

Resonancia magnética funcional en la evaluación de la actividad del cíngulo anterior mediante el paradigma de Stroop

P. Salgado-Pineda^a, P. Vendrell^a, N. Bargalló^b, C. Falcón^c, C. Junqué^a

FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IN THE EVALUATION OF THE ACTIVITY OF THE ANTERIOR CINGULATE CORTEX USING STROOP'S PARADIGM

Summary. Introduction. Stroop's paradigm has been used to evaluate the anterior attention system which regulates the inhibitory capacity of automatic responses. Functional neuroimaging techniques have shown a preponderant role for the anterior cingulate cortex in carrying out this paradigm. Objective. To evaluate the activity of the anterior cingulate cortex in view of its clinical importance in the study of neurological and psychiatric disorders. Patients and methods. Eleven healthy volunteers took part in the study. The functional images were analyzed using the software SPM99 and by second order individual and group analysis. Results. Initial local analysis showed activation in the right anterior cingulate cortex (Brodmann's area 32) and left central (areas 31 and 23); caudate nucleus (right body and left tail) and thalamus (bilateral). Overall there was significant activation of the left hemisphere, in areas 44 (Broca's area), 7, 40 (supra marginal gyrus and insular cortex, and in the right hemisphere in area 19. In spite of this there was great individual variation. Conclusions. The overall results are concordant with complex functional connections for attention and the control of automatic responses. In our study the anterior cingulate cortex was not selectively activated. The activation of the thalamus and caudate nucleus may be explained by their involvement in the frontostriatal circuits. The lack of individual consistency may be due to different personal cognitive styles of resolving conflicts. According to our results, Stroop's paradigm would not be clinically useful for showing good or bad functioning of the anterior cingulate cortex. [REV NEUROL 2002; 34:]

Key words. Anterior cingulate cortex. Attention system. Functional magnetic resonance. Functional neuroimaging. Stroop's paradigm.

INTRODUCCIÓN

Los déficit de atención constituyen uno de los trastornos neuropsicológicos más frecuentes, tanto en pacientes neurológicos como en psiquiátricos. Evolutivamente destacan, de forma especial, en el trastorno por déficit atencional [1], pero también se presentan en otros trastornos del neurodesarrollo, como el síndrome de Gilles de la Tourette, el trastorno obsesivo compulsivo y la esquizofrenia [2-4]. Tras una lesión cerebral, aparecen con mucha frecuencia en los traumatismos craneoencefálicos [5] y forman parte también de procesos neurodegenerativos [6].

Se han descrito diversos tipos de atención regulados por tres sistemas cerebrales atencionales interrelacionados, que pueden explorarse clínicamente mediante diferentes pruebas neuropsicológicas [7-9]. El primero de estos sistemas se denomina *arousal* o alerta neurofisiológico; corresponde a la atención más básica o primaria, y lo regula el sistema reticular activador y sus conexiones talámicas, límbicas, frontales y de ganglios basales. El segundo es el sistema de atención posterior, que permite seleccionar los estímulos de interés, es decir, dirigir la atención a determinados estímulos ante toda la

información proveniente del entorno. Su correlato fisiológico se localiza en zonas del córtex parietal posterior—con predominio del hemisferio derecho—, el pulvinar lateral y el colículo superior [8]. El tercero es el sistema atencional anterior, que nos proporciona la capacidad de atención deliberada o atención ejecutiva, o dirigida a la acción; lo integran zonas del cíngulo anterior, prefrontales dorso-laterales y el núcleo caudado. De este sistema atencional anterior dependería la integridad de las categorías clínicas de atención dividida, atención de preparación, inhibición y atención sostenida. Su disfunción daría lugar, entre otros síntomas, a perseveraciones, distraibilidad o trastornos de vigilancia o de concentración.

El test de Stroop es una herramienta neuropsicológica extensamente utilizada en la detección de disfunciones cerebrales que afectan a la atención; por tanto, se utiliza ampliamente en el ámbito neurológico, neuroquirúrgico y neuropsiquiátrico [10]. El test de Stroop pretende medir la capacidad de inhibición ante respuestas automáticas; en concreto, inhibir la lectura del nombre de un color para denominar otro distinto. Desde su diseño inicial en 1935, se han publicado más de 700 artículos [11]. En la práctica clínica neuropsicológica, habitualmente se utiliza el test de Stroop en la versión de papel y lápiz, de Golden [12]. En el ámbito de la investigación neuropsicológica se han introducido múltiples variantes, denominadas genéricamente paradigmas Stroop. La principal variante ha sido la introducción de versiones computarizadas. Otras propuestas interesantes son la introducción de una variante numérica, la *Counting Stroop* [13,14], y una variante emocional, especialmente pensada para pacientes psiquiátricos [15].

Las investigaciones realizadas con técnicas de neuroimagen funcional (PET, RMf) han puesto de manifiesto un papel preponderante del cíngulo anterior en la ejecución de la prueba de Stroop [16-19].

En la actualidad, la técnica de neuroimagen que ha levantado un gran auge investigador, por su inocuidad, es la resonancia

Recibido: ???.?.?. Aceptado tras revisión externa sin modificaciones: ???.?.?.

^a Departamento de Psiquiatría y Psicobiología Clínica. Universitat de Barcelona. Institut d'Investigacions Biomèdiques (IDIBAPS). ^b Centro de Diagnóstico por la Imagen (CDI). Sección de Neuroradiología. Hospital Clínic i Provincial de Barcelona. ^c Departamento de Ciencias Fisiológicas I. Barcelona, España.

Correspondencia: Dr. P. Vendrell. Departament de Psiquiatría i Psicobiologia Clínica. Universitat de Barcelona. IDIBAPS. Casanova, 143. E-08036 Barcelona. Fax: +34 93403 5294. E-mail: pvendrell@psi.ub.es

Agradecimientos. A la Universidad de Barcelona, por la Beca en Investigación y Docencia concedida a Pilar Salgado Pineda. Este trabajo lo ha subvencionado la Direcció General de Recerca de la Generalitat de Catalunya, 1999SGR00081.

© 2002, REVISTA DENEUROLOGÍA

magnética funcional (RMf); se basa en el estudio del nivel de oxigenación de la sangre para evidenciar la activación neuronal, sin necesidad de agentes de contraste externos, método que se conoce como contraste BOLD (del inglés, *Blood Oxygenation Level Dependent*) [20].

La RMf se usa esencialmente en investigaciones dirigidas a demostrar las diferencias entre un determinado grupo patológico y su correspondiente grupo control; pero potencialmente podría utilizarse de forma clínica, si tuviese un valor predictivo individual de activación de una determinada región cerebral.

La utilidad clínica individual de la RMf motora se ha estudiado previamente en el ámbito neuroquirúrgico, en pacientes candidatos a intervención por lesiones que implicaban el surco central [21]. Se ha propuesto la RMf exploradora de la activación producida por la tarea de fluencia verbal con consigna, como una posible alternativa al test de Wada, en el ámbito de la cirugía de la epilepsia [22].

Las investigaciones realizadas hasta el momento con RMf y el test de Stroop han puesto de manifiesto la activación de múltiples regiones cerebrales que forman una red atencional compleja [18]. No obstante, no se ha realizado hasta el momento un análisis individual de la activación de una determinada región, lo que podría indicar un posible uso clínico.

Nuestro propósito es evaluar la consistencia de la activación del cíngulo anterior por el existente interés clínico que puede tener en el estudio de enfermedades como la esquizofrenia, donde se han hallado anomalías estructurales y funcionales del cíngulo anterior [23].

PACIENTES Y MÉTODOS

La muestra se componía de 11 sujetos voluntarios sanos, cinco mujeres y seis varones, con una media de edad de 26,18 años y una desviación estándar de 3,6. Los participantes no tenían antecedentes psiquiátricos, neurológicos o de enfermedades sistémicas que pudiesen afectar al sistema nervioso central. Todos ellos tenían estudios superiores y firmaron su consentimiento en participar en el estudio.

Los estímulos Stroop utilizados consistieron en las palabras ‘Rojo’, ‘Azul’ y ‘Verde’ escritas con tinta de color rojo, azul o verde, siempre con el mismo tamaño y fuente de letra, e igual intensidad y saturación de color. Los estímulos se agruparon en dos clases de bloques, denominados estímulos congruentes y estímulos incongruentes, que constituirán las dos tareas a sustraer. En los estímulos congruentes el significado de la palabra coincidía con el color de la tinta en que se presentaba (p. ej., la palabra ‘verde’ presentada en color verde), mientras que en los estímulos incongruentes el color de la tinta debía ser necesariamente distinto a la designación de la palabra (p. ej., ‘verde’ escrito en color azul). De este modo, las tareas compartían un gran número de componentes cognitivos y sensoriales, y diferían únicamente en la interferencia de información que aporta la modalidad visual del color con que se presenta la palabra y la modalidad semántica del significado de la misma, que sólo en el caso de los estímulos incongruentes se contradice.

Los estímulos se presentaron en una pantalla que los sujetos veían a través del espejo colocado en la bobina de cráneo, mediante la proyección a través de un aparato Sanyo Multimedia Prox-III, desde un ordenador portátil Hewlett Packard.

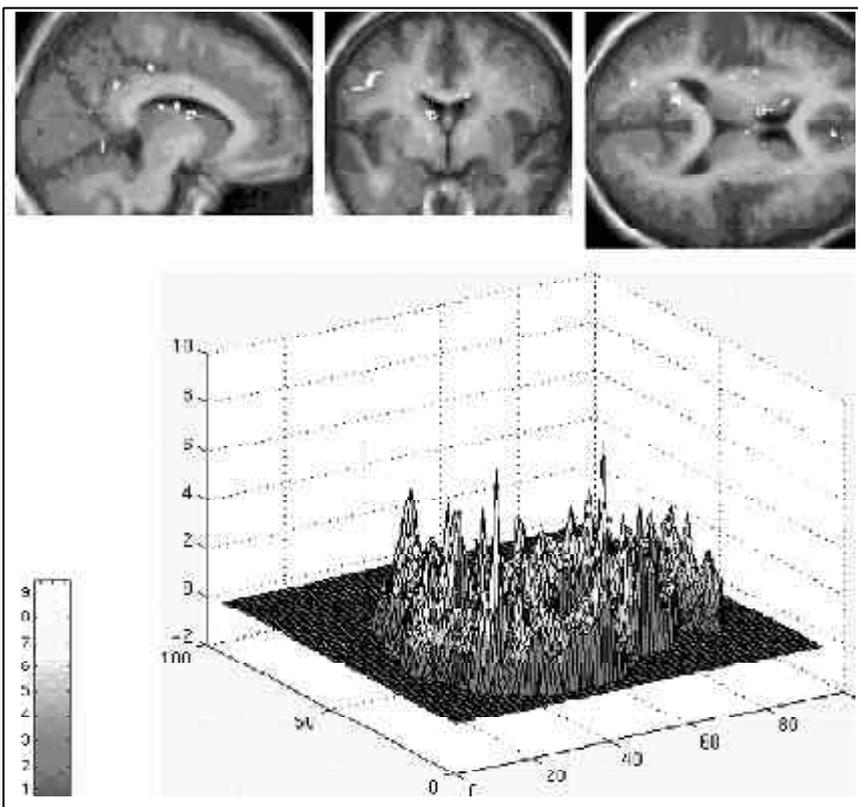


Figura. Activación obtenida en el análisis de grupo (11 sujetos), visualizada sobre una imagen media de los cerebros (normalizados) de todos los participantes en el estudio; la gráfica de la derecha muestra el valor de los estadísticos t de uno de los cortes de la imagen ‘mapa-estadístico’ del análisis de grupo.

Tabla I. Regiones activadas en el sistema atencional anterior.

Área de Brodmann	Valor de p	Coordenadas Talairach		
		x	y	z
32 (derecha-medial)	0,009	+08	+42	+12
31 (medial)	0,001	-02	-22	+42
23 (izquierda-medial)	0,006	-14	-55	+12
Caudado derecho	0,000	+19	-11	+24
Caudado izquierdo	0,003	+12	+04	+16
Caudado izquierdo (cola)	0,024	-25	-35	+12
Tálamo derecho	0,001	+12	-16	+16
Tálamo izquierdo	0,005	-12	-10	+16
Tálamo izquierdo	0,009	-07	-08	+12

Tabla II. Otras regiones cerebrales que se han activado significativamente.

Área de Brodmann	Valor de p	Coordenadas Talairach		
		x	y	z
44 (izquierda)	0,000	-50	+10	+30
7 (izquierda)	0,006	-28	-62	+50
40 (izquierda)	0,002	-50	-48	+50
córtex insular (izquierda)	0,000	-35	-20	+16
19(derecha)	0,010	+24	-60	-08

La presentación se hizo a través del programa Presentation versión 0,41; las palabras se mostraban cada 500 ms, y cada una permanecía en pantalla un tiempo de 1.500 ms. Cada sesión se componía de seis bloques de presentación de estímulos, y se alternaban los dos tipos de bloques antes descritos. Cada bloque tuvo una duración de 30 s, a excepción del primero, que duró 36 s; los seis primeros segundos correspondientes a la estabilización de la señal no se usarán en el análisis. Se empezó la sesión con un bloque de estímulos congruentes.

Los participantes en el estudio se entrenaron para responder al color de la tinta con la que la palabra aparecía en pantalla, independientemente del significado de la misma, de forma silenciosa y para evitar el movimiento mandibular, a fin de disminuir al máximo las interferencias que pudieran crear la voz y los movimientos articulatorios.

Las imágenes funcionales se adquirieron mediante un escáner de 1,5 Tesla Signa GE (Milwaukee, WI), en el Centro de Diagnóstico por la Imagen (CDI) del Hospital Clínic i Provincial de Barcelona, con una secuencia de pulso ecoplanar, eco de gradiente (TR/TE 2980/Ef, 90° ángulo flip, 1 NEX) FOV 28 × 21 y matriz de 96 × 64, con un tamaño de voxel de 2 × 3 × 7 mm. Se obtuvieron 15 cortes axiales, de 7 mm de grosor y 0 de espaciado. El número de adquisiciones por corte fue de 64, y se obtuvieron 128 imágenes por bloque y 10 imágenes por cada bloque congruente o incongruente de estímulos.

Las imágenes morfológicas se obtuvieron mediante una secuencia 3D FSPGR con IR prep (TR/TE 12/5, 2 TI 300 1 nex) FOV 24 × 24 y matriz de 256 × 192, con particiones de 1,5 mm.

Análisis de los datos

Los dos primeros volúmenes—correspondientes a los 6 s iniciales de estabilización de la señal—de cada sujeto se descartaron y los 60 restantes se utilizaron para el posterior análisis, que se realizó con la herramienta estadística SPM99 (Statistical Parametric Mapping, programa del Wellcome Department of Cognitive Neurology, Institute of Neurology, Londres, Gran Bretaña).

Las imágenes se sometieron a un pretratamiento idéntico en todos los casos, consistente en:

1. Una corrección del movimiento, mediante realineación—calculada sobre la base de la mínima diferencia de cuadrados según tres traslaciones y tres rotaciones en los ejes cartesianos—de los volúmenes conforme a un volumen de referencia; se tomó como referente el último volumen de la serie funcional, por ser el más próximo a la adquisición anatómica.
2. Normalización espacial de cada sujeto a fin de transformar el espacio funcional en un espacio estándar para todos los sujetos, correspondiente al espacio MNI (Montreal Neurological Institute); esta normalización se realizó a partir de la imagen anatómica de cada sujeto—de mayor precisión que las funcionales—, según el Template T1 del programa SPM99; la matriz de cálculos obtenida se aplicó posteriormente a las imágenes funcionales, individualmente.
3. Suavizado (*smoothing*) de la intensidad de las imágenes funcionales normalizadas sobre la base de un núcleo (*kernel*) gaussiano tridimensional de 6 mm.

Para cada sujeto se estudió la activación significativamente mayor en la condición de estímulos incongruentes que en la de estímulos congruentes; se utilizó para ello un test *t* de Student; posteriormente, los mapas de parámetros estadísticos de cada sujeto se trataron por grupos mediante un análisis de segundo orden de efectos aleatorios.

Un primer análisis realizado por grupos se centró en la actividad del cíngulo y estructuras subcorticales, guiados por los estudios previos realizados con el test de Stroop; éstos evidencian la participación de subregiones del cíngulo—sobre todo el cíngulo anterior—en la resolución del conflicto creado por los estímulos Stroop; también por el interés en la evaluación del papel que en la inhibición de respuestas automáticas subyacente en la ejecución del test puedan tener las estructuras subcorticales que formarían partes de circuitos frontoestriales de proyección hacia el tálamo. El umbral crítico para esta comparación fue una puntuación *t* correspondiente a un valor $p < 0,001$ (Tabla I). La segunda comparación por grupos fue exploratoria, para identificar otras zonas del cerebro activadas por el efecto Stroop. En este caso, el valor *t* escogido correspondía a una $p < 0,05$, corregida por múltiples comparaciones (Tabla II). En ambos casos se restringió el análisis de los *clusters* (agrupaciones de voxels), únicamente a aquellos que superaran un tamaño de 10 voxels.

RESULTADOS

En el primer análisis centrado en el estudio del cíngulo y estructuras subcorticales, encontramos activación en el cíngulo anterior, área 32 de

Brodman, del hemisferio derecho, y en el cíngulo central, áreas 31 y 23 de Brodman, del hemisferio izquierdo. Subcorticalmente, la activación se localiza en el núcleo caudado, en el cuerpo derecho y la cola izquierda. Se obtuvo también una activación bilateral del tálamo. En la tabla I se describen las coordenadas espaciales según el atlas anatómico de Talairach y Tournoux [24].

Globalmente, fuera de las áreas de interés mencionadas, hemos hallado una activación significativa en el área 44 de Brodman izquierda, correspondiente al área de Broca, en el área 7 del hemisferio izquierdo, y en este mismo hemisferio, en el área 40 (giro supramarginal) y el córtex insular. En el hemisferio derecho hemos recogido activación en el área 19 de Brodman (córtex visual extraestriado) (Tabla II).

En la figura se puede observar la activación del conjunto de las regiones cerebrales que han alcanzado significación estadística.

Si bien los resultados del grupo son fuertemente significativos, los análisis difieren bastante entre sujetos. La región clásicamente activada correspondiente al cíngulo anterior derecho (área 32 de Brodman), que es una de las más discutidas clásicamente en los estudios neurofuncionales que utilizan el test de Stroop, no se activa sistemáticamente en cada uno de los sujetos. En concreto, el área 32 se activa significativamente en siete de los 11 sujetos (64% de los casos). Además, hay otras áreas que sí se encuentran activadas en varios sujetos individualmente, pero cuya significación queda anulada grupalmente, como por ejemplo el área 10 de Brodman, correspondiente a la región prefrontal derecha.

DISCUSIÓN

Los resultados de la muestra global analizada son acordes con el modelo de una compleja conectividad funcional para la atención y el control de los automatismos. Hemos hallado una activación del cíngulo anterior, en concreto del área 32 de Brodman, que concuerda con estudios previos realizados con RMf [18,25] y con estudios que utilizaron PET [16,17,26]. Al contrario que George et al [26], e igual que Pardo et al [16] y Bench et al [17], el área 24 no se ha activado en nuestros sujetos. Cada vez existe más evidencia del papel diferencial de distintas regiones del cíngulo anterior. El análisis de correlaciones interregionales llevado a cabo por Peterson et al [18], con 34 sujetos, muestra que el cíngulo anterior se liga funcionalmente a numerosas regiones cerebrales. Según estos autores, el cíngulo anterior parece tener una distribución topográfica en la que los aspectos sensoriales, memoria de trabajo y vigilancia se posicionan más rostralmente, y la selección de la respuesta, planificación motora y respuesta motora, más caudalmente.

No obstante, en nuestro estudio el cíngulo anterior no se activa de forma selectiva, sino que, por el contrario, aparecen fuertes activaciones en otras regiones cerebrales. La activación de las regiones subcorticales (tálamo y núcleo caudado) podría explicarse por la implicación de éstos en los circuitos frontoestriales [27]. Las activaciones de ambas estructuras las han hallado también Peterson et al [18], en la amplia red funcional que proponen para el efecto Stroop, a partir de un estudio de patrones funcionales en 34 sujetos. La activación del área 44 izquierda probablemente se deba a que la respuesta indicada a los sujetos era habla subvocal.

En un estudio lesional previo, nosotros observamos dos regiones ligadas a la alteración del efecto Stroop claramente diferenciadas: el cíngulo anterior respecto a la velocidad de respuesta y el córtex dorsolateral derecho respecto a la capacidad de ejecución (número de errores) [19]. Posteriormente, los datos procedentes del análisis de patrones lesionales en la esclerosis múltiple apoyaron también el papel del lóbulo frontal derecho en el Stroop [28]. En el presente estudio funcional no hemos detectado activación frontal derecha significativa en el

estudio por grupos, aunque sí individualmente. Ello podría deberse a la facilidad de la tarea en personas jóvenes, sanas y altamente escolarizadas.

La ausencia de consistencia individual puede deberse a distintas razones. Una de ellas puede ser el estilo cognitivo personal para la solución del conflicto. El conflicto Stroop puede resolverse con la potenciación de la percepción del color a denominar, con lo que se activarían preferentemente regiones posteriores y se inhibiría la respuesta motora –posible papel preferente de los ganglios basales–, o con la potenciación de la respuesta –posible papel del cíngulo anterior–. La disociación anterior-posterior se ha descrito previamente [29].

Otra de las limitaciones de nuestro estudio ha sido la ausencia de registro de la respuesta. El hecho de no tener que dar una respuesta oral o manual puede favorecer más el uso de estrategias de potenciación del procesamiento del estímulo (color). El lenguaje produce movimientos de la cabeza que pueden exceder a los tolerados por la RMf, y el uso de paneles para respuesta de distintos dedos asociados al color complica considerablemente el diseño y su interpretación. De aquí que algunos autores [13, 14] hayan planteado como solución utilizar la forma de Stroop numérico.

Desde el punto de vista técnico, el test de Stroop se llevó a cabo con una máquina 1,5 Tesla Signa GE (Milwaukee, WI), cuya secuencia limitaba la adquisición de 529 imágenes por secuencia. Probablemente, con un mayor número de imágenes adquiridas se hubiese obtenido una mayor activación cortical y una mayor potencia y consistencia de la activación.

Según nuestros resultados, este diseño Stroop estándar que hemos usado no serviría clínicamente para indicar el buen o mal funcionalismo del cíngulo anterior de forma individual, ya que, aproximadamente, un 40% de los sujetos no activan de forma significativa la región. Los resultados en las tareas motoras son más consistentes. En una tarea motora de abrir y cerrar las manos se obtuvo la activación del surco principal en el 82% de los casos [21]. En el trabajo más reciente de Piñero et al [30,31], en una tarea motora de secuenciación de cuatro dedos aplicada a 14 sujetos, obtuvieron variación en el número de áreas activadas; las áreas somatomotoras, somatosensoriales y premotoras se activaron contralateralmente en todos los casos; en cambio, el área motora suplementaria se activó en 10, y las visuales de asociación también en 10. Probablemente, cuanto más compleja es una función, mayores la dificultad en contar con activaciones constantes para todos los sujetos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barkley RA. Behavioral, inhibition, sustained attention and executive functions. Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychol Bull* 1997; 121: 65-94.
- Johannes S, Wieringa BM, Nager W, Müller-Vahl, Dengler R, Munte TF. Electrophysiological measures and dual-task performance in Tourette syndrome indicate deficient divided attention mechanisms. *Eur J Neurol* 2001; 8: 253-60.
- Okasha A, Rafaat M, Mmahallawy N, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. Cognitive dysfunction in obsessive-compulsive disorder. *Acta Psychiatr Scand* 2000; 101: 281-5.
- Laurent A, Biloa-Tang M, Bougerol T, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. Executive/attentional performance and measures of schizotypy in patients with schizophrenia and in their non-psychotic first-degree relatives. *Schizophr Res* 2000; 46: 269-83.
- Kersel DA, Marsh NV, Havill JH, Sleigh JW. Neuropsychological functioning during the year following severe traumatic brain injury. *Brain Inj* 2001; 15: 283-96.
- Ballard C, O'Brien J, Gray A, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. Attention and fluctuating attention in patients with dementia with Lewy bodies and Alzheimer disease. *Arch Neurol Chicago* 2001; 58: 977-82.
- Estévez-González A, García-Sánchez C, Junqué C. La atención: una compleja función cerebral. *Rev Neurol* 1997; 25: 1989-97.
- Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci* 1990; 13: 25-42.
- Posner MI, Dehaene S. Attentional networks. *Trends Neurosci* 1994; 17: 75-9.
- McLeod CM. Half a century of research on the stroop effect: an integrative review. *Psychol Bull* 1991; 109: 163-203.
- Stroop JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *J Exp Psychol* 1935; 18: 643-62.
- Golden JC. The Stroop and word test: a manual for clinical and experimental uses. Chicago: Stoelting; 1978.
- Busch G, Whalen PJ, Rosen BC, Jenike MA, McInerney SC, Rauch SL. The counting stroop: an interference task specialized for functional neuroimaging. Validation study with functional MRI. *Hum Brain Mapp* 1998; 6: 270-82.
- Busch G, Frazier JA, Rauch SL, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. Anterior cingulate cortex dysfunction in attention deficit/hyperactivity disorder by fMRI and the counting Stroop. *Biol Psychiatr* 1999; 45: 1542-52.
- Whalen PJ, Busch G, McNally RJ, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. The emotional counting stroop paradigm: a functional magnetic resonance imaging probe of the anterior cingulate affective division. *Biol Psychiatry* 1998; 44: 1219-28.
- Pardo JV, Pardo PJ, Janer KW, Raichle ME. The anterior cingulate cortex mediates processing selection in the Stroop attentional conflict paradigm. *Proc Natl Acad Sci USA* 1990; 87: 256-9.
- Bench CJ, Frith CD, Grasby PM, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. Investigations of the functional anatomy of attention using the Stroop test. *Neuropsychologia* 1993; 31: 907-22.
- Peterson BS, Skudlarski P, Gatenby JC, Zhang H, Anderson AW, Gore JC. An fMRI of stroop word-color interference: evidence for cingulate subregions subserving multiple distributed attentional systems. *Biol Psychiatry* 1999; 45: 1237-58.
- Vendrell P, Junqué C, Pujol J, Jurado MA, Molet J, Grafman J. The role of prefrontal regions in the Stroop Task. *Neuropsychologia* 1995; 33: 341-52.
- Vendrell P, Junqué C, Pujol J. La resonancia magnética funcional: una técnica para el estudio de las bases cerebrales de los procesos cognitivos. *Psicothema* 1995; 7: 51-60.
- Pujol J, Conesa G, Deus J, López-Obarrio L, Isamat F, Capdevila A. Clinical applications of functional resonance imaging in presurgical identification of the central sulcus. *J Neurosurg* 1998; 88: 863-9.
- Pujol J, Deus J, Losilla JM, Capdevila A. Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studied by functional MRI. *Neurology* 1999; 52: 1038-43.
- Andreasen NC. Schizophrenia: the fundamental questions. *Brain Res Rev* 2000; 31: 106-12.
- Talairach J, Tournoux P. Echo planar stereotaxic atlas of the human brain. New York: Thieme; 1988.
- McDonald III AW, Cohen JD, Stenger VA, Carter CS. Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal cortex in cognitive control. *Science* 2000; 288: 1835-8.
- George MS, Ketter TA, Parekh P, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. Regional brain activity when selecting a response despite interference. An H2150 PET study of the Stroop and the emotional Stroop. *Hum Brain Mapp* 1994; 1: 194-209.
- Alexander GE, DeLong MR, Strick PL. Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. *Annu Rev Neurosci* 1986; 9: 357-81.
- Banich MT, Milham MP, Atchley R, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. fMRI studies of stroop tasks reveal unique roles of anterior and posterior brain systems in attentional selection. *J Cogn Neurosci* 2000; 12: 988-1000.
- Pujol J, Vendrell P, Deus J, **Por favor, completar hasta un máximo de 6 autores**, et al. The effect of medial and posterior parietal demyelinating lesions on stroop interference. *Neuroimage* 2001; 13: 68-75.
- Piñero R, Matthews PM, Maestú C, Bardasano JL. Resonancia magnética funcional y el córtex motor. I. Análisis de grupo. *Rev Neurol* 2001; 32: 1101-6.
- Piñero R, Matthews PM, Maestú C, Bardasano JL. Resonancia magnética funcional y el córtex motor. II. Cuantificación de la activación. *Rev Neurol* 2001; 33: 1-6.

RESONANCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL EN LA EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL CINGULADO ANTERIOR MEDIANTE EL PARADIGMA DE STROOP

Resumen. Introducción. El paradigma de Stroop se ha utilizado para evaluar el 'sistema atencional anterior' que regula la capacidad inhibitoria de respuestas automáticas. Técnicas de neuroimagen funcional han evidenciado un papel preponderante del cingulado anterior en la ejecución de este paradigma. Objetivos. Evaluar la activación del cingulado anterior, dado su interés clínico en el estudio de enfermedades neurológicas y psiquiátricas. Pacientes y métodos. Participaron en el estudio 11 sujetos voluntarios sanos. Las imágenes funcionales se analizaron con el programa informático SPM99, mediante análisis individual y por grupos de segundo orden. Resultados. Un primer análisis local evidenció activación en el cingulado anterior derecho (área 32 de Brodmann) y central izquierdo (áreas 31 y 23); núcleo caudado (cuerpo derecho y cola izquierda) y tálamo (bilateral). Globalmente, se halló activación significativa en el hemisferio izquierdo, en las áreas 44 (área de Broca), 7, 40 (giro supramarginal) y córtex insular; y en el hemisferio derecho en la área 19. A pesar de ello, existen grandes diferencias individuales. Conclusiones. Los resultados globales son acordes con el modelo de una compleja conectividad funcional para la atención y el control de automatismos. En nuestro estudio, el cingulado anterior no se activa de forma selectiva. La activación del tálamo y núcleo caudado podría explicarse por su implicación en los circuitos frontoestriales. La ausencia de consistencia individual puede deberse a diferentes estilos cognitivos personales en la resolución del conflicto. Según estos resultados, el paradigma de Stroop no serviría clínicamente para indicar el buen o mal funcionamiento del cingulado anterior. [REV NEUROL 2002; 34:]

Palabras clave. Cingulado anterior. Neuroimagen funcional. Paradigma de Stroop. Resonancia magnética funcional. Sistema atencional.

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL NA AVALIAÇÃO DA ACTIVIDADE DO CINGULAR ANTERIOR PELO PARADIGMA DE STROOP

Resumo. Introdução. O paradigma de Stroop foi utilizado para avaliar o sistema de atenção anterior que regula a capacidade inibitória de respostas automáticas. Técnicas de neuroimagem evidenciaram um papel preponderante do cingular anterior na execução deste paradigma. Objetivos. Avaliar a ativação do cingular anterior dado o seu interesse clínico no estudo de patologias neurológicas e psiquiátricas. Doentes e métodos. Onze voluntários são participaram no estudo. As imagens funcionais foram analisadas utilizando o software SPM99, por análise individual e de grupo de segunda ordem. Resultados. Uma primeira análise local evidenciou; ativação no cingular anterior direito (área 32 de Brodmann) e central esquerdo (áreas 31 e 23); núcleo caudado (corpo direito e cauda esquerda) e tálamo (bilateral). Globalmente achou-se ativação significativa do hemisfério esquerdo, nas áreas 44 (área de Broca), 7, 40 (circumvulação supra-marginal) e córtex da ínsula; e no hemisfério direito na área 19. No entanto, existem grandes diferenças individuais. Conclusões. Os resultados globais estão de acordo com o modelo de uma complexa conectividade funcional para a atenção e o controlo de automatismos. No nosso estudo, o cingular anterior não é activado de forma selectiva. A ativação do tálamo e núcleo caudado poderia explicar-se pelo envolvimento destes nos circuitos frontoestriados. A ausência de consistência individual pode dever-se a diferentes estilos cognitivos pessoais na resolução do conflito. Segundo estes resultados, o paradigma de Stroop não serviria clinicamente para indicar o bom ou o mal funcionamento do cingular anterior. [REV NEUROL 2002; 34:]

Palavras chave. Cingular anterior. Neuroimagen funcional. Paradigma de Stroop. Ressonância magnética funcional. Sistema da atenção.