



Colombia Médica

ISSN: 0120-8322

colombiamedica@correounivalle.edu.co

Universidad del Valle

Colombia

Parra, Mario Alfredo

Método para el estudio de los movimientos oculares

Colombia Médica, vol. 35, núm. 2, 2004, pp. 55-61

Universidad del Valle

Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28335202>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Método para el estudio de los movimientos oculares**Mario Alfredo Parra, M.D.*****RESUMEN**

Introducción: El análisis cuantitativo de los movimientos oculares en el dominio digital ha permitido incrementar la cantidad de información fisiológica que se puede extraer durante la interpretación de las señales oculográficas. En el terreno de las neurociencias, esto posibilita profundizar en el estudio de los mecanismos fisiopatológicos responsables de las afecciones oculomotoras.

Objetivos: La finalidad de estos métodos de análisis es reducir el componente subjetivo que se introduce durante la clasificación visual de registros de actividad eléctrica, reduciendo además la experiencia requerida para hacer una correcta evaluación de patrones funcionales.

Material y métodos: En el presente trabajo, se estudió la respuesta de persecución visual en 27 sujetos normales aplicando métodos de análisis cuantitativo tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia. Se determinó un conjunto de variables que actúa como descriptores cuantitativos de la ejecución oculomotora durante tareas que activan al sistema motor ocular.

Resultados: Demuestran que las variables estudiadas en ambos dominios pueden ser de gran utilidad para incrementar el conocimiento de los mecanismos subyacentes a la ejecución oculomotora. La cantidad de información extraída por estos métodos, supera 80% del total de la posible a extraer.

Conclusiones: Se deben dirigir estudios posteriores para evaluar el comportamiento de estas variables en afecciones del sistema nervioso donde el sistema motor ocular muestre algún grado de compromiso funcional.

Palabras clave: Análisis cuantitativo. Métodos de análisis en neurociencias. Movimientos oculares. Técnicas digitales. Análisis espectral.

Desde el siglo XX se observó que los movimientos oculares se alteran en pacientes que sufren determinadas afecciones del sistema nervioso central (SNC). Esto llevó a pensar que su exploración podía convertirse en una herramienta de gran utilidad para profundizar en el conocimiento de las bases neurales subyacentes a la ejecución oculomotora tanto en condiciones normales como en determinadas afecciones del sistema nervioso central¹⁻³.

Mucho se ha evolucionado desde la simple inspección de los globos oculares hasta la actualidad. El advenimiento y desarrollo de la electrónica ha permitido construir medios para registrar el movimiento de los globos oculares e interpretar diferentes patrones norma-

les y anormales. Los métodos analógicos de registro imponen restricciones al conocimiento de estas respuestas fisiológicas, porque a través de ellos el análisis se circunscribe prácticamente a la descripción visual del trazado^{2,4,5}. El estado de desarrollo actual ha demostrado que mucha información queda por interpretar visualmente luego de clasificar un patrón^{6,7}. Con la introducción de los ordenadores y sus aplicaciones en las investigaciones biomédicas, se ha comenzado a retirar el manto que cubría la información oculta, pudiéndose observar que ésta no sólo permite profundizar en el conocimiento de los procesos motores involucrados en la génesis de los movimientos oculares, sino también, en procesos mucho más

complejos relacionado con la actividad nerviosa superior, tales como la atención visual, la memoria, la orientación, etc.⁶⁻⁸

En el presente trabajo se desarrolla un método de análisis cuantitativo de la motilidad ocular en el dominio digital para el análisis del movimiento visual de persecución o seguimiento, que representa uno de los sistemas visiomotores más complejos dentro de los lazos de transducción sensorimotora^{1,2,9}. La persecución ocular es un tipo de movimiento conjugado de control voluntario, en respuesta a estímulos que se desplazan a través del campo visual. Este sistema se caracteriza por mostrar una trayectoria de movimiento muy uniforme con respecto a la del estímulo cuando este último se desplaza a velocidades lentas. Cuando la velocidad se eleva por encima del umbral óptimo de

* Docente e Investigador, Laboratorio de Neurofisiología Clínica, Unidad Biomédica, Facultad de Medicina, Universidad Surcolombiana, Neiva. e-mail: marioparra@usco.edu.co
Recibido para publicación noviembre 7, 2003 Aprobado para publicación marzo 12, 2004

énfasis, el patrón cambia a un aspecto irregular denotando una dificultad para mantener esta respuesta^{2,10}.

En este trabajo se propone un conjunto de variables cuantitativas que caracterizan al funcionamiento del sistema oculomotor, reduciendo el componente subjetivo de la inspección, así como la experiencia requerida por el examinador para la interpretación de esta respuesta.

MÉTODO

Se seleccionaron 27 personas normales (13 hombres y 14 mujeres), con edades comprendidas entre 20 y 50 años (35+10.2), todos con altos niveles de escolaridad y sin antecedentes de enfermedades neurológicas, otológicas o psiquiátricas. Se les informó acerca del experimento, obteniéndose el consentimiento unánime para participar en el mismo.

Protocolos de estimulación. La estimulación visual se llevó a cabo utilizando un monitor de 14 pulgadas situado a 75 cm de distancia del plano visual del sujeto. Esto proporciona un espacio a estimular de 20° de arco visual. Los sujetos se sentaron frente al monitor, con la cabeza fija sobre un soporte para evitar artefactos de movimientos. La habitación era oscura para estabilizar el potencial córneo-retinal. Para la estimulación visual se emplearon dos protocolos:

Calibración. La calibración fue el procedimiento empleado para convertir la magnitud del desplazamiento de los globos oculares de microvoltios (que es como se registra el potencial córneo-retinal) a grados (que es como analiza y ejecuta el sistema visual). Para esto se utilizó una aplicación diseñada y programada por el autor, que genera un cuadrado de 1 cm (1° de arco) de color blanco sobre un fondo negro, que aparece en el centro de la pantalla (0°) y

luego de un período de fijación desaparece para reaparecer tras un intervalo estimado en una nueva posición a una excentricidad lateral de 10°, tanto a la derecha como a la izquierda en una secuencia aleatoria.

Persecución visual. Luego de calibrar se seleccionó el módulo de Tracking, que genera un cuadrado con iguales características que aparece en el extremo derecho y se desplaza en un plano horizontal de derecha a izquierda a velocidades crecientes. Para este experimento se seleccionaron bloques de 20 ensayos cada uno a velocidades de (10°/seg, 20°/seg, 30°/seg, 40°/seg, y 50°/seg), correspondiendo a frecuencias de desplazamiento de (0.25 hz, 0.5 hz, 0.75 hz, 0.97 hz y 1.2 hz).

Las instrucciones a cada persona fueron seguir el objeto sin desviar la mirada hacia otro lugar, evitar al máximo el parpadeo y no hablar ni ejecutar ningún otro tipo de movimiento durante la ejecución de la tarea. La fase de examen individual duró aproximadamente 30 minutos para cada sujeto.

Protocolo de registro. Para el registro de las señales del movimiento ocular se empleó la metodología propuesta por los estándares para la electronistagmografía⁴. Se utilizaron electrodos de disco colocados en los cantos externos de las órbitas para el registro de los movimientos conjugados y sobre los rebordes orbitales superior e inferior del ojo izquierdo para el registro del artefacto por parpadeo. Las respuestas a ambos protocolos de estimulación se digitalizaron en sincronía con los estímulos en un equipo de electroencefalografía digital Medicid-3E (Neuronic SA, Cuba), a una frecuencia de 250 Hz con los parámetros de registro fijados acorde con los requerimientos de las respuestas oculográficas⁴. Las señales digitales almacenadas se importaron por un *Software* diseñado y programado por el autor para el análisis automá-

tico de las respuestas oculomotoras.

Desarrollo del método cuantitativo. El análisis cuantitativo de las señales de seguimiento visual se dividió en dos dominios.

Análisis en el dominio del tiempo. Este análisis brinda una evaluación cuantitativa del movimiento ocular de una manera aproximada pero más precisa a como lo realiza la simple inspección visual de la gráfica^{6-8,11,12}. Se determinaron dos variables en este dominio:

Ganancia. Los valores de esta variable expresan de forma objetiva la capacidad del sistema de persecución para mantener la mayor parte del tiempo los globos oculares enfados con el estímulo en movimiento. Para el cálculo de la misma se empleó la siguiente metodología: utilizando la señal de calibración se procedió a convertir la señal del movimiento de seguimiento ocular de microvoltios a grados de desplazamiento como aparece en la ecuación 1.

$$G_t = Y_t \cdot g/F$$

Y_t : Señal en microvoltios

F : Factor de conversión que representa la magnitud de cambio de Y_t por cada grado de excentricidad visual

g : Grados de excentricidad que inducen la variación de F

G_t : Señal de desplazamiento en grados

A partir de los resultados de esta expresión se determinó la velocidad ocular en grados por segundo por medio de la ecuación 2.

$$V_t = (\Delta G \cdot S)/T \quad \Delta G = G_{(t+5)} - G_{(t)}$$

ΔG : Es la variación de posición del globo ocular cada 5 puntos digitalizados. Estimado del mínimo de variación

S : Período de muestreo de la señal (4 ms = 250 hz)

T : Factor de conversión de milisegundos a segundo

V_t : Señal de velocidad ocular expresada en grados por segundos

Para obtener la ganancia del sistema era preciso utilizar un estadígrafo que caracterizara la constancia de la ejecución, de manera que ofreciera un estimado de la velocidad más empleada durante la tarea. La moda fue el que mejor caracterizó este parámetro de forma que la ganancia se calculó como se observa en la ecuación 3.

$$G_n = M(V_i)/V_e$$

G_n: Ganancia del sistema

M(V_i): Moda de la velocidad ocular durante el seguimiento del estímulo

V_e: Velocidad del estímulo

Número de interrupciones sacádicas. Cuando se eleva la velocidad del estímulo los globos oculares tienden a quedarse retrasados con respecto a este, de manera que el sistema visual calcula un error de posición retiniano que es corregido por una súbita sacudida del globo ocular hacia la posición real. Esta sacudida se llama *sácada* y se observa con frecuencia creciente a medida que la velocidad del estímulo aumenta. Esta variable, por los métodos convencionales analógicos, se calcula manualmente. Se cuenta el número de ocurrencias de lo que según el ojo del observador constituye una *sácada*. A través de este método cuantitativo automático, se propone la ecuación 4 que, al usar un valor umbral predefinido recorre la señal describiendo una función igual a la que movió al objeto para que se encuentren todos aquellos movimientos oculares súbitos cuya velocidad está por encima de dicho valor.

$$\text{Sácada si } -U_d > V_i > U_d$$

U_s: Umbral sacádico

(-) Sácada izquierda

(+) Sácada derecha

V_i: Velocidad del globo ocular

Análisis en el dominio de la frecuencia. La señal de seguimiento ocular también es susceptible de ser anali-

zada en el dominio de la frecuencia^{13,14}. El sistema que garantiza este tipo de respuesta tiene la propiedad de generar comandos que permiten enfazar los globos oculares con el objeto en desplazamiento. Así, la función que describe el movimiento ocular será igual o muy similar a la que mueve al objeto.

Como se conoce la función del objeto según fue descrito en el acápite de estimulación, se puede inferir cómo será la función que mueva al ojo. La función que mueve al objeto en el monitor es una función periódica, pues describe un desplazamiento de derecha a izquierda y de izquierda a derecha de forma cuasi-estable a frecuencias introducidas por software.

La periodicidad del estímulo, asume periodicidad de la respuesta oculomotora, haciendo a esta última susceptible de ser analizada en el dominio de la frecuencia por medio de la transformada rápida de Fourier (FFT del inglés), como se observa en la ecuación 5.

$$E_i = \text{FFT}(Y_i)$$

E_i: Espectro de frecuencia

FFT: Función de transformación al dominio de la frecuencia

Y_i: Señal en el tiempo

Este procedimiento transforma la señal de cambios de voltaje en función del tiempo a cambios de magnitud en función de la frecuencia; así, se puede conocer cuál o cuáles son los principales componentes de frecuencia de la señal de seguimiento para evaluar la calidad de la ejecución de forma cuantitativa. Para esto se calculó una serie de variables obtenidas a partir del resultado de la ecuación 5.

La ecuación 6 permite determinar lo que se llama *señal* que no es más que la cantidad de energía que el espectro tiene en la frecuencia correspondiente a la de estimulación.

$$\text{Señal} = E_{f(\text{ind})}$$

ind: Frecuencia del estímulo

La ecuación 7 permite cuantificar lo que se consideró *ruido*, e incluye la energía en todas aquellas bandas de frecuencias ajenas a la de estimulación.

$$\text{Ruido} = \sum E_i \text{ si } f \neq \text{ind}$$

Una vez separados estos dos componentes se calculó la *pureza espectral* (ecuación 8), que determina una razón entre la señal y el ruido informando cuál de estas prevaleció durante la ejecución de la tarea, brindando así un estimado cuantitativo indirecto de la calidad de la misma.

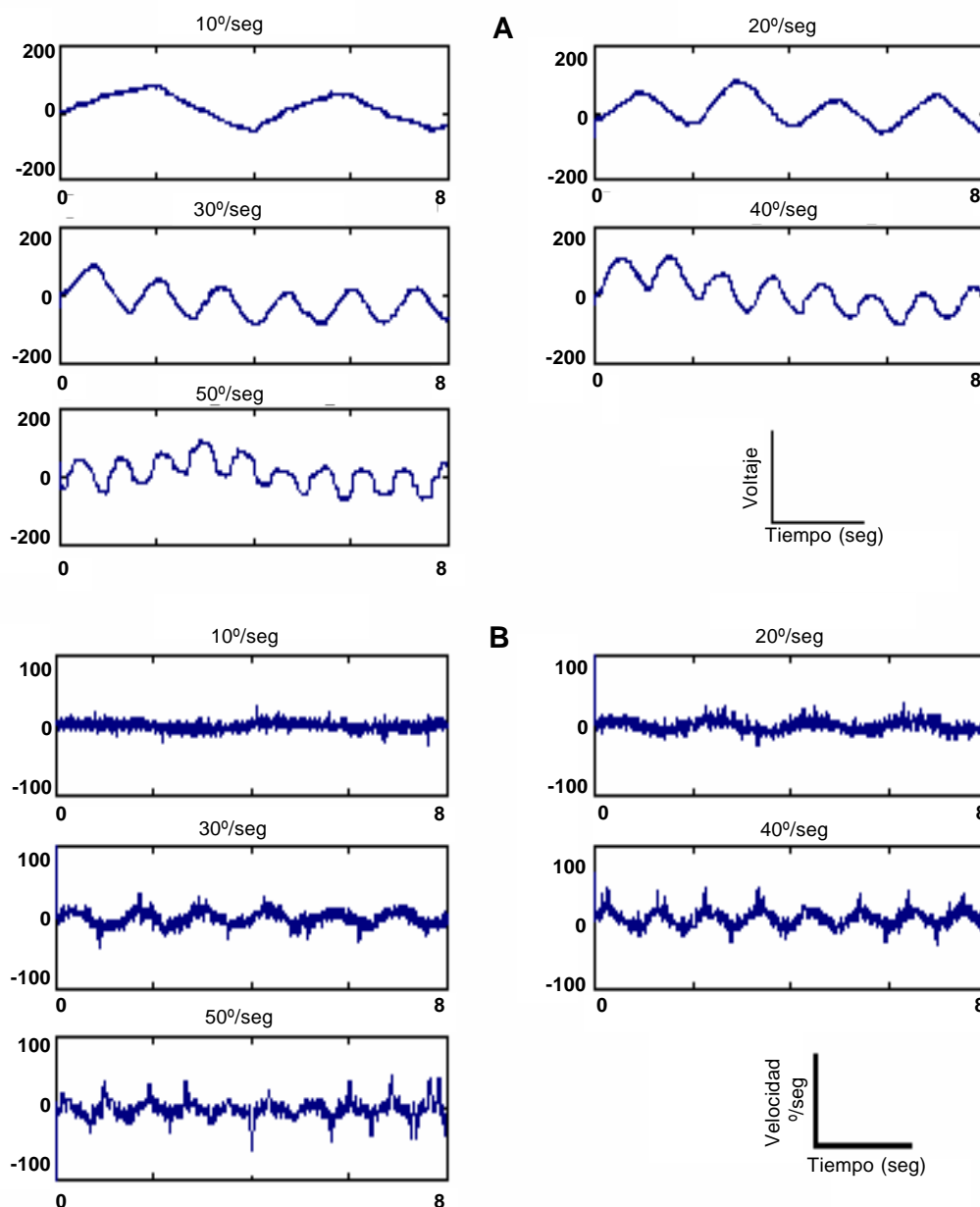
$$PE = \text{Señal/Ruido}$$

RESULTADOS

La Gráfica 1A muestra el patrón de seguimiento visual digitalizado a 5 velocidades de estimulación. Nótese cómo se modifica el aspecto de la señal a medida que se eleva la velocidad del estímulo. En la Gráfica 1B, el incremento del número de interrupciones sacádicas justifica en cierta medida el grado de disrupción oculomotora a velocidades más rápidas.

El cálculo de las variables en el dominio del tiempo cuantificó estas diferencias, brindando una información más objetiva de este fenómeno. La Gráfica 2 muestra el análisis del funcionamiento del sistema de seguimiento en el dominio del tiempo. Se observa claramente cómo se eleva el número de interrupciones sacádicas de una forma casi lineal con el incremento de la velocidad del estímulo (Gráfica 2A). También se ve lo contrario, ocurre con la ganancia, disminuyendo su valor a medida que aumenta la velocidad (Gráfica 2B).

Los resultados del análisis espectral

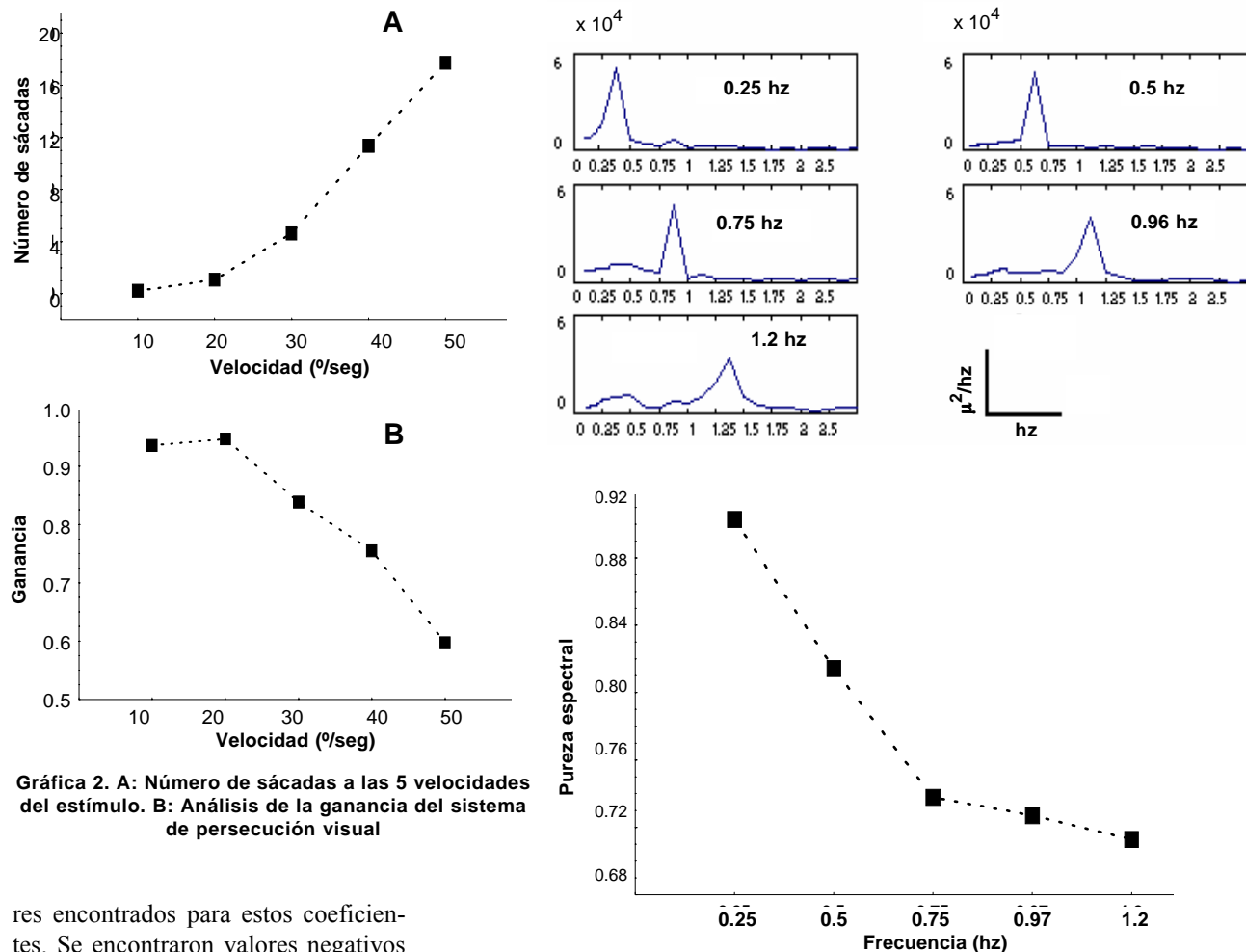


Gráfica 1. A: Señal de seguimiento ocular a 5 velocidades crecientes.
B: Señal de velocidad ocular

se visualizan en la Gráfica 3. El pico espectral se desplaza hacia las frecuencias más rápidas a medida que aumenta la frecuencia del estímulo lo cual demuestra como el sistema intenta mantener los globos oculares enfocados con el estímulo periférico. Además, la magnitud del pico descende aumentando la

energía en las bandas marginales al índice de estimulación (3A). Esto se corrobora al observar la Gráfica 3B, donde hay una evidente reducción de la pureza espectral a frecuencias de estimulación más rápidas, evidenciando un aumento en la banda del *ruido*, con una caída de la energía de la *señal*.

El Cuadro 1 resume la estadística descriptiva de las variables analizadas en ambos dominios, tiempo y frecuencia. En el Cuadro 2 se observa el resultado de un análisis de correlación de Pearson donde se ilustran los valores de los coeficientes de correlación r . Se observa la coherencia alta de los valo-



Gráfica 2. A: Número de sácadass a las 5 velocidades del estímulo. B: Análisis de la ganancia del sistema de persecución visual

Gráfica3. A: Espectro de potencia de la señal de persecución visual a las 5 frecuencias del estímulo. B: Análisis de la pureza espectral a las 5 frecuencias del estímulo

res encontrados para estos coeficientes. Se encontraron valores negativos altos de correlación (correlación lineal inversa) al analizar el comportamiento de la ganancia con el número de sácadass, así como entre el número de sácadass y la pureza espectral. Se encontraron valores positivos altos de correlación (correlación lineal directa) al analizar la ganancia con la pureza espectral.

DISCUSIÓN

Los resultados del análisis cuantitativo demuestran cómo este modo de interpretación puede elevar la sensibilidad en la identificación de variaciones inducidas por cambios externos. Para este sistema en particular se ha planteado que la saturación aparece

cuando la velocidad del estímulo externo excede los 30°/seg¹⁵⁻¹⁷. Los resultados aquí presentados demuestran cómo por encima de esta velocidad se produce una caída de la ganancia asociada con un incremento marcado del número de sácadass lo que evidencia la imposibilidad de mantener el sistema acoplado con el estímulo, apareciendo una gran cantidad de sácadass correctivas. La inspección visual del trazado demuestra sólo un grado creciente de irregularidad de la forma de onda a medida que se eleva la velocidad. El análisis

cuantitativo permite obtener mayor cantidad de información¹⁸.

Las variables en el dominio de la frecuencia de igual forma evidenciaron un importante papel como descriptores cuantitativos de la ejecución oculomotora. Es muy significativo el corrimiento del pico espectral hacia el índice de frecuencia de estimulación a medida que ésta se incrementa. Esto demuestra cómo este sistema actúa en función de las demandas encontradas en las entradas visuales. Al igual que en el dominio del tiempo, se observó una

Cuadro 1
Resultados del análisis cuantitativo del movimiento de persecución visual a 5 velocidades crecientes

Velocidad %/seg	Frecuencia	Ganancia (media \pm DE)	Sácadas (media \pm DE)	Pureza espectral (media \pm DE)
10	(0.25)	0.93 \pm 0.24	0.21 \pm 0.42	0.90 \pm 0.02
20	(0.50)	0.94 \pm 0.1	10.07 \pm 1.85	0.81 \pm 0.05
30	(0.75)	0.83 \pm 0.12	40.64 \pm 5.98	0.73 \pm 0.06
40	(0.97)	0.75 \pm 0.18	110.35 \pm 9.94	0.72 \pm 0.09
50	(1.20)	0.59 \pm 0.25	170.71 \pm 7.62	0.71 \pm 0.07

Cuadro 2
Correlación lineal de las variables estudiadas

	Ganancia	Número de sácadas	Pureza espectral
Ganancia	1.00	-0.99	0.79
Número de sácadas	-0.99	1.00	-0.80
Pureza espectral	0.79	-0.80	1.00

reducción significativa del valor de las variables espectrales a frecuencias superiores a 0.75 Hz (30°/seg). La caída del pico espectral (señal), se asocia con un aumento de la energía en la banda del ruido, denotando cómo el patrón de persecución va siendo reemplazado por otro tipo de actividad diferente a la persecución visual uniforme, correspondiendo en mayor escala a los movimientos oculares sacádicos^{19,20}.

El análisis de correlación lineal evidenció hallazgos interesantes y muy coherentes. La fuerte correlación positiva entre la ganancia y la pureza espectral ($r=0.79$) demuestran cómo estas variables pueden brindar información objetiva de manera eficiente acerca de la proporción del movimiento ocular que corresponde al desplazamiento visual útil o efectivo en relación al total de la respuesta oculomotora dada las demandas de la tarea. El patrón de correlación negativo entre la ganancia y las correcciones sacádicas ($r=-0.99$), así como entre la pureza espectral y las correcciones sacádicas ($r=-0.80$), pone de manifiesto la saturación que sufre el sistema a medida que las exigencias externas aumentan, pudiendo ocupar la

energía en la banda del ruido la totalidad de la magnitud de la respuesta en condiciones extremas de velocidad (mayor a 30°/seg). En estas circunstancias, el sistema fallaría en el cumplimiento de su función, mantener el objeto periférico sobre la fovea.

Como se observa, por medio de la descripción visual simple de la forma de la gráfica, sería difícil sino imposible, obtener un grado de información tan detallada acerca del funcionamiento del sistema de persecución como subsistema del sistema motor ocular. La elevación de la sensibilidad del método se hace evidente, pudiendo realizar un análisis fino y exhaustivo de este tipo de respuesta fisiológica.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo ponen claramente de manifiesto cómo los métodos de análisis cuantitativos en el terreno digital pueden ofrecer una gran cantidad de información imposible de obtener por métodos descriptivos. El análisis de la persecución visual es un ejemplo claro de esto, aportando más de 80% de la cantidad total de

información posible a extraer de esta respuesta fisiológica.

Ambos dominios de análisis, tiempo y frecuencia, demostraron tener gran utilidad en la caracterización cuantitativa de este patrón de movimiento en individuos sanos. En trabajos futuros sería interesante observar si se produce algún grado de inclinación en cuanto a la sensibilidad del método hacia uno de los dominios en particular bajo determinadas condiciones patológicas donde se afecte el sistema oculomotor.

Estudios posteriores utilizando esta metodología se deben dirigir a evaluar estas variables en diferentes condiciones patológicas, así como en diseños experimentales más elaborados en individuos normales, de manera que podamos contribuir al conocimiento de las bases funcionales y anatómicas que subyacen a la ejecución oculomotora.

SUMMARY

Introduction: Quantitative analysis of eye movements in Digital Domain, has permitted to increase the amount of physiological information extracted from oculographic signals. In the Neuroscience field, it allows to deepen on pathophysiological mechanisms underlying oculomotor dysfunctions.

Objectives: The main goal of this work is to obtain quantitative methods able to reduce subjective components introduced by researchers during visual description or qualifications of neural signals, also reducing the experience required to successfully identify normal or abnormal electrophysiological patterns.

Methods: Smooth pursuit eye movements were evaluated in 27 normal subjects by applying quantitative analysis methods in both time and frequency domains. A set of variables was determined which acted as quantitative descriptors of oculomotor response

during task performance.

Results: The results clearly shown that quantitative variables could be of great value in order to increase the sensitivity of eye movements analysis, also increasing the power of eye movements exploration to assess the neurophysiological basis underlying eye movements execution in either motor and cognitive contexts. The amount of information extracted from eye movement's signals through this method exceeds the 80% of the total information available.

Conclusions: Further studies must be conducted to evaluate how these variables behave in such disorders of central nervous system where eye movement's dysfunctions appear.

Key words: Quantitative analysis.
Methods in Neurosciences. Eye
Movements. Digital Techniques.
Spectral Analysis.

REFERENCIAS

1. Goldberg ME, Eggers HM, Gouras P. The oculomotor system. En Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TH (eds.). *Principles of neural science*. 3ª ed. New York: Appleton & Lange; 1991. p. 660-676.
2. Schindler RA, Weigel VD. Electronystagmography. En Aminoff MJ (ed.). *Electrodiagnosis in clinical neurology*. 2ª ed. New York: Churchill Livingstone; 1986. p. 619-642.
3. Morrow MJ, Sharpe JA. Deficits of smooth pursuit eye movement after unilateral frontal lobe lesions. *Ann Neurol* 1995; 37: 443-451.
4. Brookler KH. Standardization of electronystagmography. *Am J Otol* 1991; 12: 480-483.
5. Humeda Y. Manual quantitative assessment of eye-tracking pattern. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1980; 71 Suppl: 1-6.
6. Versino M, Cosi V. Quantitative evaluation of smooth pursuit eye movement by personal computer. I. Normative data and effect of aging. *Boll Soc Ital Biol Sper* 1990; 66: 701-708.
7. Versino M, Cosi V. Quantitative evaluation of smooth pursuit eye movement by personal computer. II. Evaluation of individual performance and clinical applicability. *Boll Soc Ital Biol Sper* 1990; 66: 787-793.
8. Houston HG, Watson DR. A review of computerized electronystagmography technology. *Br J Audiol* 1994; 28: 41-46.
9. Matsuoka K. Frequency characteristics of smooth pursuit component in tracking eye movements. *Ergonomics* 1986; 29: 197-214.
10. Babel J, Stangos N, Konol S, Spiritus M. *Ocular electrophysiology: a clinical and experimental study of electroretinogram, electro-oculogram and visual evoked responses*. Stuttgart: Ed. George Thieme Publishers Stuttgart; 1977. p. 69-93.
11. Meyer CH, Lasker AG, Robinson DA. The upper limit of human smooth pursuit velocity. *Vision Res* 1985; 25: 561-563.
12. Bittencourt PRM, Smith AT, Lloyd DSL, Richens A. Determination of smooth pursuit eye movements velocity in human by computer. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1982; 54: 399-405.
13. Ohashi M, Misukoshi K. Analysis of smooth pursuit eye movement by fast fourier transform. *Acta Otolaryngol Suppl* 1991; 481: 348-351.
14. Baloh RW, Kumley WE, Honrubia V, et al. Quantitative measurement of smooth pursuit eye movements. *Ann Otol* 1976; 85: 111-119.
15. Ebisawa Y, Minamitani H, Takase M. New methods for removing saccades in analysis of smooth pursuit eye movement. *Biol Cybern* 1988; 60: 111-119.
16. Ohashi N, Mizukoshi K. Initiation of smooth pursuit eye movement in man. *Acta Otolaryngol Stockh* 1992; 112: 408-412.
17. Merrison AFA, Carpenter RHS. Co-variability of smooth and saccadic latencies in oculomotor pursuit. *Ophthalmic Res* 1994; 26: 158-162.
18. Versino M, Castelnovo G, Bergamaschi R, et al. The reliability of eye movement quantitative evaluation. II. Smooth pursuit eye movement. *Boll Soc Ital Biol Sper* 1992; 68: 395-401.
19. Rashbass C. The relationship between saccadic and smooth tracking eye movements. *J Physiol* 1961; 159: 326-338.
20. Ohashi N, Watanabe Y, Kobayashi H, Mizukoshi K. Quantitative comparison between saccadic and ataxic pursuit. *Acta Otolaryngol* 1986; 101: 200-206.