

B

Batería de Funciones Frontales y Ejecutivas: Presentación

Julio César Flores Lázaro

Laboratorio de Neuropsicología y Psicofisiología, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México y División Académica de Ciencias de la Salud, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.

Feggy Ostrosky-Solís

Jefa del Laboratorio de Neuropsicología y Psicofisiología, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.

Azucena Lozano

Laboratorio de Neuropsicología y Psicofisiología, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.

Correspondencia: Feggy Ostrosky-Solís, Rivera de Cupia 110-71. Lomas de Reforma. México D.F. C.P. 11900. Correo electrónico: feggy@servidor.unam.mx

Agradecimiento

Proyecto parcialmente financiado con el apoyo otorgado a la Dra. Feggy Ostrosky por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (49127-H) y por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México (IN31260).

Resumen

El daño frontal es una condición neuropsicológica frecuente en la práctica neuropsicológica clínica. A pesar de la complejidad neurofuncional de los lóbulos frontales, aún no se cuenta en nuestro medio con suficientes pruebas que permitan realizar una evaluación neuropsicológica completa y satisfactoria.

Existe un número muy importante de alteraciones de neurodesarrollo y de daño cerebral adquirido en etapas tempranas de la vida, que resultan en un daño estructural y/o funcional de los lóbulos frontales, con importantes consecuencias en el desempeño neuropsicológico de los sujetos. Por otro lado el traumatismo craneoencefálico en adultos es cada vez más frecuente y tiene como una de sus principales consecuencias el daño frontal. En el área de envejecimiento, una adecuada evaluación neuropsicológica permite ayudar en el diagnóstico diferencial entre procesos degenerativos normales o patológicos, así como entre demencias frontales y posteriores.

En este artículo se presenta la "Batería de Funciones Frontales y Ejecutivas", la cual está integrada por quince pruebas que evalúan diversas funciones frontales y ejecutivas relacionadas con áreas frontales: fronto-orbital y fronto-medial, prefrontal-dorsolateral y prefrontal anterior. Se pretende que este instrumento permita que los profesionales del área puedan realizar una evaluación a la vez extensa y precisa del daño o compromiso en el funcionamiento de los lóbulos frontales.

Palabras clave: neuropsicología de lóbulos frontales, batería de funciones frontales y ejecutivas, evaluación neuropsicológica.

Summary

Frontal damage is a frequent condition in clinical neuropsychology. Due to the neurofunctional complexity of the frontal lobes, there are few neuropsychological tests that enable an accurate and complete assessment of the executive functions.

A number of neurodevelopmental impairments and acquired brain damage in early life result in structural and functional deficits of the frontal lobes with important consequences in neuropsychological performance. On the other hand, traumatic brain injury in the adult population is becoming more frequent and one of the main alterations is frontal damage. An adequate neuropsychological assessment also allows to make a differential diagnosis between normal and pathological degenerative processes and frontal and posterior dementias in normal aging.

In this article, the Executive Functions Battery is presented. It comprises fifteen subtests that evaluate frontal and executive functions related to different frontal areas: orbitofrontal, medial frontal, dorsolateral prefrontal and anterior prefrontal areas. This instrument may help professional to carry out an extensive and accurate assessment of damage and functional impairment of the frontal lobes.

Keywords: frontal lobe neuropsychology, executive functions battery, neuropsychological assessment.

Introducción

La evaluación neuropsicológica de los procesos cognitivos que soportan los lóbulos frontales, entre ellos las funciones ejecutivas, continúa siendo un reto en nuestro medio profesional y de

investigación. La diversidad y complejidad de estas funciones imponen un importante desafío a los investigadores y profesionales del área, ya que se enfrentan a las preguntas: ¿qué funciones evaluar? y ¿cómo hacerlo? Se suma a lo anterior la falta de pruebas adaptadas y estandarizadas a nuestra población.

La Batería de Funciones Frontales y Ejecutivas que se presenta, es un instrumento que agrupa un número importante de pruebas neuropsicológicas de alta confiabilidad y validez para la evaluación de procesos cognitivos (entre ellos las funciones ejecutivas) que dependen principalmente de la corteza prefrontal.

En adultos, el daño frontal es una entidad más común de lo que se cree, se ha demostrado a través de resonancia magnética funcional que la región que con más frecuencia se daña como consecuencia de traumatismo craneo-encefálico son los lóbulos frontales (Kertesz, 1994). Ante este tipo de daño se presentan una serie de alteraciones muy importantes en la conducta, la regulación del estado de ánimo, el pensamiento y el comportamiento social (Stuss & Levine, 2002).

Debido a que la corteza prefrontal es la estructura cerebral que más tarda en alcanzar su neurodesarrollo, tiene mayor sensibilidad a las condiciones ambientales enriquecedoras, pero también a las negativas como toxinas y estresores ambientales (Casey, Giedd, & Thomas, 2000). El daño prefrontal perinatal o temprano tiene consecuencias muy importantes para el desarrollo neuropsicológico del niño, una de sus características, es que éste puede no ser claramente evidenciado en los primeros años de vida (Malkova, Bachevalier,

Webster, & Mishkin, 2000); debido a que los procesos que dependen de la estructura dañada no se adquieran en edades tempranas (por ejemplo, abstracción), no sean demandados por el medio sino hasta edades posteriores (por ejemplo, solución de problemas complejos), no sean soportados principalmente por esa región en particular en ese momento preciso de la infancia (Smith, Kates, & Vriezan, 1992), o porque no se cuentan con las pruebas o los métodos suficientemente sensibles para detectarlos tempranamente (Wright, Waterman, Prescott, & Murdoch-Eaton, 2003).

Los procesos cognitivos soportados por la corteza prefrontal (CPF), como las funciones ejecutivas (FE), se caracterizan por presentar una importante diversidad en sus alteraciones, ya que el desarrollo de los sujetos puede afectarse en diversas áreas por separado (Samango-Sprouse, 1999), por lo que diversas patologías del desarrollo pueden afectar diferentes FE (Zelazo & Muller, 2002).

Debido a lo anterior, en este artículo se presentan y describen las 15 pruebas que integran la batería de funciones frontales y ejecutivas. Para una revisión de la neuropsicología de lóbulos frontales referirse a Flores & Ostrosky-Solís (en este número).

Justificación

La poca importancia clínica que se ha dado al desarrollo, a la construcción de pruebas de FE y a la participación de la CPF como un factor etiológico principal en un número importantes de patologías, provoca que sin los procedimientos adecuados, no se cuente con la suficiente sensibilidad y especificidad para evaluar y detectar

alteraciones ejecutivas de forma precisa, temprana y oportuna (Wright et al., 2003). Se ha señalado que a pesar de la importancia de las diversas áreas de la CPF para la conducta y la cognición humana, ni siquiera en los adultos son evaluadas de forma satisfactoria por los métodos comunes de evaluación neuropsicológica (Stuss & Levine, 2002).

Debido a lo anterior, se planteó como objetivo principal: seleccionar, desarrollar y adaptar las pruebas neuropsicológicas más apropiadas para realizar una evaluación lo más óptima posible, en un tiempo relativamente corto de evaluación.

Batería de Funciones Frontales y Ejecutivas

El trabajo de selección y diseño de la batería se basó en cuatro aspectos principales:

- a) División de procesos y sistemas dentro de la CPF.
- b) Correlato anátomo-funcional.
- c) Enfoque neuropsicológico clínico (validez y confiabilidad clínico-neuropsicológica).
- d) Soporte de estudios experimentales de neuroimagen funcional.

Las pruebas que conforman la batería utilizada se seleccionaron en base a su validez neuropsicológica: son pruebas ampliamente utilizadas por la comunidad internacional, con suficiente soporte en la literatura científica, con especificidad de área, determinada tanto por estudios con sujetos con daño cerebral, así como también con estudios de neuroimagen funcional que apoyan esta especificidad de área; este es un procedimiento de validez convergente y clínica propuesto para la neuropsicología (Stuss & Levine, 2002).

Debido a que las pruebas se utilizan ampliamente por la comunidad internacional se garantiza la generalización y comparación de resultados entre diversos grupos de investigación.

Sensibilidad al desarrollo

Aunque existe un número importante de estudios en bebés y niños preescolares, por debajo de los 6 años de edad las pruebas tienen que ser transformadas, no sólo para superar la falta de lecto-escritura sino también un desarrollo cognitivo menor; a partir de los 6-7 años de edad se pueden utilizar la mayoría de las pruebas frontales que se usan con los adultos (Wright et al., 2003), lo que permite comparar el desempeño en las mismas tareas y su desarrollo a través de diferentes grupos de edades (niños, adolescentes y adultos jóvenes). Así mismo, por medio de un número importante de estudios de neuroimagen funcional, se ha podido determinar que en niños normales de 5 años de edad en adelante, la CPF se activa de forma significativa ante el desempeño en pruebas neuropsicológicas de FE (Adleman et al., 2002; Schroeter et al., 2004).

Complejidad vs. Precisión en neuropsicología

La relación complejidad-precisión en neuropsicología presenta un tipo de relación lineal inversa: a medida que una prueba es más compleja más áreas de la CPF y del cerebro se necesitan para realizarla y viceversa (Stuss & Alexander, 2000). La complejidad cognitiva relativamente menor de las pruebas frontales permite aprovechar al máximo la precisión de áreas, la cual es uno de los objetivos más importantes en la neuropsicología de lóbulos frontales (Kertesz, 1994; Stuss & Levine, 2002). Es importante aclarar que el concepto "área

principal" no significa área exclusiva. Diversas zonas de la CPF y del cerebro en general se requieren para el desarrollo de una prueba, y mientras más compleja es ésta, mayor número de áreas se requieren para su desarrollo, sin embargo se plantea que los componentes principales de una prueba son particularmente sensibles al daño en una región cerebral específica (Stuss & Alexander, 2000). Las pruebas que integran esta batería se caracterizan por tener poca complejidad cognitiva a favor de la especificidad de área.

Estructura de la batería

Las pruebas que integran la batería se seleccionaron y dividieron principalmente en base al criterio anatómo-funcional: pruebas que evalúan funciones complejas que dependen de la corteza órbitofrontal (COF), corteza prefrontal medial (CPFM), corteza prefrontal dorsolateral (CPF DL) y de la corteza prefrontal anterior (CPFA).

Pruebas que evalúan funciones que dependen principalmente de la COF y CPFM:

1. Stroop. Evalúa la capacidad de control inhibitorio.
2. Prueba de cartas "Iowa". Evalúa la capacidad para detectar y evitar selecciones de riesgo, así como para detectar y mantener selecciones de beneficio.
3. Laberintos. Evalúa la capacidad para respetar límites y seguir reglas.

Pruebas que evalúan funciones que dependen principalmente de la CPF DL:

4. Señalamiento autodirigido. Evalúa la capacidad para utilizar la memoria de trabajo viso-espacial para señalar de forma autodirigida una serie de figuras.

5. Memoria de trabajo visoespacial secuencial. Evalúa la capacidad para retener y reproducir activamente el orden secuencial visoespacial de una serie de figuras.
6. Memoria de trabajo verbal, ordenamiento. Evalúa la capacidad para manipular mentalmente la información verbal contenida en la memoria de trabajo.
7. Prueba de clasificación de cartas. Evalúa la capacidad para generar una hipótesis de clasificación y sobre todo para cambiar de forma flexible (flexibilidad mental) el criterio de clasificación.
8. Laberintos. También permite evaluar la capacidad de anticipar de forma sistemática (planear) la conducta visoespacial.
9. Torre de Hanoi. Evalúa la capacidad para anticipar de forma secuenciada acciones tanto en orden progresivo como regresivo (planeación secuencial).
10. Resta consecutiva. Evalúa la capacidad para desarrollar secuencias en orden inverso (secuenciación inversa).
11. Generación de verbos. Evalúa la capacidad de producir de forma fluida y dentro de un margen reducido de tiempo la mayor cantidad de verbos (fluidez verbal).

Pruebas que evalúan funciones que dependen principalmente de la CPFA:

12. Generación de clasificaciones semánticas. Evalúa la capacidad de productividad: producir la mayor cantidad de grupos semánticos y la capacidad de actitud abstracta: el número de categorías abstractas espontáneamente producidas.

13. Comprensión y selección de refranes. Evalúa la capacidad para comprender, comparar y seleccionar respuestas con sentido figurado.
14. Curva de metamemoria. Evalúa la capacidad para desarrollar una estrategia de memoria (control metacognitivo), así como para realizar juicios de predicción de desempeño (juicios metacognitivos) y ajustes entre los juicios de desempeño y el desempeño real (monitoreo metacognitivo).

Mapa conceptual de la batería

En la tabla 1 se presenta un mapa conceptual de la batería en relación a la relativa menor-mayor complejidad de los procesos evaluados.

Tabla 1
Mapa conceptual de la batería

METAFUNCIONES (CPFA)	<ul style="list-style-type: none"> • Metamemoria • Comprensión de sentido figurado • Actitud abstracta
FUNCIONES EJECUTIVAS (CPF DL)	<ul style="list-style-type: none"> • Fluidez verbal • Productividad • Flexibilidad mental • Planeación visoespacial • Planeación secuencial • Secuenciación inversa • Control de codificación
MEMORIA DE TRABAJO (CPF DL)	<ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo visual autodirigida • Memoria de trabajo verbal-ordenamiento • Memoria de trabajo visoespacial-secuencial
FUNCIONES BÁSICAS (COF y CPF M)	<ul style="list-style-type: none"> • Control inhibitorio • Seguimiento de reglas • Procesamiento riesgo-beneficio

Descripción de las pruebas que integran la batería

Stroop. Evalúa la capacidad del sujeto para inhibir una respuesta automática y para

seleccionar una respuesta en base a un criterio arbitrario. Involucra principalmente áreas fronto-mediales particularmente la corteza anterior del cíngulo (Markela-Lerenc et al., 2004; Stuss, Floden, Alexander, Levine, & Katz, 2001). La versión utilizada en ésta batería consiste en una lámina integrada por columnas de seis palabras cada una, todas las palabras son nombres de colores. La prueba plantea dos condiciones: una condición neutral y una condición conflictiva, en la condición neutral el sujeto solo tiene que leer la palabra impresa, en esta condición la palabra corresponde al color en que está impresa (provocando un efecto de relación palabra-color). En la condición conflictiva se le pide al sujeto que mencione el color en que está impresa la palabra, en esta condición la palabra expresa un color distinto al color en que está impresa, creando una situación conflictiva.

En adultos, la relación entre el desempeño en la prueba de Stroop y la CFM es una de las más reportadas en la literatura, con al menos 15 estudios de neuroimagen funcional que coinciden en esta relación (Chafetz & Matthews, 2004). Se ha planteado que el trabajo de la corteza anterior del cíngulo para el desempeño en la prueba representa un mecanismo detector y ejecutor en el procesamiento de conflicto (Braver, Barch, Gray, Molfese, & Snyder, 2001; Markela-Lerenc et al, 2004), así como una zona indispensable para la selectividad de las respuestas (Coull, Frackowiak, & Frith, 1998). Los estudios de neuroimagen también han encontrado activación de la CFM (Adleman et al., 2002; Schroeter et al, 2004).

Laberintos. Se conforma de cinco laberintos que incrementan su nivel de dificultad,

debido a que progresivamente se tienen que realizar planeaciones con mayor anticipación espacial para llegar a la meta final. Evalúa la capacidad del sujeto para respetar límites (control de impulsividad) y planear la ejecución motriz para llegar a una meta especificada (Stuss & Levine, 2002); involucra principalmente áreas fronto-mediales, orbito-frontales (control motriz) y dorsolaterales (planeación) (Stevens, Kaplan, & Heseelbrock, 2003). Los estudios con resonancia magnética funcional (RMF) en adultos han encontrado activación de la CPFDL en tareas de planeación (Baker, Rogers, & Owen, 1996; Morris, Ahmed, Syed, & Toone, 1993) y en particular de la CPFDL derecha en tareas de planeación viso-espacial (Unterrainer et al., 2005). En particular se han encontrado activaciones en el área 8 prefrontal, el área 6 y el área 49 y 47 (Ghatan et al., 1995), la activación que se presenta en la porción media del área 6, representa una capacidad del área para escoger objetivos en base a claves por lo que se ha propuesto a ésta área como el área "suplementaria" al campo ocular 8. La activación del área 49 y 47 se relaciona con la implementación de la memoria de trabajo esencial para recordar claves visoespaciales mientras se realiza la tarea.

Levin, Song, Swing-Cobbs, y Roberson (2001) estudiaron la sensibilidad de este tipo de prueba en 276 niños con traumatismo craneoencefálico entre 9 y 12 años, encontrando sensibilidad para el daño circunscrito a la corteza frontal, particularmente, encontraron una relación significativa entre las lesiones en el giro orbital, el giro recto y los errores de seguimiento de reglas.

Prueba de cartas "Iowa". Es una adaptación de la versión sugerida y desarrollada para niños de la prueba de cartas "Iowa" (Bechara, 2003; Crone & Van der Molen, 2004; Kerr & Zelazo, 2003). Evalúa la capacidad para operar en una condición incierta y aprender relaciones riesgo-beneficio, de forma que se realicen selecciones (en base a riesgos calculados) que sean lo más ventajosas posibles para el sujeto. Es particularmente sensible al daño en la región órbito-frontal, particularmente ventro-medial (Bechara, Tranel, Damasio, & Damasio, 1996).

El objetivo de la prueba es obtener las mayores ganancias posibles, se dan pocas instrucciones al sujeto para crear un escenario incierto. Los grupos de cartas con el que se obtienen mayores ganancias en el corto plazo son a su vez los grupos de cartas que más pérdidas representan; en el otro extremo, el grupo de cartas que representan menos pérdidas en el corto plazo, tampoco proporciona una cantidad significativa de ganancias en el corto plazo. Los sujetos tienen que establecer las relaciones riesgo-beneficio no explícitas de la prueba, de forma que progresivamente se dejen de seleccionar cartas con ganancias altas pero con mayores riesgos de pérdidas y seleccionar cartas con ganancias moderadas o bajas en el corto plazo, pero que en el largo plazo representan ganancias (Bechara, 2003). Por medio de neuroimagen funcional se ha encontrado activación de la COF durante el desarrollo de esta prueba (Bolla, Eldreth, Matochik, & Cadet, 2004), también se ha encontrado activación de la COF en la toma de decisiones que marcan o señalan el valor o relevancia emocional de la conducta o selección para cada una de las

respuestas disponibles en una situación dada (Elliot, Dolan, & Frith, 2000).

Memoria de trabajo visoespacial autodirigida. La prueba de memoria de trabajo autodirigida es propuesta por Petrides se conforma de una lámina con figuras de objetos y animales, el objetivo es señalar con el dedo todas las figuras sin omitir ni repetir ninguna de ellas, una de las condiciones de la tarea es que supere por mucho el número de elementos totales que un sujeto puede recordar produciendo un efecto "supraspan" (Curtis, Zaid, & Pardo, 2000). El sujeto tiene que desarrollar una estrategia de acción y a la vez mantener en su memoria de trabajo las figuras que ya señaló, para no repetir u omitir ninguna (perseverar u omitir en los señalamientos). Evalúa la capacidad del sujeto para desarrollar una estrategia eficaz a la vez que desarrolla una tarea de memoria de trabajo visoespacial. Involucra áreas prefrontales dorsolaterales (Lamar & Resnick, 2004; Petrides, 1995) principalmente sus porciones ventrales, las cuales forman parte del sistema visual-ventral para el mantenimiento de objetos en la memoria de trabajo (Goldman-Rakic, 1998; Owen, Milner, Petrides, & Evans, 1996). En adultos se ha probado que esta prueba es particularmente sensible al daño en la CPFDL y aun más al daño en su porción ventral (Petrides, 2000; Petrides & Milner, 1982).

Memoria de trabajo visoespacial secuencial. Está basada en la prueba de Cubos de Corsi (Lezak, 1995), pero introduce la variante propuesta por Goldman-Rakic (1998) y Petrides (2000) de señalar figuras que representan objetos reales. Evalúa la capacidad para mantener la identidad de objetos situados con un orden y en un espacio específico, para que

posteriormente el sujeto señale las figuras en el mismo orden en que fueron presentados. Por medio de estudios con lesiones en monos (Goldman-Rakic, 1998), lesiones en humanos (Petrides, 1995) y estudios de neuroimagen funcional en sujetos normales (Coull et al., 1998; Klingberg, Forsberg, & Westerberg, 2002; Lamar & Resnick, 2004), se ha identificado que una propiedad funcional de la CPFDL es el mantenimiento de la memoria de trabajo y el procesamiento del orden serial de los estímulos visuales; así como también el monitoreo y comparación de la información visual (Petrides, 2000). En base a una lámina con figuras de objetos distribuidas simétricamente, el evaluador señala un número de figuras (de 4 a 9), al finalizar, el sujeto tiene que señalar en el mismo orden las mismas figuras señaladas por el evaluador.

La activación de la CPFDL durante el desempeño en tareas de memoria de trabajo viso-espacial es observable desde la infancia (Klingberg et al., 2002).

Memoria de trabajo verbal-ordenamiento. Es una tarea propuesta para la neuropsicología por Collete y Andrés (1999). Ha sido utilizada en pacientes con daño frontal evaluando la capacidad de uno de los componentes del sistema de memoria de trabajo: el administrador central; además de mantener en la memoria de trabajo una cantidad de material verbal para después reproducirlo, se debe ordenar activamente esta información. Esta variante requiere más recursos cognitivos soportados por la CPF, que sólo mantener la información en la memoria de trabajo, por lo que es más sensible al daño frontal (Collete & Andres, 1999; Collete et al., 1999).

Se presentan al sujeto (de forma desordenada) de cinco a siete palabras que empiezan con una vocal o una consonante, el objetivo de la prueba es ordenar mentalmente y reproducir por orden alfabético estas palabras. Evalúa la capacidad para mantener información en la memoria de trabajo y manipularla de forma mental. Diversos estudios con neuroimagen funcional han encontrado que ante el desempeño en el ordenamiento mental en pruebas de memoria de trabajo, se presentan activaciones en el giro frontal medio y en el área 9/46 (Collete et al., 1999; D'Esposito, Postle, Ballard, & Lease, 1999; Tsujimoto, Yamamoto, Kawaguchi, Koizumi, & Sawaguchi, 2004; Tusikiura, Fuji, & Takahaashi, 2001).

Clasificación de cartas. La prueba de clasificación de cartas está basada en la prueba Wisconsin Card Sorting Test y evalúa la capacidad de flexibilidad mental, muy directamente relacionada con la CPFDL (Heaton, Chelune, Talley, Kay, & Curtiss, 2001); consiste en una base de 4 cartas que tienen cuatro figuras geométricas diferentes (círculo, cruz, estrella y triángulo), las cuales a su vez tienen dos propiedades: número y color.

Al sujeto se le proporcionan un grupo de 64 cartas con estas mismas características, las cuales tiene que acomodar debajo de una de las cuatro cartas de base que se presentan en una lámina, por medio de un criterio que el sujeto mismo tiene que generar (color, forma o número). Cualquier carta tiene la misma posibilidad de relacionarse con los tres criterios, no existe un patrón perceptual que guíe la toma de decisión, la decisión correcta es establecida por un criterio arbitrario del evaluador (Miller & Cohen, 2001). La versión de 64 cartas ha probado ser igualmente sensible al daño

prefrontal tanto en adultos (Love, Greve, Sherwin, & Mathias, 2003; Stuss & Alexander, 2000) como en niños (Donder & Wildeboer, 2004), ésta versión es la que se utiliza para esta batería.

Evalúa la capacidad para generar criterios de clasificación, pero sobre todo la capacidad para cambiar de criterio de clasificación (flexibilidad) en base a cambios repentinos en las condiciones de la prueba, este proceso involucra y requiere de la integridad funcional de la CPFDL principalmente izquierda (Stuss & Alexander, 2000); se ha relacionado el daño en la CPFDL izquierda con las perseveraciones en los criterios de clasificación (Milner, 1963; Stuss & Alexander, 2000). La relación entre los errores perseverativos y la CPFDL es una de las relaciones más estudiadas en neuropsicología tanto en sujetos con daño frontal como en estudios de neuroimagen funcional en adultos (Konishi et al., 2002; Monchi, Petrides, Petre, Worsley, & Dagher, 2001; Nagahama, Fukuyama, Yamauchi, & Matsuzaki, 1996; Stuss & Alexander, 2000) y niños (Dibbets, Bakker, & Jollies, 2006) normales.

Torre de Hanoi. Esta prueba evalúa la capacidad para planear una serie de acciones que sólo juntas y en secuencia, conllevan a una meta específica (Dehaene & Changeux, 1997). Se conforma de una base de madera con tres estacas y tres fichas de distinto tamaño. La tarea tiene tres reglas: sólo se puede mover una de las fichas a la vez, una ficha más pequeña no puede estar debajo de una ficha más grande y siempre que se tome una ficha ésta tiene que ser depositada de nuevo. El sujeto tiene que trasladar una configuración en forma de pirámide de un extremo de la

base al otro moviendo las fichas por las estacas.

La CPFDL representa un mecanismo esencial en la organización secuencial de pasos directos e indirectos (Luria, 1986), y se ha propuesto que dentro de las redes cerebrales que soportan los procesos de planeación, la CPF representa el nodo con mayor jerarquía (Dehaene & Changeux, 1997). Los estudios clínicos han encontrado que la CPFDL (principalmente izquierda), representa el mecanismo principal para el óptimo desarrollo de esta prueba (Luria, 1986; Shallice, 1982; Stuss & Alexander, 2000). Diversos estudios con neuroimagen funcional han confirmado ésta relación y han destacado a la CPFDL (principalmente izquierda) como soporte para el proceso de planeación secuencial en ésta prueba (Baker et al., 1996; Dagher, Owen, Boecker, & Brooks, 1999). También por medio de IRMF se ha destacado el papel de la CPF-polar en el mantenimiento y desarrollo de pruebas (como ésta) que requieren el mantenimiento de sub-metas (Curtis et al., 2000).

Resta consecutiva. Esta prueba de resta consecutiva fue extraída del esquema de evaluación neuropsicológica (Ardila & Ostrosky-Solís, 1996). Es una tarea propuesta por Luria (1986), en base a la sensibilidad que encontró para las lesiones de la CPFDL izquierda. Evalúa la capacidad para realizar operaciones de cálculo simple, pero en secuencia inversa tanto intra como entre decenas, lo cual requiere de mantener en la memoria de trabajo resultados parciales, a la vez que se realizan sustracciones continuas. También requiere inhibir la tendencia de sumar, a favor de la tendencia de restar "normalizando" la operación, una capacidad que se afecta por el daño frontal (Ardila & Ostrosky-Solís,

1996; Luria, 1986). Por medio de estudios de neuroimagen funcional se ha encontrado que la CPFDL se activa bilateralmente de forma significativa durante la realización de esta tarea; se plantea que estas activaciones reflejan diversos procedimientos: ordenamiento de las secuencias, monitoreo de la ejecución y memoria de trabajo (Burbaud et al., 2000; Dehaene & Changeux, 1997; Gruber, Rogowska, Holcomb, Soraci, & Yurgelun-Todd, 2002). Se ha propuesto que las activaciones bilaterales de la CPFDL durante la realización de esta tarea también indican el uso y la manipulación activa de las representaciones semánticas del conocimiento aritmético almacenado en la corteza posterior, principalmente parietal (Kazui, Kitagaki, & Mori, 2000).

Fluidez verbal. Evalúa la capacidad para seleccionar y producir de forma eficiente y en un tiempo límite, la mayor cantidad de verbos (acciones) posibles. Requiere de la activación de áreas dorso-laterales izquierdas, particularmente el área de Broca (Piatt, Fields, Paolo, & Troster, 1999). Diversos estudios han reportado mayor especificidad y sensibilidad de esta prueba a las alteraciones frontales izquierdas (Daniele, Giustolisi, Silveri, Colosimo, & Gainotti, 1994) y fronto-estriatales, comparada con la fluidez semántica (Woods et al., 2005). Por medio de neuroimagen funcional se han encontrado que en los adultos las zonas más activas para la realización de esta tarea son las zonas premotora y dorsolateral izquierdas, en particular el área 44 y 45 ó área de Broca (Weiss, Siedentopf, Hofer, & Deisenhammer, 2003). En niños desde los 7 años se han encontrado activaciones similares (Holland, Plante, & Byars, 2001; Wood et al., 2004).

Comprensión y selección de refranes. La prueba de comprensión de refranes es propuesta para la neuropsicología por Luria (1986) y Lezak (1995). Su aplicación en el estudio de pacientes con daño frontal comparando el desempeño de este tipo de pacientes con pacientes con lesiones en diversas zonas del cerebro (no-frontales), ha mostrado especificidad al daño frontal y aún mayores dificultades para seleccionar entre varias alternativas de respuesta (Luria, 1986; Thoma & Daum, 2006). Un componente cognitivo básico en la comprensión de un refrán se logra por medio del análisis activo de las palabras que lo componen, de forma tal que se acceda al conocimiento semántico para determinar el significado de cada uno de sus elementos (Nippold & Haq, 1996), pero la determinación del sentido figurado va más allá de la comprensión lingüística, semántica y sintáctica del mismo, requiere del trabajo activo de la CPF para descifrar un significado que viene implícito en el mensaje verbal (Luria, 1980; Nippold, Martin, & Erskine, 1998).

Los refranes que se utilizan en esta batería se seleccionaron en base a la organización sugerida por Barth y Kufferie (2001), Nippold et al. (1998) y Lezak (1995). Se presentan de forma impresa cinco refranes, los cuales tienen tres respuestas posibles, cada una de las tres respuestas representan tres opciones: a) una respuesta no correcta, b) una respuesta cercana y, c) una respuesta que es la correcta. Con esta prueba se evalúa la capacidad para analizar y comparar de forma abstracta tres posibles soluciones para determinar el sentido de una frase, lo cual requiere de la participación de áreas anteriores de la CPF (Ferretti, Schwint, & Katz, 2007; Luria, 1986; Thoma & Daum, 2006).

Generación de categorías semánticas. Propuesta por Delis, Squire, Birchle, & Massman (1992). Se presenta una lámina con 30 figuras de animales, se pide al sujeto generar todas las clasificaciones que pueda, en un tiempo límite de 5 minutos. Evalúa la capacidad para analizar y agrupar en categorías semánticas una serie de figuras de animales en el mayor número posible de categorías.

El desarrollo de la prueba requiere de las capacidades de abstracción, iniciativa y flexibilidad mental. Involucra principalmente áreas de la CPFDL y de la CPFA (Delis et al., 1992; O'Reilly, Noelle, Braver, & Cohen, 2000). Por medio de estudios con neuroimagen funcional, se ha encontrado que las áreas de la CPFDL-izquierda, en particular el giro frontal inferior (Bright, Moss, & Tyler, 2004; Vanderberghe, Price, Wide, Josephs, & Frackowiak, 1996), participan directamente en el procesamiento y el acceso semántico en este tipo de tareas de categorización (Peranni et al., 1999), representando una regulación jerárquica ("top-down") sobre estructuras cerebrales posteriores (Noppeney, Price, Penny, & Friston, 2005). En particular se ha encontrado que el área 10 (CPFA) se activa de forma significativa ante la categorización visual de objetos (Bright et al., 2004; Noppeney et al., 2005; Reber, Stark, & Squire, 1998). También se ha encontrado una relación significativa entre una mayor complejidad de la comparación y el análisis de relaciones y atributos semánticos, y la activación de la CPFA, particularmente izquierda (Kroger et al., 2002).

Curva de metamemoria. Esta prueba fue propuesta y utilizada por Luria (1986) por su especificidad de área para evaluar juicios de desempeño en pacientes con daño

frontal, actualmente se utiliza tanto en niños como en adultos (DeMarie & Ferron, 2003; Shimamura, 2000), y forma parte de baterías como *la batería de metamemoria* (Belmont & Borkowski, 1988).

Evalúa la capacidad para realizar predicciones, (juicio de desempeño) basadas tanto en la predicción como en el monitoreo del desempeño, también evalúa la capacidad para desplegar un control efectivo sobre la estrategia de memoria que se utiliza para resolver la tarea (Luria, 1986). Involucra áreas prefrontales anteriores (monitoreo del proceso y resultado de memorización) dorsolaterales (estrategia y ejecución) y mediales (control de memorización) (Fernandez-Duque, Baird, & Posner, 2000; Shimamura, 2000).

El objetivo de esta prueba es aprenderse nueve palabras que son presentadas en el mismo orden durante cinco ensayos, antes de cada ensayo se pregunta al sujeto: ¿cuántas palabras cree que se puede aprender? Esta prueba presenta sensibilidad y especificidad a lesiones prefrontales tanto en adultos (Luria, 1986), como en niños (Hanten & Martin, 2001).

Por medio de la RMF se ha encontrado que diversos procesos metacognitivos como los juicios metacognitivos activan porciones anteriores de la CPF (Kykio, Ohki, & Miyashita, 2002; Maril, Simons, Mitchell, & Schwartz, 2003).

Datos Normativos

Para obtener las normas se administró la prueba a 300 sujetos normales de entre 6 y 85 años de edad. De acuerdo a la edad, se dividió a la muestra en nueve grupos: 6-7, 8-9, 10-11, 12-13, 14-15, 16-30, 31-55, 56-64 y 65-85. Debido a la importancia que tiene el nivel escolar en la evaluación neuropsicológica, se estratificó la muestra

de adultos de acuerdo a 2 niveles de escolaridad: de 4 a 9 años y 10 a 24 años.

Los criterios de inclusión fueron: 1) No tener antecedentes de alteraciones neurológicas ni psiquiátricas de acuerdo a una historia clínica, 2) no tener antecedentes de alcoholismo ni fármaco dependencia, 3) no tener limitaciones físicas que impidieran ejecución en pruebas, 4) tener una agudeza visual y auditiva normal o corregida, 5) en el caso de los niños que no tuvieran antecedentes de repetición escolar y un promedio escolar mínimo de ocho y 6) en el caso de los adultos que fueran funcionalmente independientes.

La Batería de Funciones Frontales y Ejecutivas permite obtener no sólo un índice global del desempeño en la batería sino también un índice del funcionamiento de las 3 áreas prefrontales evaluadas: corteza orbitomedial, dorsolateral y prefrontal anterior. Las puntuaciones normalizadas tienen una media de 100 y una desviación estándar de 15, la interpretación de la puntuación total, así como la de cada una de las áreas permite clasificar la ejecución de una persona de la siguiente manera: normal alto (116 en adelante), normal (85-115), alteraciones leves a moderadas (70-84) y alteraciones severas (menos de 69).

Esta batería también cuenta con un perfil de ejecución en el cual se puede observar gráficamente un resumen de las puntuaciones normalizadas correspondientes a cada una de las subpruebas. Este perfil señala las habilidades e inhabilidades del sujeto en cada una de las áreas cognitivas evaluadas. Las puntuaciones normalizadas de las subpruebas tienen una media de 10 y una desviación estándar de 3. Al igual que con la puntuación total, los parámetros de normalización permiten

obtener un grado o nivel de alteración de las funciones cognitivas que se clasifican en: 1) normal alto, 2) normal, 3) alteraciones leves a moderadas, o 4) alteraciones severas para cada una de las subpruebas.

Conclusiones

La *Batería de Funciones Frontales y Ejecutivas* representa una propuesta de evaluación neuropsicológica, amplia y a la vez precisa, en un tiempo relativamente corto de aplicación (de 30 a 40 minutos). Permite la evaluación de muy diversas capacidades que dependen de la CPF, tanto en adultos como en niños. También permite determinar qué áreas dentro de las diversas regiones de la CPF se encuentran comprometidas por el daño o la disfunción de los lóbulos frontales. Se cuentan con datos normativos para 200 sujetos entre 6 y 30 años, y se continúa trabajando en el resto de la población, así como también con pacientes con daño frontal para su validación clínica.

Agradecimientos

Proyecto parcialmente apoyado por financiamiento otorgado a la Dr. Feggy Ostrosky por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (49127-H) y por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México (IN31260).

Referencias

Adleman, N. E., Menon, V., Blasey, C. M., White, C. D., Warsofsky, I. S., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2002). A developmental study of the Stroop color-word task. *Neuroimage*, 16, 61-75.

- Ardila, A., & Ostrosky-Solís, F. (1996). *Diagnóstico del daño cerebral. Un enfoque neuropsicológico*. México: Trillas.
- Baker, S. C., Rogers, R. D., & Owen, A. M. (1996). Neural systems engaged by planning: a PET study of the Tower of London Task. *Neuropsychologia*, *34*, 515-526.
- Barth, A., & Kufferie, B. (2001). Development of a proverb test for assessment of concrete thinking problems in schizophrenic patients. *Nervenarzt*, *72*, 853-858.
- Bechara, A. (2003). The role of emotion in decision making: evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. *Brain and Cognition*, *55*, 30-40.
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1996). Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, *6*, 215-225.
- Belmont, J. M., & Borkowski, J.G. (1988). A group test of children's metamemory. *Bulletin of Psychonomic Society*, *26*, 206-208.
- Bolla, K. I., Eldreth, D. A., Matochik, J. A. & Cadet, J. L. (2004), Sex-related Differences in a Gambling Task and Its Neurological Correlates. *Cerebral Cortex*, *14*, 1226-1232.
- Braver, T. S., Barch, D. M., Gray, J. R., Molfese, D. L., & Snyder, A. (2001). Anterior cingulate cortex and response conflict: effects of frequency, inhibition and errors. *Cerebral Cortex*, *11*, 825-836.
- Burbaud, P., Camus, O., Guehl, D., Bioulac, B., Caille, J., & Allard, M. (2000). Influence of cognitive strategies on the pattern of cortical activation during mental substraction. A functional imaging study in human subjects. *Neuroscience Letters*, *16*, 76-80.
- Bright, P., Moss, H., & Tyler, L. K. (2004). Unitary vs multiple semantics; PET studies of word and picture processing. *Brain and Language*, *89*, 417-432.
- Casey, B. J., Giedd, J. N., & Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relationship to cognitive development. *Biological Psychology*, *54*, 241-257.
- Chafetz, M. D., & Matthews, L. H. (2004). A new interference score for the Stroop test. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *19*, 555-567.
- Collete, F., & Andrés, P. (1999). Lobes frontaux et mémoire de travail. En M. Van der Linden, X. Seron, & P. Le Gall (Eds.), *Neuropsychologie de Lobes Frontaux* (pp. 89-114). Francia: Editorial Solal.
- Collete, F., Salmon, E., Van der Linden, M., Chicherio, C., Belleville, S., Degueldre, C., et al. (1999). Regional brain activity during tasks devoted to the central executive of working memory. *Brain Research and Cognitive Brain Research*, *7*, 411-417.
- Coull, J. T., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1998). Monitoring for target objects: activation of right frontal and parietal cortices with increasing time on task. *Neuropsychologia*, *36*, 1325-1334.

- Crone, E. A., & Van der Molen, M. W. (2004). Developmental changes in real life decision making, performance on a gambling task previously shown to depend on the ventromedial prefrontal cortex. *Developmental Neuropsychology*, *5*, 251-279.
- Curtis, C. E., Zaid, D. H., & Pardo, J. V. (2000). Organization of working memory in the human prefrontal cortex: a PET study of self-ordered object working memory. *Neuropsychologia*, *38*, 1503-1510.
- Dagher, A., Owen, A. M., Boecker, H., & Brooks, D. J. (1996). Mapping the network for planning: a correlational PET activation study with the Tower of London task. *Brain*, *122*, 1973-1987.
- Daniele, A., Giustolisi, L., Silveri, M.C., Colosimo, C., & Gainotti, G. (1994). Evidence for a possible neuroanatomical basis for lexical processing of nouns and verbs. *Neuropsychologia*, *32*, 1325-1341.
- Dehaene, S., & Changeux, J.P. (1997). A hierarchical neuronal network for planning behavior. *Neurobiology*, *94*, 13923-13938.
- Delis, D. C., Squire, L. R., Birchle, A., & Massman, P. (1992). Componential analysis of problem solving ability: performance of patients with frontal lobe damage and amnesic patients on a new sorting test. *Neuropsychologia*, *30*, 683-697.
- DeMarie, D., & Ferron, J. (2003). Capacity, strategies and metamemory: tests of a three factor model of memory development. *Journal of Experimental Child Psychology*, *84*, 167-193.
- D'Esposito, M., Postle, B. R., Ballard, D., & Lease, J. (1999). Maintenance versus manipulation of information held in working memory: an event-related fMRI study. *Brain and Cognition*, *41*, 66-86.
- Dibbets, P., Bakker, K., & Jolles, J. (2006). Functional MRI of task switching in children with specific language impairment. (SLI). *Neurocase*, *12*, 71-91.
- Donders, J., & Wildeboer, M. A. (2004). Validity of the WCST-64 after traumatic brain injury in children. *Clinical Neuropsychologist*, *18*, 521-7.
- Elliot, R., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2000). Dissociable functions in the medial and lateral orbitofrontal cortex: evidence from human neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, *10*, 308,317.
- Fernandez-Duque, D., Baird, J. A., & Posner, M. (2000). Executive attention and metacognitive regulation. *Consciousness and Cognition*, *9*, 288-307.
- Ferretti, T. R., Schwint, C. A., & Katz, A. N. (2007). Electrophysiological and behavioral measures of the influence of literal and figurative contextual constraints on proverb comprehension. *Brain and Language*, *101*, 38-49.
- Flores, J., & Ostrosky-Solís, F. (2008/este número). Neuropsicología de lóbulos frontales, funciones ejecutivas y conducta humana. *Revista de Neuropsicología, Neurociencias y Neuropsiquiatría*, *8(1)*, 47-58.
- Ghatan, P. H., Hsieh, J. C., Wirsén-Meurling, A., Wredling, R., Eriksson, L., Stone-Elander, S., et al. (1995). Brain activation

induced by the perceptual maze test: a PET study of cognitive performance. *Neuroimage*, 2, 112-124.

Goldman-Rakic, P. S. (1998). The prefrontal landscape implications of functional architecture for understanding human mentation and the central executive. En A. C. Roberts, T. W. Robbins, & L. Weiskrantz (Eds.), *The Prefrontal Cortex-Executive and Cognitive Functions* (pp. 87-102) New York: Oxford University Press.

Gruber, S. A., Rogowska, J., Holcomb, P., Soraci, S., & Yurgelun-Todd, D. (2002). Stroop performance in normal control subjects: an fMRI study. *Neuroimage*, 16, 349-360.

Hanten, G., & Martin, R. C. (2001). A developmental phonological short-term memory deficit: a case study. *Brain and Cognition*, 45, 164-188.

Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G.G., & Curtiss, G. C. (2001). Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin, MANUAL (2da ed.). Madrid: TEA Ediciones

Holland, S. K., Plante, E., & Byars, W. B. (2001). Normal fMRI brain activation patterns in children performing a verb generation task. *Neuroimage*, 14, 837-843.

Kazui, H., Kitagaki, H., & Mori, E. (2000). Cortical activation during retrieval of arithmetical facts and actual calculation: a functional magnetic resonance imaging study. *Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 54, 479-485.

Kerr, A., & Zelazo, P. D. (2003). Development of "hot" executive functions,

the children's gambling task. *Brain and Cognition*, 55, 148-157.

Kertesz, A. (1994). *Localization and Neuroimaging in Neuropsychology*. USA: Academic Press.

Klinberg, T., Forsberg, H., & Westerberg, H. (2002). Increased brain activity in frontal and parietal cortex underlies the development of visuospatial working memory capacity during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1-10.

Konishi, S., Hayashi, T., Uchida, I., Kikyo, H., Takahashi E., & Miyashita, Y. (2002). Hemispheric asymmetry in human lateral prefrontal cortex during cognitive set shifting. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 28, 7803-7808.

Kroger, J. K., Sabb, F. W., Fales, C. L., Bookheimer, S. Y., Cohen, S., & Holyoak, K. J. (2002). Recruitment of anterior dorsolateral prefrontal cortex in human reasoning: a parametric study of relational complexity. *Cerebral Cortex*, 12, 477-485.

Kytko, H., Ohki, K., & Miyashita, Y. (2002). Neural correlates for feeling-of-knowing: an fMRI parametric analysis. *Neuron*, 36, 177-186.

Lamar, M., & Resnick, S.M. (2004). Aging and prefrontal functions: dissociating orbitofrontal and dorsolateral abilities. *Neurobiology of Aging*, 25, 553-558.

Levin, H. S., Song, J., Swing-Cobbs, L., & Roberson, G. (2001). Porteus maze performance following traumatic brain injury in children. *Neuropsychology*, 15, 557-567.

- Lezak, M. D. (1995). *Neuropsychological Assessment* (3rd ed.). New York: Oxford University Press.
- Love, J. M., Greve, K. W., Sherwin, E., & Mathias, C. (2003). Comparability of the standard WCST-64 in traumatic brain injury. *Applied Neuropsychology*, *10*, 246-255.
- Luria, A. (1980). *Fundamentos de Neurolingüística*. España: Masson.
- Luria, A. (1986). *Las funciones corticales superiores del hombre*. México: Fontamara.
- Malkova, L., Bachevalier, J., Webster, M., & Mishkin, M. (2000). Effect of neonatal inferior prefrontal and medial temporal lesions of learning the rule for delayed non-matching to sample. *Developmental Neuropsychology*, *18*, 177-188.
- Maril, A., Simons, J. S., Mitchell, J. P., & Schwartz, B. L. (2003). Feeling of knowing in episodic memory: an event related fMRI study. *Neuroimage*, *18*, 827-836.
- Markela-Lerenc, J., Ille, N., Kaiser, S., Fiedler, P., Mundt, C., & Weisbrod, M. (2004). Prefrontal cingulate activation during executive control: which comes first? *Brain Research and Cognitive Brain Research*, *3*, 278-287.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 67-202.
- Milner, B. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting. *Archives of Neurology*, *9*, 90-100.
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K., & Dagher, A. (2001). Wisconsin Card Sorting revisited: distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, *21*, 1367-1378.
- Morris, R. G., Ahmed, S., Syed, M., & Toone, B.K. (1993). Neural correlates of planning ability: frontal lobe activation during the Tower of London test. *Neuropsychologia*, *31*, 1367-1378.
- Nagahama, Y., Fukuyama, H., Yamauchi, H., & Matsuzaki, S. (1996). Cerebral activation during performance of a card sorting test. *Brain*, *119*, 1667-1675.
- Nippold, M. A., & Haq, F. S. (1996). Proverb comprehension in youth: the role of concreteness and familiarity. *Journal of Speech and Hearing Research*, *39*, 166-176.
- Nippold, M. A., Martin, S. A., & Erskine, B. J. (1998). Proverb comprehension in context: a developmental study with children and adolescents. *Journal of Speech and Hearing Research*, *31*, 19-28.
- Noppeney, U., Price, C. J., Penny, W. D., & Friston, K. J. (2005). Two distinct neural mechanisms for category-selective responses. *Cerebral Cortex*, *16*, 437-445.
- O'Reilly, R. C., Noelle, D. C., Braver, T. S., & Cohen, J. D. (2002). Prefrontal cortex and dynamic categorization tasks: representational organization and neuromodulatory control. *Cerebral Cortex*, *12*, 246-257.
- Owen, A. M., Milner, B., Petrides, M., & Evans, A. C. (1996). Memory for object

features versus memory for object location: a positron-emission tomography study of encoding and retrieval processes. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 20, 9212-9217.

Perani, D., Schnur, T., Tettamanti, M., Gorno-Tempini, M., Cappa, S. F., & Fazio, F. (1999). Word and picture matching: a PET study of semantic category effects. *Neuropsychologia*, 37, 293-306.

Petrides, M. (1995). Functional organization of the human frontal cortex for mnemonic processing. Evidence from neuroimaging studies. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 15, 85-96.

Petrides, M. (2000). The role of the mid-dorsolateral prefrontal cortex in working memory. *Experimental Brain Research*, 133, 44-54.

Petrides, M., & Milner, B. (1982). Deficit on subject ordered task after frontal and temporal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 20, 249-262.

Piatt, A., Fields, J., Paolo, A. M., & Troster, A. I. (1999). Action (verb naming) fluency as an executive function measure: convergent and divergent evidence of validity. *Neuropsychologia*, 37, 1499-1503.

Reber, P. J., Stark, C. E., & Squire, L. R. (1998). Cortical areas supporting category learning identified using fMRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 20, 747-750.

Samango-Sprouse, C. (1999). Frontal lobe development in childhood. En B. L. Miller & J. F. Cummings (Eds.), *The Human Frontal*

Lobes (pp. 584-604). New York: The Guilford Press.

Schroeter, M. L., Zysset, S., Wahl, M., & Von Cramon, D. Y. (2004). Prefrontal activation due to stroop interference increases during development--an event-activation related fNIRS study. *Neuroimage*, 23, 1317-1325.

Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Science*, 298, 199-209.

Shimamura, A. P. (2000). Toward a cognitive neuroscience of metacognition. *Consciousness and Cognition*, 9, 313-323.

Smith, M. L., Kates, M. J., & Vriezan, E. R. (1992). The development of frontal lobe functions. En F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of Neuropsychology* (pp. 309-330). Amsterdam: Elsevier.

Stevens, M. C., Kaplan, R. F., & Heseelbrock, V. M. (2003). Executive-cognitive functioning in the development of anti-social personality disorder. *Addictive Behaviors*, 28, 285-300.

Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychology Research*, 63, 289-298.

Stuss, D. T., Floden, D., Alexander, M. P., Levine, B., & Katz, D. (2001). Stroop performance in focal lesions patients: dissociation of processes and frontal lobe lesion location. *Neuropsychologia*, 39, 771-786.

Stuss, D. T., & Levine, B. (2002). Adult Clinical Neuropsychology: lessons from studies of the frontal lobes. *Annual Review of Psychology*, 53, 401-33.

Thoma, P., & Daum, I. (2006). Neurocognitive mechanisms of figurative language processing. Evidence from clinical dysfunctions. *Neuroscience and Behavioral Review*, 30(8), 1182-1205.

Tsujimoto, S., Yamamoto, T., Kawaguchi, H., Koizumi, H., & Sawaguchi, T. (2004). Prefrontal cortical activation associated with working memory in adults and preschool children: an event-related optical topography study. *Cerebral Cortex*, 14, 703-712.

Tsukiura, T., Fuji, T., & Takahashi, T. (2001). Neuroanatomical discrimination between manipulating and maintaining processes involved in verbal working memory: a functional MRI study. *Cognitive Brain Research*, 11, 13-21.

Unterrainer, J. M., Ruff, C. C., Rahm, B., Kaller, C. P., Spreer, J., Schwarzwald, R., & Halsband, U. (2005). The influence of sex differences and individual task performance on brain activation during planning. *Neuroimage*, 24, 586-590.

Vandenberghe, R., Price, C., Wide, R., Josephs, O., & Frackowiak, R.S. (1996). Functional anatomy of a common semantic

system for words and pictures. *Nature*, 383, 254-266.

Weiss, E. M., Siedentopf, C., Hofer, A., & Deisenhammer, E. A. (2003). Brain activation patterns during a verbal fluency test in healthy male and female volunteers: a functional magnetic imaging study. *Neuroscience Letters*, 352, 191-194

Wood, A. G., Harvey, A. S., Wellard, R. M., Abott, D. F., Anderson, V., Kean, M., et al. (2004). Language cortex activation in normal children. *Neurology*, 28, 1035-1044.

Woods, S. P., Scott, J. C., Sires, D. A., Grant, I., Heaton, R. K., & Troster, A. I. (2005). Action (verb) fluency: test-retest reliability, normative standards and construct validity. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11, 408-415.

Wright, I., Waterman, M., Prescott, H., & Murdoch-Eaton, D. (2003). A new stroop-like measure of inhibitory function development: typical developmental trends. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44, 561-575.

Zelazo, P. D., & Muller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. En U. Goswami (Ed.), *Handbook of Child Cognitive Development* (pp. 445-469). Oxford: Blackwell.