2008 – AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN EL CUCBA ISBN: 978-607-00-2083-4

Desarrollo computacional de pruebas para evaluar funciones ejecutivas: HANOI y WISCONSI

Marina Ruiz Díaz¹, Miguel Angel Guevara Pérez² y Marisela Hernández González¹.

Laboratorio de Neurofisiología de la Conducta Reproductiva¹, Laboratorio de Correlación Electroencefalográfica y Conducta². Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. Francisco de Quevedo #180 Arcos Vallarta, CP 44130. Guadalajara, Jalisco, México.

Correo-e: marina_ruiz_diaz@yahoo.com

Introducción

El concepto de función ejecutiva (FE) fue popularizado por Lezak (1982), sin embargo fue Luria (1962) quien esboza el término en su libro "Higher Cortical Functions in Man", el cual refiere que se trata de un constructo, es decir, un esquema teórico de ideas, con capacidad de describir y evaluar, sistemáticamente, una serie de conductas humanas y su rendimiento.

Las funciones ejecutivas (FE) incluyen procesos cognitivos complejos tales como la anticipación, la generación de estrategias, la selección y ejecución del plan de acción apropiado y socialmente aceptable a la meta propuesta, el monitoreo de la conducta manteniendo la estrategia elegida en caso de ser exitosa y flexibilidad mental para variar de estrategia ante contingencias.

Se dice que la región anterior del cerebro es la encargada de mediar las funciones ejecutivas, así como también de mediar las deficiencias en las habilidades ejecutivas comúnmente como consecuencia a un daño en la corteza prefrontal (Stuss & Benson 1986).

Anderson (2002), basándose en estudios analíticos y en conocimientos neuropsicológicos actuales, propone un modelo de funciones ejecutivas. De acuerdo con el punto de vista de Stuss y Alexander (2000), este modelo conceptualiza a las funciones ejecutivas como cuatro dominios distintos: a) Control atencional, b) Procesamiento de información, c) Flexibilidad cognitiva, y d) Establecimiento de metas. Estos dominios ejecutivos están relacionados con sistemas frontales específicos. Sin embargo, todos operan de forma integrada para ejecutar ciertas tareas y se conceptualizan como un sistema de control total.

Actualmente se aplican diversos tipos de test para medir funciones ejecutivas como planeación, organización, solución de problemas, seguimiento de reglas y estrategias, así como también para medir la atención y la memoria de trabajo, entre otras, estas tareas están relacionadas con el funcionamiento de las áreas prefrontales. Entre las más frecuentemente utilizadas en el diagnóstico clínico y la investigación son: el Wisconsin Card Sorting Test (WCST), la prueba de Stroop, Las Torres de Londres y Torres de Hanoi (TOH).

La TOH es conocida como uno de los más famosos y fascinantes de todos los juegos matemáticos. Fue inventado como un juego para niños en 1883 por el matemático francés Francois Edouard Anatole Lucas. Aunque la idea representante del patrón es considerablemente posterior en tiempo y es encontrada en varias culturas a través del mundo. El acertijo es, en efecto, un modelo dentro del concepto de series de juegos

geométricos. A pesar de su simplicidad, un hecho intrigante en nuestros días es que califica como uno de los diez grandes acertijos de todos los tiempos (Danesi 2004).

Las TOH constituyen una tarea de ejecución considerada como una prueba de planeación, organización y programación visoespacial, de una secuencia de movimientos y de atención y memoria de trabajo, que mide funciones ejecutivas. Esta prueba necesita un buen recurso de memoria de trabajo, tanto para mantener las normas como para anticipar movimientos en base a la predicción mental de configuraciones intermedias, así como para mantener la meta final y el tipo de estrategias utilizado en cada movimiento.

Diversos estudios han mostrado que durante el procedimiento de las TOH existe una prominente activación bilateral en prefrontales, cíngulo, corteza motora, parietal y occipital (Schuepbach et al. 2002).

La tarea de esta prueba consiste en lo siguiente: se tienen tres torres, en una de ellas hay n discos de diferentes tamaños, organizados de manera que el mayor esta debajo de los demás y así sucesivamente. El problema consiste en mover todos los discos a otra torre, pero con la condición de mover solo uno cada vez, los discos siempre tienen que estar en una de las torres y nunca se puede colocar un disco mayor sobre uno menor.

Por otro lado, una de las pruebas neuropsicológicas más usadas para evaluar las funciones ejecutivas es la Clasificación de Cartas de Wisconsin (WCST), la cual ha demostrado ser sensible a la detección de lesiones o disfunciones frontales y que requiere, para su adecuada ejecución, de procesos superiores como la solución de problemas, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva.

La prueba original del WCST consiste en la presentación de cuatro cartas muestra, junto con un bloque de 128 cartas respuesta (cartas estímulo). Durante la aplicación se le presentan al sujeto una por una estas 128 cartas, las cuales tendrá que empatar con alguna de las cuatro cartas muestra. El sujeto no sabrá cual es el criterio que debe elegir para clasificar o empatar las cartas, se le pide que coloque la carta que se le presenta con alguna de las cartas muestra. Lo anterior puede ser con base a un criterio de clasificación en 3 dimensiones: color (rojo, verde, amarillo o azul), forma (triangulo, estrella, cruz o circulo), o número (uno, dos, tres, cuatro). La primera categoría con la cual se comenzará a calificar correctamente es color, si el participante clasifica las cartas por el color, el evaluador dirá "correcto", en caso contrario dirá "incorrecto". Este proceso continúa hasta que el participante produzca diez respuestas correctas consecutivas. Después de completar la primera categoría cambia el principio de clasificación de color a forma, cuando haya cumplido diez respuestas correctas consecutivas clasificando de acuerdo a la forma, se pasa al tercer criterio de clasificación que es número., bajo este criterio, también debe completar diez respuestas correctas consecutivas. Una vez terminado este procedimiento se vuelve a repetir el criterio de color, luego forma y luego número. La prueba termina ya sea al completar las seis categorías o cuando se terminan las 128 cartas respuesta. Es importante mencionar que nunca se comunica al participante el cambio de criterio de clasificación. El cambio se da de forma implícita cuando se retroalimenta al participante, diciéndole si la respuesta es o no es correcta. Cuando se cambia el criterio de categorización, el participante debe cambiar su organización cognitiva para identificar y acomodar sus cartas de acuerdo al nuevo criterio.

En el Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara, en el Laboratorio de Correlación Electroencefalográfica y Conducta, se diseñaron los

programas computacionales a partir de las pruebas originales de estas 2 pruebas, WISCONSI y HANOI.

Estas versiones computarizadas tienen muchas ventajas con respecto a las versiones en papel, ya que facilitan su aplicación, calificación e interpretación y permiten una gran flexibilidad en su aplicación. Además, registran los tiempos de respuesta de los participantes, brindan retroalimentación ante cada intento de movimiento correcto o erróneo y crean un archivo de salida (en ASCII) con los resultados de cada aplicación. La facilidad y flexibilidad de instalación y aplicación, así como el cálculo preciso y almacenamiento de los diferentes parámetros, hacen de estos programas una útil herramienta computacional que permite realizar estudios dentro y fuera del laboratorio (hospitales, industrias, escuelas, centros penitenciaros, etc.).

Ambos programas fueron realizados para ser ejecutados en computadoras compatibles con PC; requieren, como mínimo, de un procesador Pentium con al menos 256 Mbytes de memoria RAM. Los programas funcionan en el sistema operativo Windows, en cualquiera de sus versiones, se realizaron en el lenguaje de programación Delphi (versión 5); el cual permite el manejo de tiempos reales, cuenta con todas las funciones de un lenguaje estructurado y permite el desarrollo de programas sobre el ambiente Windows. El archivo ejecutable se llama Wisconsin.exe y Hanoi.exe correspondientes a cada prueba y no requieren instalación, basta con copiarlo.

Así pues, en este trabajo se presenta el manejo y eficiencia de los programas computacionales WISCONI y HANOI en una muestra de sujetos masculinos jóvenes sanos.

Materiales y métodos

Participaron 15 sujetos masculinos sanos jóvenes entre 25 y 35 años de edad. A los cuales se les aplicaron, en forma contrabalanceada, ambas pruebas teniendo así dos grupos correlacionados: el grupo 1, con los 15 resultados de aplicar WISCONSI y el grupo 2 con los 15 resultados de HANOI.

El experimento consistió de una sesión de aproximadamente 1 hora de duración, en la que se les aplicaron ambas pruebas a los 15 sujetos. A ninguno de los participantes se les dio a conocer las reglas implícitas en las pruebas, las cuales tenían que deducir a través de retroalimentación de las mismas pruebas que les indicaba si un movimiento era incorrecto escrito en la pantalla y mediante una voz emitida por las bocinas de la computadora.

Se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros que brinda cada uno de los programas.

PROGRAMA HANOI

Se tienen 3 torres alineadas en línea recta. El problema consiste en mover 3 discos de la primera torre a la última torre, pero con la condición de mover solo uno cada vez, los discos siempre tienen que estar en una de las torres y nunca se puede colocar un disco mayor sobre uno menor. El tiempo límite de ejecución es de 7 min. A la versión computarizada se le agregó una regla donde el sujeto debe mover los discos a la torre contigua, será considerado como movimiento incorrecto el intentar mover un disco de la primera torre a la última torre (la computadora irá marcando los errores de ejecución). Con la regla añadida, el número mínimo de movimientos que se requieren para realizar

la tarea será de 26 (mientras en la versión clásica el número mínimo de movimientos para realizar la prueba con tres discos es de 7).

La versión computarizada que se utilizó en este experimento consta de una computadora y un mini teclado que se le conecta a través de un puerto USB, el cual tiene 9 teclas: una fila de 3 teclas rojas, otra fila de 3 teclas verdes y otra de 3 filas azules, las cuales corresponderán a los colores de los 3 discos que se utilizarán en la tarea y las posiciones de las teclas corresponderá a las tres torres de la prueba. Los resultados obtenidos en esta prueba son: latencia del primer movimiento, movimientos correctos, movimientos incorrectos, total de movimientos.

PROGRAMA WISCONSI

La versión computarizada de esta prueba sigue el procedimiento clásico de aplicación de la prueba original de WCST (como se mencionó anteriormente), pero con la diferencia de que tanto las cartas muestra como las cartas respuesta aparecen en el monitor de una computadora. Las cartas respuesta van apareciendo de una en una y, por medio de un teclado, el sujeto les asigna el acomodo. Por medio de una bocina en la computadora, y de un letrero que aparece en la pantalla, se le indica al sujeto si su respuesta fue correcta o incorrecta. El tiempo de aplicación no varía, respecto a la versión clásica con tarjetas (15 a 20 minutos) y tan pronto finaliza el programa, se tienen ya de forma automática los resultados acomodados en archivos específicos. El archivo de resultados proporciona los siguientes datos: número de categorías completadas (número máximo 6 categorías), número de respuestas correctas, número de errores, número de errores perseverativos, porcentaje de errores perseverativos e incapacidad para mantener la organización.

Resultados

RESULTADOS DE HANOI

Respecto a los parámetros evaluados durante la ejecución de Torres de Hanoi, se muestran a continuación, los resultados obtenidos por cada uno de los 15 sujetos, así como las medias y desviación estándar de cada parámetro.

Cuadro 1. Parametros evaluados en la aplicación del programa HANOI.

				· · F · O · ·	
No. de sujeto	LATENCIA PRIMER MOVIMIENTO	TOTAL MOVIMENTOS	MOV CORRECTOS	MOV INCORRECTOS	TIEMPO TOTAL (SEG)
Sujeto 1	2.60	29.00	26.00	3.00	59.60
Sujeto 2	7.30	81.00	42.00	39.00	382.50
Sujeto 3	4.5	103	56	47	247.8
Sujeto 4	2.90	107.00	50.00	57.00	188.30
Sujeto 5	3.7	139	52	87	233.6
Sujeto 6	4.8	147 46		101	331.3
Sujeto 7 7.9		58	26	32	189.8
Sujeto 8	1.7	48	34	14	138.4
Sujeto 9	4.6	82	34	48	244.9
Sujeto 10 5.9		109	46	63	201.9
Sujeto 11	3.6	101	54	47	341.1
Sujeto 12 5.4		102	68	34	371.8
Sujeto 13	2.6	51	28	23	142
Sujeto 14	7	118	60	58	400.8
Sujeto 15 4.4		29	26	3	73.1
MEDIA	4.59	86.93	43.20	43.73	236.46
DESV.EST	1.84	37.10	13.64	27.81	109.87

En el cuadro se muestran los resultados obtenidos en cuanto a las medias y desviación estándar de cada uno de los parámetros evaluados. En la figura 1 se han graficado los datos descriptivos de las medias y error estándar del total de movimientos y movimientos correctos.

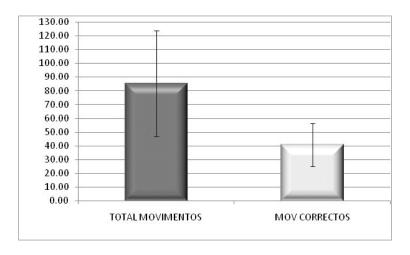


Figura 1. Media y error estandar del total de movimientos y movimientos correctos en la aplicación del programa HANOI.

El cuadro 1 y la figura 1, muestran un ejemplo de las posibilidades de análisis que el programa nos brinda, debido a que se pueden graficar todos los parámetros obtenidos y aplicar diversos tipos de estadística inferencial, dependiendo del tipo de comparación que se pretenda realizar.

RESULTADOS WISCONSI

Respecto a los parámetros evaluados durante la ejecución de WISCONSI, se muestran a continuación los resultados obtenidos por cada uno de los 15 sujetos con sus medias y desviaciones estándar.

Cuadro 2. Parámetros evaluados	en la aplic	cación del p	rograma WISCONSI.
--------------------------------	-------------	--------------	-------------------

					•	Tiempo	Tiempo de	Tiempo de	
37 1	Total	m . 1 1	m . 1 1		Total de	reacción	reacción	reacción	Incapacidad
No. de	estimulos	Total de	Total de	Secuencias	perseveraci	promedio	promedio de	promedio de	Mantener
sujeto	presentados	correctos	incorrectos	terminadas	ones	total	correctas	incorrectas	Organización
						(mseg)	(mseg)	(mseg)	-
Sujeto 1	77	65	12	6	6	1919.8	1809.6	2516.7	0
Sujeto 2	86	74	12	6	5	1764	1711.6	2087.3	1
Sujeto 3	91	70	21	6	8	1732	1698.7	1843	0
Sujeto 4	92	79	13	6	10	1771.3	1623.9	2667.1	2
Sujeto 5	108	80	28	6	11	2000	1830	2530	2
Sujeto 6	81	70	11	6	6	1500.4	1515.2	1406.1	1
Sujeto 7	105	80	25	6	13	3139.3	2649.3	4707.5	2
Sujeto 8	99	81	13	6	12	1710	1630	2050	1
Sujeto 9	119	90	29	6	17	1790	1760	1870	2
Sujeto 10	79	70	9	6	5	1820	1720	2530	1
Sujeto 11	87	69	18	6	16	1860	1610	2790	1
Sujeto 12	98	73	25	6	19	2130	1840	2950	0
Sujeto 13	79	65	14	6	6	1870	1730	2540	0
Sujeto 14	98	82	16	6	8	1890	1700	2890	2
Sujeto 15	107	86	21	6	9	1890	1760	2440	2
MEDIA	93.73	75.60	17.80	6.00	10.07	1919.12	1772.55	2521.18	1.13
DESV.EST	12.54	7.60	6.59	0.00	4.53	365.86	258.06	743.46	0.83

En el cuadro 2 se muestran todos los parámetros que el programa que el arroja al evaluar a cada sujeto, con los cuales es posible aplicar cualquier tipo de estadística descriptiva o inferencial.

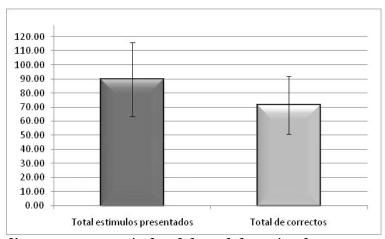


Figura 2. Media ±2 errores estándar del total de estímulos presentados y total de repuestas correctas en la ejecución del WICONSI.

En la figura 2 se grafica el promedio de estímulos presentados a sujetos sanos, diestros y el total de aciertos por medio del cual podremos inferir el número total de respuestas incorrectas. Dichos resultados pueden ser sometidos a análisis estadísticos de tipo inferencial si el estudio lo requiriera.

Discusión

Por medio de este tipo de resultados obtenido podemos realizar inferencias y sugerencias acerca del comportamiento y procesamiento ejecutivo que el sujeto o grupo de sujetos presentan, ya que en cuanto a los parámetros evaluados de la ejecución de las Torres de Hanoi, de forma general se encontraron patrones normales y fuera de cualquier alteración. Lo que se puede sugerir como un buen desempeño en cuanto a la

habilidad de planeación que presentan los sujetos sanos, lo que corresponde con otros autores (León-Carrion y Barroso y Martín 2001) que han aplicado las TOH en versión digital y manual y quienes mencionan resultados similares en cuanto a la ejecución en la tarea de TOH. Esta prueba requiere de factores como la necesidad de mantener e iniciar una acción, comprensión del problema, planeación, monitorización, memoria de trabajo, organización temporal y nos muestra como esta tarea es una herramienta efectiva para evaluar la integridad del sistema ejecutivo. La medición del tiempo de respuesta y tiempo total de ejecución, algunos autores la han utilizado como parámetro determinante de una optima solución de problema (Welsh 1994).

Con respecto a los resultados de los parámetros conductuales de WISCONSI, podremos inferir que, de la misma manera que con los resultados de HANOI, los sujetos se desempeñaron adecuadamente para los rangos de edad que muestran, siendo corroborado por otros autores (Periañez & Barceló 2001) quienes reportan resultados similares en cuanto a la aplicación del WCST en sujetos sanos. Esta prueba se ha considerado como sensible en pacientes con daño prefrontal y por otro lado se ha descrito que presenta ciertas dificultades en el proceso de calificación, por lo que algunos han sugerido modificaciones a dicha prueba (Periañez & Barcelo 2001), sin embargo esta versión computarizada del WCST nos facilita y evita errores de computo en su calificación.

Conclusiones

Los resultados de la aplicación de los programas computacionales HANOI y WISCONSI en sujetos sanos de 25-35 años de edad, muestran la rapidez, eficacia y exactitud con la cual estas versiones computarizadas permiten evaluar los diferentes parámetros que tradicionalmente han sido considerados en estas pruebas neuropsicológicas. La facilidad de manejo y acceso a los diferentes archivos de datos, permite también un rápido análisis estadístico y graficación de los mismos.

Referencias

- Anderson, P. (2002). Assessment and Developmentof Ejecutive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology*. Vol. 8, No. 2, pp. 71-82, Australia.
- Danesi, M. (2004). The liar Paradox y las Torres de Hanoi. Los diez grandes acertijos matemáticos de todos los tiempos, 105-123, Estados Unidos de América.
- Fuster, J. M. (1999). Sinopsis of function and dysfunction of the frontal lobe", en *ACTA Psychiatrica Scandinavica Acta Psychiatr.* 99:51-57, Copenhagen.
- Leon-Carriómn, J. y Barroso y Martín, J. M. (2001). La torre de Hanoi/Sevilla: una prueba para evaluar las funciones ejecutivas, la capacidad para resolver problemas y los recursos cognitivos. Revista Española de Neuropsicología. 3: 63-72.
- Lezak M. (1982). The problems of assessing executive functions. Int J Psychol;17:281-297.
- Luria A. R. (1962). Higher cortical functions in man. Ed. English translation by Haigh B. of 1st Russian edition (Moscow University Press, Moscow). New York: Basic Books and Plenum Press.

- Periañez, J. A. y Barceló, F. (2001). Adaptación Madrid del test de clasificacipon de cartas de Wisconsin: un estudio comparativo de consistencia interna. Rev neurol. 33: 1-8.
- Schuepbach, D., Merlo, M. C. G., Goenner, F., Staikov, I., Mattle, H. P. Dierks, T. & Brenner, H. D. (2002). Cerebral hemodynamic response induced by the Tower of Hanoi puzzle and the Wisconsin Card Sorting test. Neuropsychologia. 40, 39-53.
- Stuss, D. T. y Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: conceptual view. Psychol Res.; 63(3-4):289-98.
- Stuss, D. T. y Benson (1986). Neuropsychological Studies of the Frontal Lobes. Psychological Bulletin. Vol. 95. No. 1, 3-28. U.S.A.
- Welsh, M., cicerello, A., cuneo, K., Brennan, m. (1994). Error and temporal patterns in towe of hanoi performance; cognitive mechanisms and individual differences. Journal of General Psychology. 122: 69-81.