‡	126‡	27,3‡	9,9	22,8‡	21,7†	4,7	33,5‡	106,4‡	4,2†	66,5‡	22,1†	11,4†	0,9
SD	13,3	17,0	35,1	14,1	5,9	12,2	9,9	23,4	2,2	20,1	16,7	8,1	1,2		
Media (controles)	40,8	58,1	91,4	45,5	6,4	9,1	33,8	4,7	21,6	78,8	6,0	87,4	7,6	5,6	0,3
SD	4,5	8,6	16,2	8,3	4,0	5,3	11,3	2,9	9,4	13,6	0,0	5,0	2,4	3,1	0,6

† $P < 0,05$; ‡ $P < 0,01$

Pal.: palabras; Col.: color; Int.: interferencia; Ac.: aciertos; Err.: errores; Om.: omisiones; N.º ens.: número de ensayos; Cat.: categorías conseguidas; % Ac.: porcentaje de aciertos; % Er.p.: porcentaje de errores perseverativos; % Er.np.: porcentaje de errores no perseverativos; Fallos cat.: fallos en mantener la categoría

nal. Por ejemplo, los pacientes tardan significativamente más tiempo en leer todas las subpruebas del test de STROOP y no sólo la condición de interferencia. Este resultado sugiere más una reducción de la velocidad general de procesamiento de información que un déficit de atención específico. En realidad, al obtener el efecto STROOP restando los tiempos de lectura de la condición color de los de la condición interferencia, se observa que no existen diferencias significativas entre los grupos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores en pacientes con lesiones frontales (22-25). Así por ejemplo, Vendrell *et al.* (24) mostraron que las lesiones frontales causan un enlentecimiento general que no es mayor en la condición de interferencia. Estos autores atribuyen el enlentecimiento global al daño difuso en la sustancia blanca y estructuras subcorticales y no tanto a lesiones corticales frontales. Por lo tanto, los tiempos de respuesta al test de STROOP son sensibles a un enlentecimiento general asociado con el traumatismo craneoencefálico pero no reflejan un déficit atencional específico salvo si aparece un aumento en el número de errores.

Las puntuaciones en el PASAT fueron significativamente peores en el grupo clínico, si bien estas diferencias no indican necesariamente un déficit en la atención dividida. En ambas subpruebas, los pacientes con traumatismo craneoencefálico tienen significativamente menos aciertos y cometen más omisiones que los controles. Sin embargo, ambos grupos no se diferencian en el número de errores. Todo ello parece sugerir que los pacientes calculan bien, pero más lentamente que los controles. Estos resultados son coherentes con los de Spikman *et al.* (23) y Ferraro (26), quienes concluyeron que a partir del resultado cuantitativo no es posible decir si las diferencias son debi-

das a un enlentecimiento general o a un déficit atencional específico. Por lo tanto, se hace necesario un análisis más cualitativo del patrón de respuesta de los sujetos para discriminar si la disminución del rendimiento es resultado de limitaciones en la atención sostenida, de una reducción general de la velocidad de procesamiento de la información, o de una disminución de la capacidad para inhibir la interferencia de la información interna.

El WCST es quizás la prueba más sensible de todas las empleadas para detectar un déficit atencional específico en los pacientes con traumatismo craneoencefálico. En efecto, los pacientes obtuvieron peor puntuación que los controles en cinco de los seis indicadores WCST empleados, si bien es notoria la enorme variabilidad mostrada por estos pacientes (Tabla II). El resultado es acorde con el de numerosos estudios previos (23, 27) y ha sido tomado por algunos como base para afirmar que los traumatismos craneoencefálicos van asociados con una clínica frontal (28).

En general, los resultados aquí obtenidos son similares a los ofrecidos por otros autores y reflejan algunas de las deficiencias de los pacientes con traumatismo craneoencefálico en la ejecución de tests tradicionalmente utilizados para examinar la atención. Sin embargo, se constata que con la excepción del WCSTI una peor puntuación en estos tests no es un indicador suficiente de la presencia de un déficit atencional específico, ya que dicha puntuación también podría ser atribuible a un enlentecimiento generalizado.

Evaluación mediante cartografía cerebral

Las pruebas neuropsicológicas fueron adaptadas para su administración mediante ordenador

durante el registro de los potenciales evocados cerebrales. Tal como se desprende de los resultados presentados en la Tabla III, dichas adaptaciones reflejaron fielmente las diferencias en la ejecución de las pruebas originales entre el grupo de pacientes con traumatismo craneoencefálico y los controles. A pesar de la clara diferencia en la administración de las adaptaciones, las puntuaciones son tanto o más sensibles que las originales a la hora de diferenciar ambos grupos.

Para interpretar los resultados de la cartografía cerebral, conviene distinguir dos tipos de potencial evocado: *a)* los exógenos, que son sensibles a las propiedades físicas del estímulo; y *b)* los endógenos, que son sensibles a los aspectos cognitivos del procesamiento cerebral. En general, la neuropsicología está más interesada en los componentes tardíos o endógenos, por cuanto reflejan procesamiento más allá de la corteza sensorial primaria. Por el contrario, los potenciales evocados tempranos o exógenos informan sobre la integridad de las vías sensoriales.

La Figura 1 muestra los promedios globales del potencial evocado por la carta de clasificación del WCST al final de cada serie para el grupo de pacientes con traumatismo craneoencefálico y el grupo control. Las principales diferencias entre los grupos se aprecian en torno a tres componentes endógenos del potencial evocado, a saber, la onda P2 sobre regiones fronto-centrales bilaterales ($P < 0,01$), la onda N2 en la región frontal derecha ($P < 0,03$), y la onda P3b sobre las regiones parieto-temporales de ambos hemisferios ($P < 0,0001$). Estas diferencias pueden apreciarse mejor en las cartografías cerebrales realizadas 200, 300 y 450

milisegundos tras la presentación de la carta (Figura 2). Es oportuno destacar la ausencia de diferencias entre los grupos en los componentes sensoriales tempranos (P1) y en la actividad basal previa a la presentación de la carta (Figura 2). Estos resultados coinciden con los de autores que describen reducciones en la amplitud de la onda P3b en ausencia de anomalías en otros componentes tempranos (29-31).

A la hora de interpretar cabalmente estos efectos, debemos remitirnos al significado funcional del patrón normativo (12, 32). Las anomalías en la onda P3b denotan deficiencias en el proceso de comparación entre la representación interna y el estímulo físico; es decir, anomalías en la actualización de las representaciones mentales del contexto físico (18, 32). La ausencia de una representación mental en memoria a corto plazo impide la comparación e inhibe el disparo de una onda P3b. Por otra parte, la mayor amplitud de la onda N2 frontal podría estar asociada con la tendencia de los pacientes a perseverar en el mismo criterio de clasificación. Las anomalías descritas no pueden ser atribuidas al enlentecimiento motor de los pacientes, ya que la onda P3b es anterior e independiente del procesamiento motor (33).

La Figura 3 muestra las cartografías correspondientes al promedio global del potencial evocado por cada cifra de la prueba PASAT (2, 4) para los pacientes con traumatismo craneoencefálico y del grupo de control. Esta figura ilustra el promedio cartográfico de los ensayos correctos. En este caso las diferencias aparecen en los primeros instantes del procesamiento cerebral; es decir, 120 ms y 200 ms tras la presentación del dígito

TABLA III. Puntuaciones promedio para el grupo de pacientes con traumatismo craneoencefálico y los controles en cada una de las adaptaciones computerizadas de las pruebas neuropsicológicas para el registro simultáneo de potenciales evocados

	PASAT 2.4			PASAT 1.6			WCST cat.	Ratio	% Er.p	% Er.np	%			
	Ac.	Err.	Om.	Ac.	Err.	Om.					aciertos 2/3	Fallos cat.	Cambios cat.	Sin cambios
Media (pacientes)	27,3†	10,0	22,7‡	24,3‡	9,3	26,4†	17,1‡	0,4‡	35,1‡	29,5‡	66,9‡	5,2	65,0†	24,9†
SD	14,8	08,6	10,9	14,1	6,7	12,5	07,4	0,3	19,3	27,6	17,9	8,5	30,7	31,7
Media (controles)	53,7	03,8	02,5	44,4	4,4	11,2	23,9	0,1	15,5	62,7	90,7	3,6	91,0	0,7
SD	5,4	2,6	3,4	8,9	3,3	8,2	1,2	0,1	14,8	16,8	7,2	5,2	4,9	2,4

† $P < 0,05$; ‡ $P < 0,01$

Ac.: aciertos; Err.: errores; Om.: omisiones; cat.: categorías conseguidas; Ratio: proporción de errores respecto del total de ensayos realizados; % Er.p.: porcentaje de errores perseverativos; % Er.np.: porcentaje de errores no perseverativos; % aciertos 2/3: porcentaje de aciertos en los ensayos 2 y 3 de la serie; Fallos cat.: fallos en mantener la categoría; Cambios cat.: porcentaje de cambios correctos de categoría; Sin cambios: porcentaje de ausencias de cambio de categoría

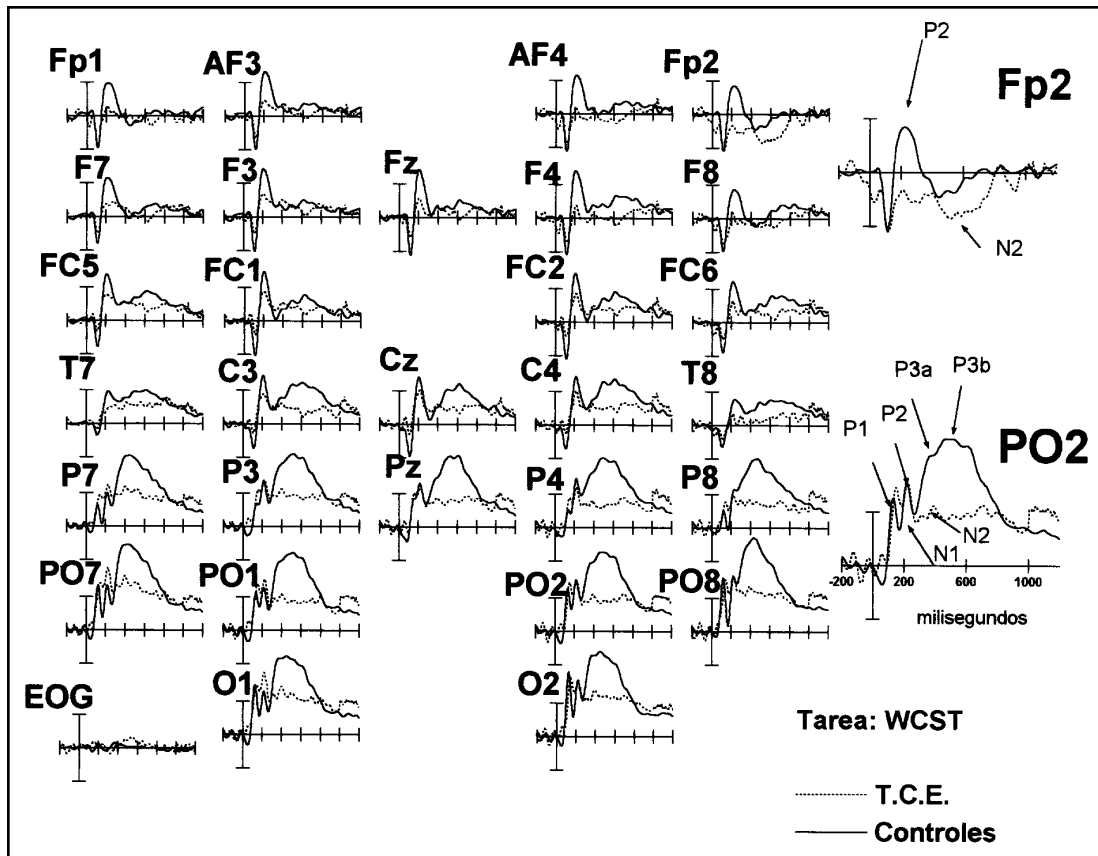


Figura 1. Promedios globales del potencial evocado por la carta de clasificación del WCST en los ensayos finales de cada serie para el grupo de pacientes con traumatismos craneoencefálicos y el grupo control. La respuesta cerebral es registrada desde 200 milisegundos antes de la presentación hasta 1.200 milisegundos después de la presentación de la carta. Se constata la enorme diferencia entre los grupos en la amplitud de los potenciales P2 y P3b.

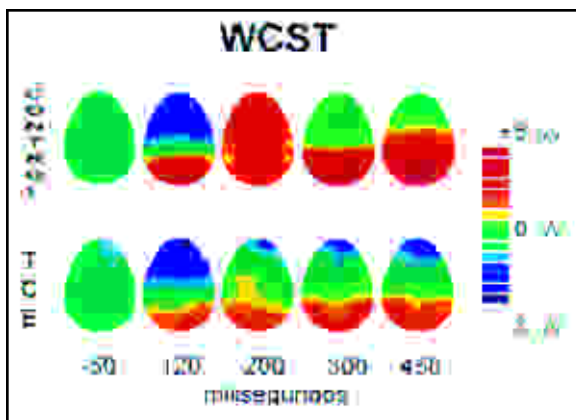


Figura 2. Cartografías cerebrales correspondientes al promedio global del potencial evocado por la carta de clasificación del WCST en los ensayos finales de cada serie para los pacientes con traumatismo craneoencefálico y el grupo control (Figura 1). Las cinco cartografías reflejan la actividad del examen electroencefalográfico asociada con cinco instantes del procesamiento del estímulo; 50 ms previos a la aparición del estímulo, y los componentes endógenos P1, P2, P3a y P3b del potencial evocado.

que se va a procesar ($P < 0,01$). Sin embargo, estas diferencias en la activación se manifestaron en áreas prefrontales y no en regiones sensoriales. Ello nos permite sugerir que no reflejan una disfunción en los componentes exógenos (sensoriales) de los potenciales, si no que más bien son el resultado del alargamiento de la activación endógena frontal producida por el ensayo previo. Así, mientras que en los sujetos del grupo control se produce el «borrado» del dígito anterior al comienzo del nuevo ensayo, los pacientes con traumatismo craneoencefálico continúan «enganchados» al estímulo previo y no actualizan la información hasta 300 ms después de la presentación del nuevo dígito.

Por último, la Figura 4 muestra la cartografía cerebral realizada durante la presentación de la condición de interferencia del test de STROOP. Hay que recordar que el efecto STROOP no estuvo asociado a diferencias en tiempos de reacción entre los grupos (véase la Tabla II) y que los errores cometidos constituyen un indicador más fia-

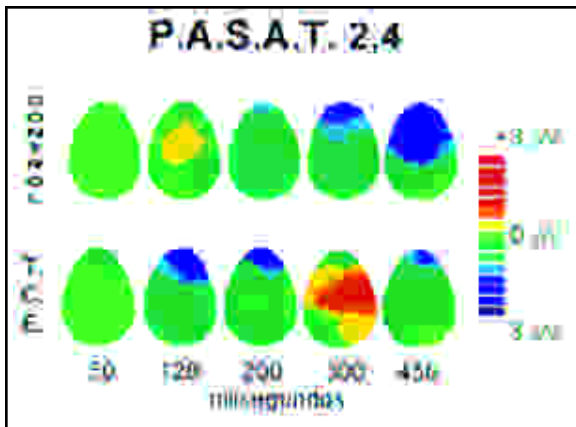


Figura 3. Cartografías cerebrales correspondientes al promedio global del potencial evocado por cada cifra de la prueba PASAT 2,4, para los pacientes con traumatismo craneoencefálico y el grupo control. Las cinco cartografías reflejan la actividad del examen electroencefalográfico asociada con cinco instantes del procesamiento del estímulo: 50 ms previos a la aparición del estímulo, y los componentes P1, P2, P3a y P3b del potencial evocado.

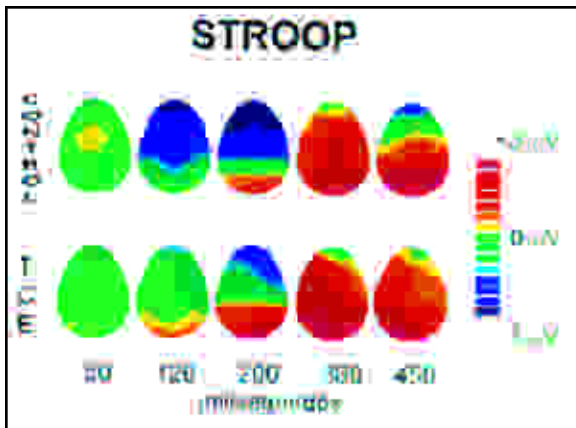


Figura 4. Cartografías cerebrales correspondientes al promedio global del potencial evocado por cada estímulo de la tarea STROOP (condición interferencia) para los pacientes con traumatismo craneoencefálico y el grupo control. Las cinco cartografías reflejan la actividad del examen electroencefalográfico asociada con cinco instantes del procesamiento del estímulo: 50 ms previos a la aparición del estímulo, y los componentes P1, P2, P3a y P3b del potencial evocado.

ble de la interferencia atencional (Vendrell y col., 1995). Al igual que con el PASAT, conviene destacar que las principales diferencias cartográficas aparecieron en los primeros instantes tras la presentación del estímulo ($P < 0,001$) y no estuvieron asociados con los componentes exógenos (sen-

soriales), sino con la hiperactividad frontal. En el grupo normal esta actividad frontal (120-200 ms) probablemente indica la inhibición de la interferencia, que es mucho más reducida en el grupo clínico, lo cual podría explicar su mayor número de errores, en la misma línea con lo apuntado por Vendrell *et al.* (24). De otro modo, la activación temprana de la corteza prefrontal refleja el mecanismo de inhibición de respuestas altamente automatizadas pero contrarias a las demandas de la tarea (15).

Por el contrario, no se encontraron diferencias entre ambos grupos en los componentes tardíos del potencial evocado, más asociados a la selección y ejecución de la respuesta, lo que permitiría explicar la ausencia de efecto STROOP en el análisis de los tiempos de reacción.

CONCLUSIONES

El estudio cartográfico asociado al examen neuropsicológico aportó información muy valiosa sobre el procesamiento cognitivo y neutral, que complementa y en algunos casos completa, la información ofrecida por los tests convencionales. Los componentes sensoriales exógenos auditivos y sensoriales no se mostraron alterados en los pacientes (16, 31), por lo que podemos afirmar que los potenciales de latencia media y corta tienen una utilidad limitada para examinar pacientes con traumatismos craneoencefálicos graves o moderados con quejas en las áreas de la atención y la memoria. Las mayores diferencias entre los grupos se obtuvieron durante la ejecución de la prueba WCST, tal como han observado también otros autores (23, 27). En este sentido, un dato interesante del estudio cartográfico es que viene a apoyar la idea señalada también desde la neuropsicología de que el WCST no puede considerarse un indicador puro de disfunción frontal (22, 34-37), ya que la alteración principal en los estudios de cartografía cerebral afecta al componente P3b sobre áreas parieto-temporales posteriores. Estudios futuros deberán explorar en detalle tales anomalías; por ejemplo, si los errores de perseveración y las distracciones durante la ejecución del WCST se corresponden con signos cartográficos diferenciados.

En todo caso, la cartografía también indica una clara anomalía en la función frontal de los pacientes. Los mapas cartográficos revelan un campo eléctrico negativo anómalo sobre la región frontal de los pacientes durante la ejecución de todas las tareas. Esta actividad anómala podría corres-

ponder con la hipoactividad frontal descrita en estudios metabólicos de flujo sanguíneo cerebral en relación con la inflexibilidad mental y los errores de perseveración (38, 39). Estas anomalías frontales se corresponden con la alta incidencia de síntomas frontales descritos en pacientes con traumatismo craneoencefálico, a saber, disminución de la concentración, planificación inadecuada, disminución de la iniciativa e impulsividad, entre otros (40), y guardan relación, como ya se señaló con anterioridad, con la elevada frecuencia de contusiones frontales y temporales que muestran las técnicas de neuroimagen (41, 42).

Una de las limitaciones de la cartografía cerebral es su reducida capacidad para hacer inferencias anatómicas. Es más acertado hacer estas inferencias sobre los componentes tempranos que sobre los componentes endógenos (18), ya que cualquier tarea neuropsicológica compleja indica múltiples generadores que superponen su actividad en el registro de superficie (43). Sin embargo, constituyen la técnica más adecuada para aportar información útil sobre la cronología del procesamiento cerebral. Con la progresiva implantación de los modelos cognitivos del procesamiento de la información, los potenciales evocados tienen una creciente utilidad para la investigación en neuropsicología, puesto que: 1) los potenciales evocados permiten conocer la cronología de las fases del procesamiento cognitivo y son un indicador de las respuestas encubiertas de nuestro cerebro; 2) permiten describir el patrón topográfico de activación evocado por las sucesivas operaciones cognitivas en regiones distantes; 3) permiten valorar si la afectación de las vías sensoriales o motoras son la causa de las quejas del paciente; 4) permiten seguir el curso del deterioro cognitivo tras la lesión traumática. Desde este planteamiento, y en el ámbito clínico, la información privilegiada aportada por la cartografía cerebral puede constituir un indicador de recuperación más temprano que las medidas conductuales (44), orientar sobre los procesos cognitivos alterados, lo que permitirá establecer estrategias de intervención más específicas para cada caso individual y permitir una evaluación objetiva de la eficacia de diferentes programas de rehabilitación neuropsicológica.

Agradecimientos

A la Fundación MAPFRE Medicina, que ha auspiciado y ayudado a llevar a buen puerto la investigación aquí detallada. A los pacientes que han colaborado voluntaria y desinteresadamente

en este estudio, y a sus familiares, quienes siempre han mantenido una actitud positiva y abierta ante la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. ROBERTSON I H, MANLY T, ANDRADE J, BADDELEY B T, YIEND J. «Oops»: Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*. 1997; 35: 747-758.
2. MUÑOZ CÉSPEDES J M. Evaluación y rehabilitación neuropsicológica en traumatismos craneales: Técnicas actuales. Realidades. En: Fundación MAPFRE Medicina (ed), *Daño cerebral traumático, neuropsicología y calidad de vida*. Madrid: Ed MAPFRE, 1995; 165-186.
3. MUÑOZ CÉSPEDES J M, BARCELÓ F, POZO M A, RUBIA F J. Evaluación neuropsicológica de las disfunciones atencionales en traumatismos craneoencefálicos. En: J Botella, V Ponsoda (eds), *La atención: Un enfoque pluridisciplinar*. Valencia: Promolibro, 1998; 361-372.
4. TREXLER L E, ZAPPALA G. Neuropstological determinants of acquired attention disorders in traumatic brain injury. *Brain Cogn*. 1988; 8: 291-302.
5. LECLERQ M. Pathologie frontale et troubles de l'attention. En: P Azouvi (ed), *Síndrome frontal: Evaluation et rééducation*. París: Institut Garches, 1998; 35-48.
6. GOLDBERG E, BILDER R M. The frontal lobes and hierarchical organization of cognitive control. En: E Perecman (ed), *The frontal lobes revisited*. Nueva York: IRBN Press, 1987; 159-187.
7. STUSS D T, BENSON D F. *The frontal lobes*. Nueva York: Raven Press, 1986.
8. VAN ZOMEREN A H, BROUWER W H. *Clinical Neuropsychology of Attention*. Nueva York: Oxford University Press, 1994.
9. MESULAM M M. Large-scale neurocognitive networks and distributed processing of attention, language, and memory. *Ann Neurology*. 1990; 28: 597-613.
10. POSNER M I, PETERSEN SE. The attention system of the human brain. *Annual Rev Neurosc*. 1990; 13: 25-42.
11. BARCELÓ F, MOLINA V, GALE A. El estudio de las funciones cognitivas superiores mediante cartografía eléctrica cerebral computadorizada: criterios de rigor técnico y metodológico. *Estudios de Psicología*. 1996; 56: 27-44.
12. BARCELÓ F, SANZ M, MOLINA V, RUBIA F J. The Wisconsin Card Sorting Test and the assessment of frontal function: A validation study with event-related potential. *Neuropsychologia*. 1997; 35: 399-408.
13. BARCELÓ E, RUBIA F J. Non-frontal P3b-like activity evoked by the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuroreport*. 1998; 9: 747-751.
14. FORD M R, KHALIL M. Evoked potential findings in mild traumatic brain injury 1: Middle latency component augmentation and cognitive component attenuation. *J Head Trauma Rehabil*. 1996; 11 (3): 1-15.
15. KNIGHT R T, GRABOWECKY M F, SCABINI D. Role of human prefrontal cortex in attention control. En: H H

- Jasper, S Riggio, P S Goldman-Rakic (eds), *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Frontal Lobe*. Nueva York: Raven Press, 1995: 21 -36.
16. KEREN O, BEN-DROR S, STERN M J, GOLDBERG G, GROSWASSER Z. Event-related potentials as an index of cognitive function during recovery from severe closed head injury. *J Head Trauma Rehabil*. 1998; 13: 15-30.
 17. CURRY S H. Event-related potentials as indicants of structural and functional damage in closed head injury. *Progress Brain Res*. 1980; 54: 507-515.
 18. VIGGIANO M P. Event-related potentials in brain-injured patients with neuropsychological disorders: A review. *J Clin Exp Neuropsychology*. 1996; 18: 631-647.
 19. LEZAK M D. *Neuropsychological Assessment*. Oxford: Oxford University Press, 1995; 2.^a ed.
 20. GRONWALL D, WRIGHTSON P. Memory and information processing capacity after closed head injury. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1981; 44: 889-895.
 21. SPREEN O, STRAUSS E. *A compendium of neuropsychological tests*. Nueva York: Oxford University Press, 1998; 2.^a ed.
 22. AHOLA K, VILKKI J, SERVO A. Frontal tests do not detect frontal infarctions after ruptured intracranial aneurysm. *Brain Cogn*. 1996; 31: 1-16.
 23. SPIKMAN J M, VAN ZOMEREN A H, DEELMAN B G. Deficits of attention after closed-head injury: Slowness only. *J Clin Exp Neuropsychology*. 1996; 18: 755-767.
 24. VENDRELL P, JUNQUÉ C, PUJOL J, JURADO M A, MOLET J, GRAFMAN J. The role of prefrontal regions in the Stroop task. *Neuropsychologia*. 1995; 33: 341-352.
 25. ZWAAGSTRA R, SCHMIDT I, VANIER M. Recovery of speed of information processing in closed-head-injury patients. *J Clin Exp Neuropsychology*. 1996; 18: 383-393.
 26. FERRARO F R. Cognitive slowing in closed-head injury. *Brain Cogn*. 1996; 32: 429-440.
 27. GANSLER D A, COVALL S, MCGRATH, OSCAR-BERMAN M. Measures of prefrontal dysfunction after closed head injury. *Brain Cogn*. 1996; 30: 194-204.
 28. WILLIAMSON D J G, SCOTT J G, ADAMS R L. Traumatic brain injury. En: R L Adams, O A Parsons, J L Culbertson, S J Nixon (eds), *Neuropsychology for Clinical Practice*. Washington DC: American Psychological Association, 1996; 9-64.
 29. PRATAP-CHAND R, SINNIHAH M, SALEM F A. Cognitive evoked potential (P300): a metric for cerebral concussion. *Act Neurol Scand*. 1988; 78: 185-189.
 30. RUGG M D, COWAN C P, NAGY M E, MILNER A D, BROOKS D N. Event related potentials from closed head injury patients in an auditory «oddball» task: Evidence of dysfunction in stimulus categorization. *J Neuro Neurosurg Psychiatry*. 1988; 51: 691-698.
 31. SOUSTIEL J F, HAFNER H, CHISTYAKOV A V, BARZILAI A, FEINSOD M. Trigeminal and auditory evoked responses in minor head injuries and post-concussion syndrome. *Brain Inj*. 1995; 9: 805-813.
 32. DONCHIN E, COLES M G H. Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav Brain Sci*. 1988; 11: 343-356.
 33. BARCELÓ E, MUÑOZ CÉSPEDES J M, POZO M A, RUBIA F J. Spatiotemporal brain dynamics during card sorting: Half a second beyond the frontal lobes. *Psychophysiology*, en prensa.
 34. ANDERSON S W, DAMASIO H, JONES R D, TRANEL D. Wisconsin Card Sorting test performance as a measure of frontal lobe damage. *J Clin Exp Neuropsychology*. 1991; 13: 909-922.
 35. ANDERSON C V, BIGLER E D, BLATTER D D. Frontal lobe lesions, diffuse damage, and neuropsychological functioning in traumatic brain-injured patients. *J Clin Exp Neuropsychology*. 1995; 17: 900-908.
 36. AXELROD B N, GOLDMAN R S, HEATON R K, CURTISS G, THOMPSON L L, CHELUNE G J, et al. Discriminability of the Wisconsin Card sorting Test using the standardization sample. *J Clin Exp Neuropsychology*. 1996; 18: 338-342.
 37. MOUNTAIN M A, SNOW W G. Wisconsin Card Sorting Test as a measure of frontal pathology: A review. *Clin Neuropsychology*. 1993; 7: 108-118.
 38. BERMAN K F, OSTREM J L, RANDOLPH C, GOLD J M, GOLDBERG T E, COPPOLA R, et al. Physiological activation of a cortical network during performance of the Wisconsin card sorting test: a positron emission tomography study. *Neuropsychologia*, 1995; 33: 1027-1046.
 39. GOLD J M, CARPENTER C, RANDOLPH C, GOLDBERG T E, WEINBERGER D R. Auditory working memory and Wisconsin Card Sorting Test performance in schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry*. 1997; 54: 159-165.
 40. PONSFORD J, OLVER J H, CURRAN C. A profile of outcome: 2 years after traumatic brain injury. *Brain Inj*. 1995; 9: 1-10.
 41. MUÑOZ CÉSPEDES J M, FERNÁNDEZ GUINEA S. Evaluación neuropsicológica y funcional de los adultos con traumatismo craneoencefálico. En: C Pelegrín, J M Muñoz Céspedes, I Quemada (eds), *Neuropsiquiatría del daño cerebral traumático. Aspectos clínicos y terapéuticos*. Barcelona: Prous Science, 1997; 137-167.
 42. PELEGRÍN VALERO C, TIRAPU USTARROZ J. Neuropsiquiatría del daño prefrontal traumático. *Monografías Psiquiatría*. 1995; 7: 11-21.
 43. KNIGHT R T, GRABOWECKY M. Escape from linear time: Prefrontal cortex and conscious experience. En: M S Gazzaniga (ed), *The cognitive Neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995; 1357-1372.
 44. GOLDBERG G J, KARAZIM E. Application of evoked potentials to the prediction of discharge status in minimally responsive patients: A pilot study. *J Head Trauma Behav*. 1998; 13: 51-68.