



# VII CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD

"GENERACION DE NUEVAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO"

16-18  
junio 2016  
Unidad de Seminarios, BUAP



## ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN POSTURAL Y ELECTROMIOGRAFÍA SOBRE MÚSCULOS ANTIGRAVITATORIOS PROVOCADAS POR ESTIMULACIÓN GALVÁNICA TRANSMASTOIDEA

Salgado-Alamilla J., Palacios-Macedo E. A., Pliego-Carrillo A.C., Martínez-Méndez R.

Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.

[palacios.emm@gmail.com](mailto:palacios.emm@gmail.com), [jsalgado.mbe@gmail.com](mailto:jsalgado.mbe@gmail.com), [adriap3@gmail.com](mailto:adriap3@gmail.com), [rigo@ieee.org](mailto:rigo@ieee.org)

### RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio sobre la estimulación vestibular galvánica (EGV). Una técnica conocida desde hace más de un siglo, la cual consiste en estimular por medio de una corriente eléctrica al sistema vestibular y afectar de ésta manera el balance en humanos y animales. A pesar de que existen diversos estudios al respecto, aún existen incógnitas respecto a la reacción del cuerpo humano ante dichos estímulos. En el presente trabajo se busca explorar la relación que existe entre la EGV en sujetos sanos y la respuesta de los músculos principalmente involucrados en el equilibrio. Para ello se aplicó EGV a 8 sujetos sanos de 18 a 25 años de edad. La corriente aplicada fue de 0.05 mA a 0.8 mA máximo. Se tomó el registro electromiográfico (EMG) y de acelerometría (ACC) de la región medial del músculo esternocleidomastoideo (ECM), la porción descendente del trapecio (TZ), la porción lateral del tríceps braquial (TR), las fibras lumbares del músculo cuadrado lumbar (LM), el vasto externo del cuádriceps (CD) y el gastrocnemio externo (GC). Se realizó un análisis simple de variabilidad de las señales EMG y ACC. Se realizaron pruebas con ojos abiertos y ojos cerrados con y sin EGV. En las pruebas con EGV y ojos abiertos, la variabilidad del registro electromiográfico aumentó en TZ y TR izquierdos, mientras que disminuyó en el TZ derecho y ambos LM y CD. En cuanto a la acelerometría, los sensores detectaron un aumento en la variabilidad de las aceleraciones medio-laterales y antero-posteriores en las pruebas sin estimulación con ojos cerrados en comparación con la prueba con ojos abiertos de todos los músculos del estudio, con excepción del TR y LM. En las pruebas con EGV y ojos cerrados, en todos los registros electromiográficos realizados del lado derecho de los sujetos, disminuyó la variabilidad de la señal, mientras que en los del lado izquierdo aumentó. En las señales ACC de esta prueba se observó un incremento en la variabilidad en todos los músculos del lado derecho. Los resultados sugieren que existe una relación entre la actividad electromiográfica y los cambios en la aceleración de los músculos de la postura cuando se aplica EGV con los ojos cerrados.

### 1. INTRODUCCIÓN

El sistema vestibular es el órgano encargado de regular los cambios de postura y la estabilidad corporal, donde también participan de manera importante los sistemas propioceptivo y visual. El sistema vestibular interviene en la generación de movimientos continuos y precisos del cuerpo mediante los reflejos vestibulo-espinales y vestibulo-oculares. Su entrada sensorial proviene de las aferencias de los transductores naturales de aceleración angular y lineal que son los canales semicirculares y los otolitos, respectivamente [1]. Además, el sistema vestibular aporta la sensación subjetiva de movimiento y orientación en el espacio [2].



# VII

CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD

16-18  
junio 2016

Unidad de Seminarios, BUAP

"GENERACION DE NUEVAS TECNICAS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO"



La estimulación galvánica vestibular (EGV) o transmastoidea es la aplicación de una corriente eléctrica con electrodos de superficie sobre las apófisis mastoides. La configuración más estudiada es bipolar bilateral, donde los electrodos están colocados sobre ambas apófisis mastoides, siendo uno de ellos el generador de electrones (cátodo) y el contralateral el receptor (ánodo). Otras modalidades de EGV son la bilateral unipolar, con dos electrodos sobre las apófisis mastoides y dos electrodos alejados o indiferentes, y la unipolar, con un electrodo sobre una de las mastoides y un electrodo indiferente [3]. Aunque no es clara la población de aferentes vestibulares que excita la EGV, en experimentos con animales, se observó que las aferentes irregulares presentan mayor sensibilidad al estímulo que las regulares cuyo patrón de activación no tiene equivalente natural [3,4]. Actualmente, la EGV ha probado ser un método de evaluación de la integridad de la vía vestibulo espinal, seguro y de bajo costo [5]. Se han propuesto diferentes patrones e intensidades de estimulación para estudiar su efecto en los músculos inervados por esta vía y para inducir nistagmo [5,6].

Se piensa que la respuesta muscular a la EGV es un reflejo protector que mantiene el control de la postura después de una "perturbación vestibular inesperada", es decir, es una respuesta correctiva unificada de los músculos de la vía vestibulo-espinal. Matos-Cunha y cols. (2013) registraron actividad electromiográfica en respuesta a la EGV en los músculos paraespinales, TR, tibial anterior y sóleo. En este último, identificaron una respuesta 60 ms después de iniciado el estímulo seguido de una activación secundaria 100 ms después de iniciado el estímulo, el cual fue identificado por presentar polaridad opuesta al alternar el sentido de la corriente de estimulación. Ambas respuestas se denominaron de corta latencia (SL) y mediana latencia (ML) por Britton y cols. (1993) quienes consideraron que la actividad SL sucede  $55 \pm 4$  ms y la ML a los  $112 \pm 10$  ms después de iniciado el estímulo en registros de electromiografía en el sóleo y el TR [7]. Aunque el origen de esta respuesta continúa en debate, Mian y cols. (2010) sugieren que la respuesta no involucra la activación de las aferentes otolíticas [8]. Matos-Cunha L.C. y cols. observaron que, tanto la estimulación sostenida como los "clicks" de alta intensidad producen la contracción de los músculos sóleo y ECM, respuesta que desaparece si el sujeto está sentado, lo cual apoya la hipótesis que propone la activación del tracto vestibulo espinal en relación a la tarea que se realiza [5].

Por otro lado, Wood y cols. utilizaron registros de acelerometría bidimensional para alimentar un sistema de retroalimentación electrotáctil sublingual para mantener la postura erguida mientras que la EGV se aplicó con el fin de causar un desbalance. Su principal hallazgo es que la EGV limitó de manera importante la estabilidad de la postura en todas las condiciones experimentales de este trabajo [9].

## 2. TEORÍA

La EGV aplicada con valores alrededor del umbral de percepción de cada sujeto provoca el aumento de la actividad electromiográfica y acelerométrica de los músculos antigravitatorios colaterales al ánodo, el cual depende del sentido de la corriente eléctrica, generando movimientos de ajuste para mantener la postura erguida.

## 3. PARTE EXPERIMENTAL

Para el registro de la actividad electromiográfica y la acelerometría se utilizaron 12 sensores inalámbricos para electromiografía de superficie (sEMG) que contienen embebidos acelerómetros triaxiales del sistema Trigno™ Wireless System (Figura 1A) el cual emplea frecuencias de



muestreo de 1925 Hz para EMG y 148Hz para ACC. Para aplicar la EGV se construyó una fuente de corriente directa (DC) portátil conformada por un puente de transistores y una batería de 9 volts que proporciona una corriente en el rango de 7 a 426 mA en corto circuito (Figura 1B). Los electrodos de superficie que se colocan sobre las apófisis mastoides son electrodos reusables adaptados de un sistema de Estimulación Nerviosa Eléctrica Transcutánea (TENS). Participaron 8 sujetos sanos, 5 hombres y 3 mujeres con edades de 18 a 25 años a quienes se les pidió asistir el día de la prueba bajo ciertas condiciones que garantizan la reproducibilidad y calidad de los resultados.



Figura 1. A) Sistema Trigno™ Wireless System B) Estimulador conformado por una batería de 9 V y un puente de transistores.

Previo a la prueba se capturó el Historial Clínico de los sujetos, incluyendo Antecedentes Heredo Familiares (AHF) y Antecedentes Personales Patológicos (APP). Se excluyó a sujetos que presentaron historial de epilepsia, migraña, parestesia y padecimientos vestibulares. A todos los participantes se les explicó en términos generales el contenido de las pruebas y se les pidió que firmaran un consentimiento informado. A continuación se procedió a localizar el umbral de percepción al estímulo aumentando gradualmente la corriente aplicada en la región transmastoidea hasta que el sujeto manifestara la sensación de piquete o cosquilleo. Una vez establecido el umbral para cada sujeto, se colocaron los sensores de sEMG y acelerómetros bilateralmente en la sección medial del ECM, la porción descendiente del TZ, el TR, las fibras iliocostales LM, el vasto externo del CD y el GC externo como se muestra en la Figura 2.

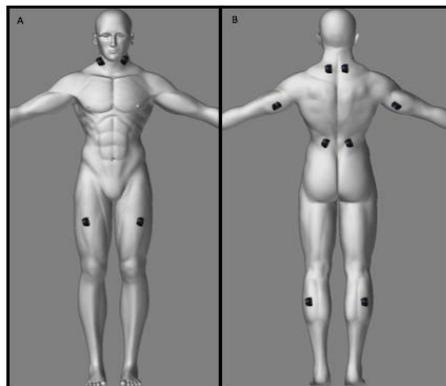


Figura 2. Colocación de los sensores sEMG y acelerómetros en 12 músculos contralaterales.



Se realizaron 6 pruebas de 60 segundos de duración por cada sujeto; en las dos primeras pruebas, los sujetos permanecieron erguidos, con los pies en paralelo, los brazos a los costados, cabeza al frente y relajados. En esta posición se efectuaron dos registros, uno con ojos abiertos y el segundo con ojos cerrados. No se aplicó estímulo eléctrico transmastoideo. En las siguientes cuatro pruebas se aplicó una corriente eléctrica en DC siguiendo el patrón de estimulación que se muestra en la Figura 3.

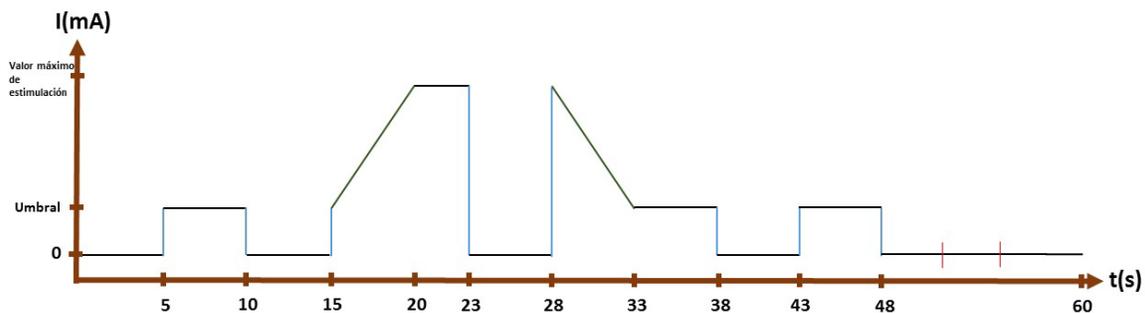


Figura 3. Patrón de estimulación eléctrica transmastoidea aplicada a 8 sujetos sanos.

Se realizaron dos pruebas con ojos abiertos y dos con ojos cerrados, alternando el sentido de la corriente para cada una de estas condiciones, es decir, cuatro registros con estimulación eléctrica. Se obtuvieron 48 señales por cada modalidad de las pruebas, lo que suma un total de 288 señales por cada sujeto. Se pidió a los sujetos sentarse de 10 a 30 segundos entre cada par de pruebas.

El procesamiento de las señales se realizó con la herramienta de software MATLAB™. Se calculó la variabilidad de la señal electromiográfica para cada músculo así como de las aceleraciones registradas en los ejes anteroposterior y mediolateral de los sensores contralaterales de manera independiente. Para esto, se obtuvo la desviación típica de los datos muestreados en cada una de las señales a fin de obtener un indicador de la variación dentro de esa misma señal que describiera el grado de actividad electromiográfica o acelerométrica.

Posteriormente se aplicó una prueba t-Student pareada de dos colas a los indicadores antes mencionados considerando que existe significancia con  $p < 0.05$ .

#### 4. CONCLUSIONES

Se detectó un umbral de percepción al paso de la corriente eléctrica transmastoide de 0.05 a 0.17 mA para los diferentes sujetos. Para alcanzar el valor máximo de corriente aplicada durante las pruebas con EGV, se giró la perilla por 5 segundos a velocidad constante partiendo del valor umbral. El valor máximo de estimulación alcanzado de esta manera fue de 0.8 mA.

En las pruebas con ojos abiertos y ojos cerrados sin EGV (pruebas control) se presentó un aumento en la variabilidad del registro electromiográfico en los músculos ECM, línea superior del TZ y GC, y una disminución de la misma en el TR, en ambos lados, en la prueba con ojos cerrados. Esta diferencia fue estadísticamente significativa únicamente en los músculos TR y GC izquierdos.



# VII

CONGRESO  
NACIONAL DE  
TECNOLOGÍA  
APLICADA A  
CIENCIAS DE  
LA SALUD

16-18  
junio 2016  
Unidad de Seminarios, BUAP

"GENERACION DE NUEVAS TECNICAS DE DIAGNOSTICO Y TRATAMIENTO"



En cuanto a la acelerometría, los sensores detectaron un aumento en la variabilidad de las aceleraciones mediales (eje medio-lateral) en las pruebas sin estimulación con ojos cerrados en comparación con la prueba con ojos abiertos en todos los músculos registrados con excepción del TR y las fibras LM. Esto se repite, de manera general, para las aceleraciones en el plano sagital (eje anteroposterior). No existe diferencia significativa entre las aceleraciones de los desplazamientos en ambas condiciones. Aunque se registró, en este estudio no se consideró la actividad registrada en el eje vertical.

Los registros electromiográficos muestran que, durante las pruebas con EGV la variabilidad del registro electromiográfico con ojos abiertos aumenta en los músculos TZ y TR izquierdo, mientras que disminuye en el TR derecho, fibras LM y el vasto lateral del CD. En el músculo GC externo se registró un aumento en la variabilidad cuando la corriente atravesó la región transmastoidea en un sentido, y una disminución cuando se aplicó en el sentido opuesto. No existe diferencia significativa entre los registros de control y las pruebas con estímulo con ojos abiertos. Se descartó el registro electromiográfico del músculo ECM por contener el artefacto de estimulación.

Para las pruebas con EGV y ojos cerrados, la variabilidad de todos los registros electromiográficos realizados del lado derecho de los sujetos disminuyó, mientras que aumentó en los de los músculos del lado izquierdo con excepción del TR, en el cual la variabilidad aumentó bilateralmente.

En el registro acelerométrico se observó un incremento en la variabilidad en todos los músculos del lado derecho durante las pruebas con ojos cerrados, mientras que en las pruebas con ojos abiertos no se distingue un incremento o disminución de las aceleraciones registradas con preferencia hacia alguno de los ejes. Existe una diferencia significativa entre la actividad del GC del lado derecho en la prueba con estimulación y ojos abiertos y el correspondiente control.

Dado que durante las pruebas con estimulación y ojos cerrados se observa un aumento en la variabilidad en la mayor parte de los músculos registrados del lado derecho y una disminución en los músculos del lado izquierdo, es posible relacionar este aumento de variabilidad con el correspondiente en acelerometría en los ejes medial y sagital.

Se observó un incremento en la variabilidad en los registros electromiográficos dependiente del sentido de la corriente en los en las fibras LM, CD y GC, esto es, en uno de los sentidos la variabilidad aumenta y al invertir la polaridad la variabilidad disminuye. Esta relación también fue registrada en los sensores de aceleración en ambos ejes.

A pesar de que se encontraron resultados de interés, los datos que arroja este experimento no son suficientes para comprobar la hipótesis que se plantea. En el trabajo futuro es necesario emplear técnicas de procesamiento de señales más robustas o modificar las características de la estimulación como puede ser su intensidad y duración.

## BIBLIOGRAFÍA

1. D. A. Zapata, R.H. Brey, "Vertigo and Balance" en Clinical Neurophysiology (Oxford University Press, 2009) Capítulo 34, pp. 575-610



# VII CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD

16-18 junio 2016  
Unidad de Seminarios, BUAP

"GENERACION DE NUEVAS TECNICAS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO"



2. L. R. Young, "Role of the vestibular system in posture and movement" En: *Medical Physiology*, 13<sup>th</sup> ed. Mountcastle VB(Ed). St. Louis, Mosby. (1974) 704-720
3. R.C. Fitzpatrick, B.L. Day, "Probing the vestibular system with galvanic vestibular stimulation" *J Appl Physiol* (2004), 96: 2301 – 2316
4. J. M. Goldberg, C.E. Smith, C. Fernandez "Relation between discharge regularity and responses to externally applied galvanic currentes in vestibular nerve afferents of the squirrel monkey" *Journal of Neurophysiology*, 1984 Vol. 51 no.6, 1236-1256
5. L.C. Matos-Cunha, M. Campelo-Tavares, C. J. Tierra-Criollo, L. Labanca, C.C. Cuoto-Paz, H. Resende-Martins, A.B. de F. Carneiro-Proetti, D. Utsch-Goncalves, "Contribution of Galvanic Vestibular Stimulation for the Diagnosis of HTLV-1-Associated Myelopathy/Tropical Spastic Paraperesis" *J Clin Neurol* 2013; 9:251-258
6. Shaun R. D. Watson, Agatha E. Brizuela, Ian S. Cuthoys, James G. Colebatch "Maintained ocular torsion produced by bilateral and unilateral galvanic DC vestibular stimulation in humans." *Exp Brain Res* (1998) 122:453-458
7. TC Britton, BL Day, P Brown, JC Rothwell, PD Thompson, CD Marsden. "Postural electromyographic responses in the arm and leg following galvanic vestibular stimulation in man." *Exp Brain Res*. 1993;94(1):143-51
8. O.S. Mian, C.J. Dakin, J.S. Blouin, R.C. Fitzpatrick, B.L. Day "Lack of otolith involmente in balance responses evoked by mastoid electrical stimulation", *J Physiol* (2010) pp4441-4451
9. S.J. Wood, F.O. Black, H. G. MacDougall, S.T. Moore. "Electrotactile Feedback of Sway Position Improves Postural Performance during Galvanic Vestibular Stimulation". *Basic and Clinical Aspects of Vertigo and Dizziness: Ann. N.Y. Acad. Sci.* (2009) 1164:492-498.