

Análisis estadístico de los componentes pulso y escalón en registros electrocardiográficos

Camilo Velazquez Rodríguez^{1,*}, Fernando Rojas Ruiz², Roberto Becerra García³, Luis Velázquez⁴

Resumen

Los movimientos oculares tienen una función muy útil en la identificación de las disfunciones en un amplio rango de condiciones neurológicas. La aplicación de ICA a los registros electrocardiográficos permite la obtención de dos componentes responsables de la generación del movimiento ocular sacádico. En este trabajo se realiza un análisis independiente de los componentes obtenidos que permite la caracterización de los mismos estadísticamente. Además, se realiza un análisis morfológico del componente pulso para la comparación según estadios y grados de la distribución que presenta este componente en todos los datos obtenidos.

Keywords: EOG, ICA, pulso-escalón

© 2017 Los Autores. Publicado por Universidad Técnica de Manabí. Licencia CC BY-NC-ND
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introducción

Los movimientos oculares tienen una función muy útil en la identificación de las disfunciones en un amplio rango de condiciones neurológicas. Los movimientos de persecución y sacádicos, entre otros, son necesarios para mantener el seguimiento de objetos que se mueven y proveen de una útil herramienta en la exploración de las funciones neurales [1]. Cada registro ocular es una señal en el tiempo, resultado de la medición de la diferencia de potencial que se registra en los ojos del sujeto en análisis. Los registros oculares

* Autor para la correspondencia

Correo-E: camilo.e.velazquez@gmail.com (Camilo Velazquez Rodríguez), frojas@ugr.es (Fernando Rojas Ruiz), dertator@gmail.com (Roberto Becerra García), cirahsca2@crystal.hlg.sld.cu (Luis Velázquez)

¹Universidad de Holguín, Cuba

²Universidad de Granada, España

³Universidad de Málaga, España

⁴Centro para la Investigación y Rehabilitación de Ataxias Hereditarias, Cuba

sacádicos son aquellos constituidos fundamentalmente por sacadas, que representan el movimiento rápido de los ojos hacia un nuevo objetivo que se encuentre en la región periférica del ojo, y fijaciones, que establecen la estabilidad de la vista en un objeto de interés

Los movimientos oculares han sido objeto de estudio por varios años y diversos investigadores. David A. Robinson fue uno de los pioneros en el análisis de este tipo de movimiento, proponiendo en [2] la existencia de dos componentes responsables de la generación de las sacadas, un componente integrador y un generador de pulsos

A partir de la suposición realizada por Robinson, varios autores realizaron investigaciones con el objetivo de comprobar esta formulación, sustentándose fundamentalmente en las diversas técnicas pertenecientes al Análisis de Variables Latentes.

Los algoritmos y procedimientos, pertenecientes al Análisis de Variables Latentes, que presentaron mejores resultados fueron el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés Principal Component Analysis) y el Análisis de Componentes Independientes (ICA, por sus siglas en inglés Independent Component Analysis).

El ICA es la más usada en las tareas de obtención de fuentes primarias, debido a que mediante su aplicación se realizó la validación de la hipótesis planteada por Robinson. Precisamente los resultados mostrados en [3, 4, 5, 6, 7, 8] demuestran la existencia de dos componentes en la generación de los movimientos oculares sacádicos.

Entre los resultados alcanzados a través de la aplicación de esta técnica es estadística y computacional a registros oculares sacádicos, destaca la extracción de dos componentes: un escalón, encargado de crear el cambio necesario en la actividad neural y un pulso, responsable de la nueva posición del ojo.

Los componentes pulso y escalón obtenidos presentan diversas características morfológicas que varían según las capturas realizadas a diferentes sujetos analizados. Con la realización de este trabajo se analizan varias de las características y propiedades estadísticas que presentan el pulso y escalón para diferentes registros oculares capturados.

2. Materiales y Métodos

2.1. Registros oculares sacádicos

Los registros oculares sacádicos fueron obtenidos a través del personal médico del Centro de Investigación y Rehabilitación de las Ataxias Hereditarias (CI- RAH) ubicado en la provincia de Holguín debido a la alta prevalencia de la enfermedad neurológica en esta provincia cubana. Un equipo de fabricación alemana denominado Otoscreen fue usado para obtener las capturas de los registros electrocardiográficos

Se obtuvieron 19 registros de pacientes con ataxia SCA2 confirmados a través de diagnósticos clínicos y moleculares, además de 29 registros de pacientes asintomáticos de la enfermedad y 23 capturas de sujetos que no sufren de ataxia. El estímulo y la respuesta de los sujetos en prueba fueron automáticamente guardados en ficheros ASCII con valores separados por coma (CSV) por el equipo Otoscreen, de acuerdo con las especificaciones de su respectivo manual. La Figura 1 muestra un registro electrocardiográfico realizado a un paciente con ataxia.

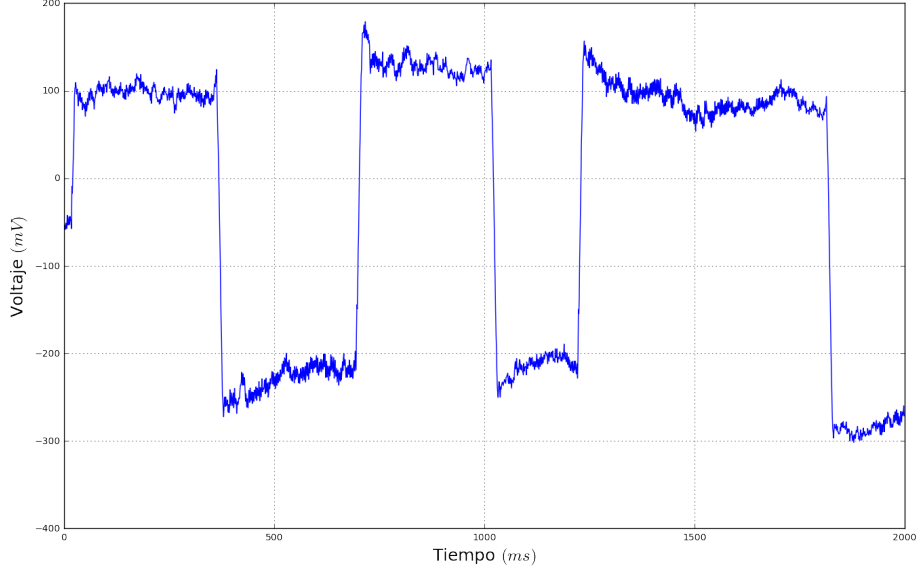


Figura 1: Registro ocular sacádico realizado a un paciente con ataxia SCA2.

Cada registro capturado contiene una estructura detallada en [9], dentro de la cual se encuentran las pruebas de estimulación realizadas a una amplitud de 10° , 20° , 30° y 60° . Los registros electrooculográficos obtenidos se componen principalmente de los movimientos oculares sacádicos, así como de fijaciones y parpadeos, además del ruido procedente de diferentes fuentes primarias como el ruido de línea cercano a los 60 Hz.

2.2. Análisis de Componentes Independientes

El ICA constituye una herramienta importante para la obtención de las fuentes primarias de señales a partir de observaciones realizadas a mezclas de ellas que se encuentran en registros biológicos [10]. Se ha comprobado la aplicación de esta técnica en un conjunto amplio de señales entre las que se encuentran las cardiovasculares, musculares y cerebrales.

La aplicación de ICA a los movimientos oculares fue iniciada por los trabajos de Lin et al. en [5] y Chen et al. en [4]. Estos autores utilizan el algoritmo FastICA para la revelación de los componentes pulso y escalón.

García Bermúdez en [8] aplica el método InfoMaxICA, devolviendo unos componentes más visibles y definidas que las mostradas a través de FastICA, además de que aplica este procedimiento a registros oculares de pacientes con SCA2, permitiendo observar el nivel de afectación de la enfermedad en el mecanismo biológico de generación de las sácadas. La Figura muestra los componentes independientes obtenidos tras la aplicación de InfoMaxICA a uno de los registros oculares sacádicos. Como se muestra en la figura el máximo del componente pulso es alcanzado antes de que el escalón arribe a su punto medio. Precisamente, la comprobación de que esta hipótesis sea cierta o no es uno de los resultados que se muestran en la siguiente sección.

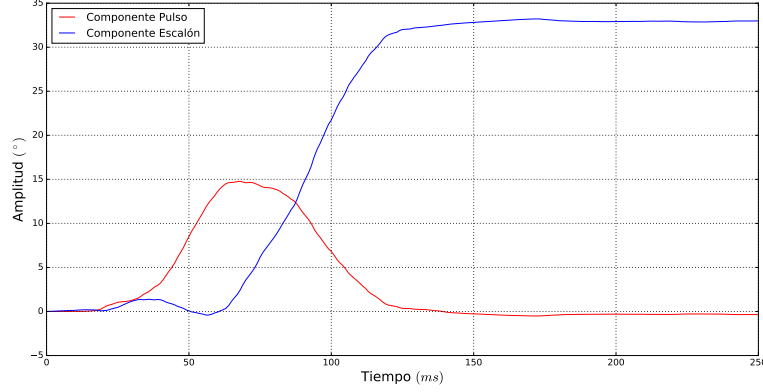


Figura 1: Componentes pulso y escalón resultantes de la aplicación de InfoMaxICA

2.3. Tercer y cuarto momento de Pearson

Los momentos de una distribución son medidas obtenidas a partir de todos sus datos y de sus frecuencias absolutas. Estas medidas caracterizan de tal forma a las distribuciones que si los momentos son iguales para dos distribuciones, se puede afirmar que estas son iguales.

El tercer momento de Pearson, también conocido como asimetría, ha sido utilizado por varios investigadores en el área estadística principalmente para determinar si una determinada distribución de datos se encuentra parcializada. La asimetría se define a través de la siguiente ecuación:

$$s = \frac{E(x - \mu)^3}{\sigma^3} \quad (1)$$

donde s es el valor de asimetría obtenido, E es el valor esperado, μ es el promedio de x y σ su respectiva desviación estándar [11].

El cuarto momento de Pearson es el conocido como kurtosis. Este momento es una medida de cuándo unos datos son más probables que tengan valores atípicos. La kurtosis de una distribución normal es tres. Aquellas distribuciones que presentan más valores atípicos que la distribución normal tienen una kurtosis mayor a tres, de la misma forma ocurre en sentido contrario. La kurtosis está definida por la Ecuación.

$$k = \frac{E(x - \mu)^4}{\sigma^4} \quad (2)$$

donde el significado de los parámetros es igual a los del tercer momento de Pearson detallados anteriormente [11].

3. Resultados

3.1. *Análisis por características*

los y escalón poseen diferentes características que dependen de dos factores fundamentales: el grado de la prueba de estimulación sacádica y el grado de afectación que presente el sujeto en análisis. Sin embargo, mediante el análisis visual de ambos componentes se pudo observar que se pueden plantear varias hipótesis para su comprobación. Analizando los 46 casos en donde no se cumple esta primera hipótesis planteada, se observa que por estadio de la enfermedad neurodegenerativa en estudio, solamente un caso de ataxia SCA2 confirmado se encuentra entre estos. Luego, se analizaron por los grados de la prueba de estimulación efectuada y se obtiene que solamente están presentes casos que se realizaron a prueba de 10° y 20° .

Una segunda hipótesis que se analizaría como una extensión de la primera, debido a que versa como sigue: de los casos en que el máximo del componente pulso se localice luego del punto medio del componente escalón, el máximo del pulso no es mayor que el máximo valor del escalón.

Como se obtuvieron 46 casos que no cumplen la primera hipótesis, se comprueba en estos que se cumpla o no la segunda hipótesis. Del total de casos se cumple en 42 de los mismos representando un 91.3 %, demostrando de esta forma el planteamiento formulado y arribando también a que solamente en la prueba a 20° y para sujetos no enfermos se incumple esta segunda hipótesis.

Respecto a las amplitudes del pulso y escalón se formula una última hipótesis, acerca de que el pulso no excede al componente escalón. Al realizarse este análisis se pudo observar que se cumple en el 62.62 % de los componentes. En el estudio de los casos que no cumplían con la hipótesis se pudo comprobar que respecto a estadios de la enfermedad un solo paciente de SCA2 está incluido y respecto a las pruebas de estímulo a diferentes grados, solo están presentes aquellas realizadas a 10° y 20° como en la primera hipótesis.

3.2. *Análisis de la morfología del componente pulso*

Se realizó un análisis de los componentes pulso, examinando las propiedades estadísticas del tercer y cuarto momentos de Pearson. En el estudio realizado se compararon los puntos máximos a los que arribaba cada componente pulso, o sea, su amplitud y el valor de asimetría y kurtosis que presenta la morfología de este importante componente en el movimiento ocular. En la Figura se puede observar este análisis.

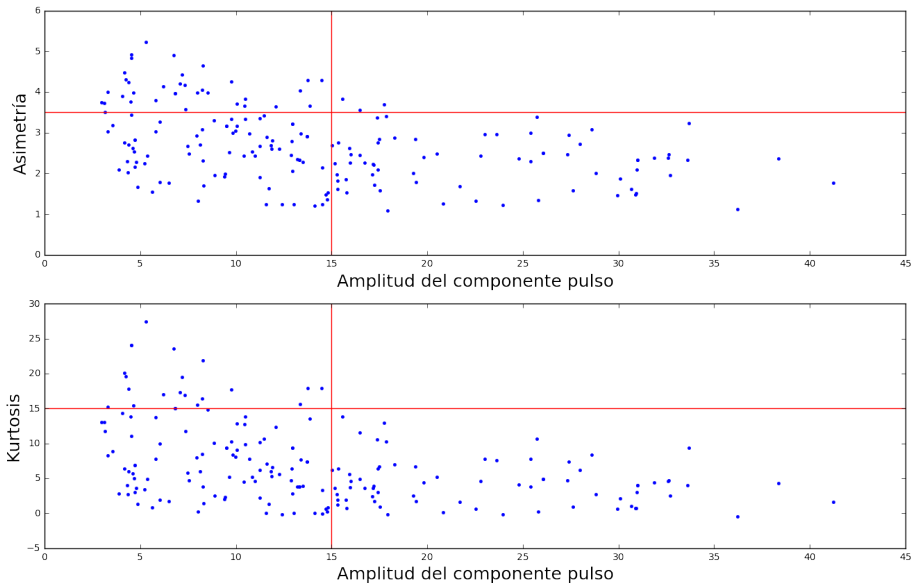


Figura 3: Tercer y cuarto momento de Pearson aplicado a los diferentes componentes pulso.

La Figura muestra umbrales determinados en línea de color rojo. Estos umbrales permiten la creación de cuadrantes en cada una de las gráficas mostradas. Se establece como primer cuadrante el que se encuentra en la esquina superior derecha y los demás prosiguen de forma consecutiva en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

A partir de la determinación de estos cuadrantes se pueden extraer varias características referidas a la distribución de los datos en cada uno de estos. Las Tablas y muestran los por cientos de los componentes pulsos que se encuentran en cada cuadrante por estadio de la enfermedad y por grado de la prueba de estimulación realizada.

Como se muestra en la Tabla, el mayor porcentaje de enfermos, presintomáticos y sanos se encuentra en el tercer cuadrante, significando esto que la distribución de los datos clasificados por estadio de la enfermedad es más simétrica que en la clasificación por grados y que las amplitudes de los pulsos no poseen un valor muy grande.

En la distribución de los datos por grado de la prueba de estimulación, se puede observar que en todos los casos la mayor concentración de datos está entre

Tabla 1. Relación en por ciento de la distribución de los datos por cuadrantes para la asimetría.

	Enfermos	Presintomáticos	Sanos	10°	20°	30°	60°
1er cuadrante	0.0	1.1	2.7	5.3	0.0	0.0	2.2
2do cuadrante	0.0	18.3	24.7	21.1	0.0	35.3	19.6
3er cuadrante	62.5	43.0	37.0	36.8	6.4	60.8	63.0
4to cuadrante	37.5	37.6	35.6	36.8	93.6	3.9	15.2

Tabla 2. Relación en por ciento de la distribución de los datos por cuadrantes para la kurtosis

	Enfermos	Presintomáticos	Sanos	10°	20°	30°	60°
1er cuadrante	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2do cuadrante	0.0	10.8	13.7	10.5	0.0	19.6	13.0
3er cuadrante	62.5	50.5	47.9	47.4	6.4	76.5	69.6
4to cuadrante	37.5	38.7	38.4	42.1	93.6	3.9	17.4

los cuadrantes tres y cuatro, lo que evidencia que la simetría no se encuentra muy alterada, sin embargo se encuentran valores que sobrepasan el límite establecido para la amplitud del componente pulso.

La Tabla muestra resultados similares a la descrita anteriormente ya que en la clasificación por grados se concentran igualmente en el tercer cuadrante. En la columnas referidas a los grados de la prueba realizada se alternan la distribución entre el tercer y el cuarto cuadrante.

4. Conclusiones

Los componentes pulso y escalón, obtenidos mediante la aplicación del algoritmo InfoMaxICA a registros electro-oculográficos presentan varias características como señales independientes y en su morfología.

El componente pulso muestra un comportamiento en el que arriba a su máximo antes de que el componente escalón llegue a su punto medio para la mayoría de los casos analizados. Además, para los casos en que el componente pulso presente su máximo luego del punto medio del escalón, el pulso no es mayor en amplitud que el escalón.

Los momentos estadísticos usados, tales como la asimetría y la kurtosis permiten la determinación de nuevas características en los componentes pulsos determinados. A través del uso de estas se pudo establecer que la mayoría de los datos, sin discriminar estadio o grado, se encuentran localizados en el tercer cuadrante, representando esto que la mayoría presenta simetría y no se encuentran muchos valores que sean atípicos.

Referencias

- [1] R. J. Leigh, D. S. Zee, The neurology of eye movements, Oxford University Press US, 1999.
- [2] D. A. Robinson, Models of the saccadic eye movement control system, Biological Cybernetics 14 (1973) 71–83.
- [3] M. Potter, W. Kinsner, Competing ICA techniques in biomedical signal analysis, "2 (2001) 987–992.
- [4] Y. F., Chen, T. Chen, and J. Semmlow, Decomposition of Control Signals for Saccade and Vergence Eye Movements Using Independent Component Analysis, "Journal of Medical and Biological Engineering, vol. 24, no 24 (1) (2004) 23–28.
- [5] H. H., Lin, Y. -F, 2004.
- [6] T. Alvarez, A. Daftari, J. Semmlow, Independent Component Analysis of Divergence Eye Movements, ", 2005.
- [7] Y. F., Chen, Y. -Y, 2005.
- [8] R. García, Procesamiento de registros oculares sacádicos en pacientes de ataxia SCA2, Aplicación del Análisis de Componentes Independientes. Phd, 2010.
- [9] R. A. B. García, Plataforma de procesamiento de electrooculogramas, caso de estudio: pacientes con Ataxia Espinocerebelosa tipo 2, 2013.

- [10] A. Hyvarinen, J. Karhunen, E. Oja, Independent component analysis 46.
- [11] D. Zwillinger, S. Kokoska, CRC Standard Probability and Statistics Table and Formulae, Chapman & Hall, 2000.