

Efecto de la estimulación galvánica transmastoidea en la frecuencia cardiaca

L. Valdez-González¹, J. J. Reyes Lagos¹, A. C. Pliego-Carrillo^{1*}

¹ Licenciatura en Bioingeniería Médica/Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

* acpliegoc@uaemex.mx

Resumen— El sistema vestibular proporciona al sistema nervioso central, la información necesaria para que el individuo conozca la posición de su cabeza con respecto al cuerpo, y la velocidad y dirección de sus movimientos. Sin embargo, poco se conoce sobre su relación con el sistema cardiovascular. La EGV (estimulación galvánica vestibular) transmastoidea es utilizada para estudiar el sistema vestibular, sin involucrar otros sistemas que participan en el control de la postura. En esta investigación se combinó el uso de EGV transmastoidea con la adquisición de registro electrocardiográfico (ECG) para analizar sus efectos sobre la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) en diez sujetos sanos. De los parámetros obtenidos en el dominio del tiempo (RMSSD, pNN50) y de la frecuencia (potencia de la banda HF) que caracterizan a la VFC, se encontró un incremento durante las pruebas con estimulación. En las pruebas realizadas, la frecuencia cardiaca (FC) disminuyó de manera significativa durante el periodo de estimulación ($p < 0.05$). Lo anterior sugiere que existe una modulación de la FC por efecto de EGV. Al observarse que la respuesta es de tipo parasimpática, se piensa que la EGV activa eléctricamente el nervio vago, lo que respresentaría una vía de acceso no invasiva a esta estructura nerviosa.

Palabras clave— Estimulación galvánica vestibular, variabilidad de la frecuencia cardiaca, parasimpático, reflejo vaso-vagal

I. INTRODUCCIÓN

El sistema vestibular proporciona la información necesaria para que el sistema nervioso central determine la posición de la cabeza con respecto al cuerpo, además de la velocidad y dirección de los movimientos a los cuales es sometida. Esta información es integrada a nivel central, ya que ahí, aunada con la propiocepción y la visión, permite establecer esquemas de posición y de la dinámica del desplazamiento del ser vivo [1]. El sistema vestibular consta de órganos otolíticos (utrículo y sáculo) que se encargan de responder a las aceleraciones lineales. Además se conforma por canales semicirculares (anterior, posterior y lateral), ubicados de forma ortogonal entre sí, ligeramente desfasados de la horizontal terrestre. Dentro de estas estructuras se encuentran las células ciliadas, localizadas en las crestas de las ámpulas de los canales semicirculares y en las máculas de los órganos otolíticos.

Los tres canales semicirculares están orientados en tres planos perpendiculares. En el sistema vestibular, la

transducción es la conversión de la energía mecánica (movimientos de la cabeza), en cambios eléctricos dentro de la célula ciliada. Los estereocilios de las células sensoriales son el lugar de la transducción mecanoeléctrica, es decir, de la transformación de la vibración del desplazamiento en el mensaje nervioso que puede ser interpretado por el cerebro. El movimiento de los cilios en dirección al kinocilio provoca una despolarización en estas células, mientras que un movimiento en la dirección opuesta da lugar a una hiperpolarización [2].

La estimulación galvánica vestibular (EGV) se ha usado para activar las fibras nerviosas del sistema vestibular, en experimentos con humanos y animales, aplicando de 0.1 a 4 mA en corriente continua sobre las apófisis mastoides, a través de la piel. Esta estimulación logra excitar las neuronas del sistema vestibular, incluyendo los canales semicirculares y los órganos otolíticos. Una variante de la EGV utilizando corrientes sinusoidales (EGV sinusoidal, sEGV) fue introducida por Macefield y sus colegas [3] [4] [5] [6], donde probaron que el estímulo es una potente técnica para inducir actividad nerviosa simpática muscular en las piernas en humanos [7]. En cambio, cuando se aplica sEGV a ratas anestesiadas, se induce un decremento de la presión arterial y la frecuencia cardiaca, asemejándose al síncope vasovagal humano. Se desconoce si la EGV activa completamente el nervio vestibular, pues sólo el sistema otolítico y la respuesta de los nervios vestibulares expresan un comportamiento persistente, posiblemente debido a la activación de las unidades relacionadas con los canales y la inhibición de las poblaciones neuronales vestibulares. [7]

El nervio vago (neumogástrico) es un nervio mixto. De los nervios craneales, es el que posee el territorio más extenso, ya que inerva numerosos órganos, incluyendo las vísceras abdominales. Sus orígenes son complejos y corresponden a las cuatro funciones del nervio: somático (motor y sensitivo) y vegetativo (motor y sensitivo) [8]. El nervio vago ayuda a regular los latidos del corazón, controla el movimiento muscular y mantiene la respiración. Es responsable de mantener el tracto digestivo en buen funcionamiento, contrayendo los músculos del estómago y los intestinos para ayudar a procesar los alimentos, además envía información sobre lo que se digiere y lo que se excreta.

Cuando el nervio vago es estimulado, la respuesta disminuye la frecuencia cardiaca y la respiración. En algunos casos la estimulación excesiva puede causar una respuesta vaso-vagal, que puede traer como consecuencia un desmayo.

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) es un sistema confiable que refleja los muchos factores fisiológicos que modulan el ritmo normal del corazón. Proporciona poderosos medios de observación sobre la interacción entre el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP). La estructura de la señal obtenida no es lineal, ya que implica contribuciones no lineales de ambos sistemas. La frecuencia cardiaca (FC) es una señal no estacionaria. Su variación puede contener indicadores de patologías o advertencias sobre las enfermedades cardiacas inminentes. Estos indicadores pueden estar presentes en todo momento u ocurrir de forma aleatoria durante ciertos intervalos del día.

La VFC es el reflejo de la habilidad del corazón para adaptarse a las diferentes circunstancias, detectándolas y respondiendo rápidamente a un estímulo impredecible. El análisis de la VFC ayuda a evaluar la salud del sistema cardiaco y el SNA, que es responsable de regular la actividad cardiaca [9].

El análisis del espectro de potencia del análisis latido a latido de la VFC ha otorgado múltiples maneras para entender la interacción entre la funcionalidad del SNA y el sistema cardiovascular. Los desórdenes como la migraña, epilepsia y neuropatías tienen una consecuencia directa en el comportamiento de la VFC. [10]

II. METODOLOGÍA

Se reclutaron 10 sujetos de entre 18 a 25 años. No presentaron ningún tipo de enfermedad el día de la prueba, ni contaban con ningún padecimiento de tipo neurológico, como epilepsia o migraña. Las condiciones que debieron cumplir los sujetos el día de la prueba son:

- Haber dormido adecuadamente la noche previa a la prueba.
- No haber ingerido bebidas alcohólicas ni café 24 horas antes de la prueba.
- No presentarse en ayunas.
- Haberse bañado por la mañana el día de la prueba.
- No usar crema corporal.
- Llevar puesta ropa ligera (short o falda y playera o blusa).
- Las mujeres deben llevar el cabello recogido.

La EGV se llevará a cabo a través de un estimulador construido en la Universidad. Entrega corriente galvánica con intensidad modulable en un rango de 0.01-0.5 mA. Los electrodos se colocan sobre las

apófisis mastoides como lo muestra la Figura 1. La adquisición de las señales cardiacas se realizó a través de la unidad de adquisición de datos MP150 de Biopac mediante los módulos de ECG. Se utilizaron tres electrodos con los cuales se registró la Derivación I, donde el electrodo positivo se coloca cerca del hombro izquierdo y el electrodo negativo cerca del hombro derecho, en línea horizontal, paralela a la clavícula.

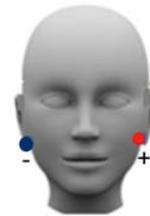


Figura 1. Colocación de los electrodos en estimulación galvánica transmastoides.

Se llevaron a cabo ocho pruebas con las siguientes condiciones:

1. Control ojos abiertos sentado. (COAS)
2. Control ojos cerrados sentado. (COCS)
3. Control ojos abiertos parado. (COAP)
4. Control ojos cerrados parado. (COCP)
5. Ojos abiertos sentado con estimulación. (OASE)
6. Ojos cerrados sentado con estimulación. (OCSE)
7. Ojos abiertos parado con estimulación. (OAPE)
8. Ojos cerrados parado con estimulación. (OCPE)

La secuencia de estimulación se muestra en la Figura 2.

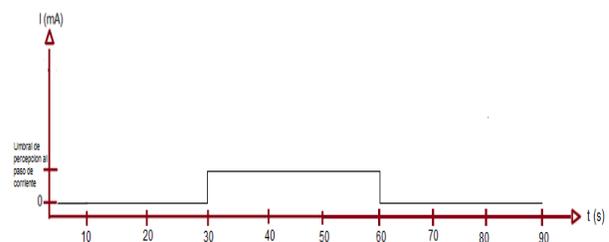


Figura 2. Secuencia de estimulación en registro de 90 segundos.

Para el cálculo de la frecuencia cardiaca se utilizó la función preestablecida *findpeaks*, para obtener el número de máximos en la señal y su ubicación en el tiempo. Los máximos señalados en verde (Fig. 3) corresponden a los latidos presentes en la señal de ECG adquirida.

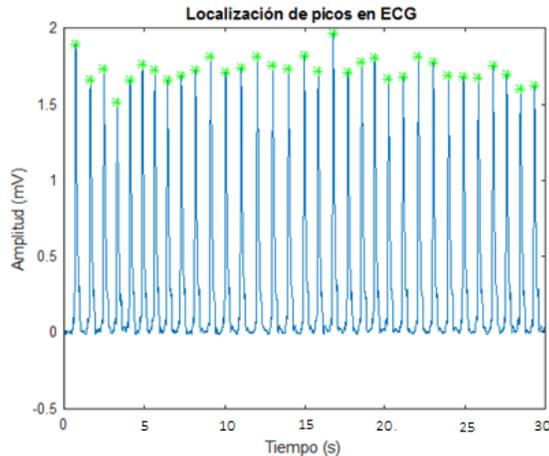


Figura 3. Registro electrocardiográfico en 30 segundos. Los máximos (onda R) se encuentran marcados en verde.

Después se lleva a cabo la construcción del tacograma (Figura 4), el cual se define como la secuencia de intervalos entre las ondas R provenientes del ECG. Esta nueva señal, será separada con el siguiente código de colores: periodo pre-estímulo en verde, estímulo en rojo y post-estímulo en azul.

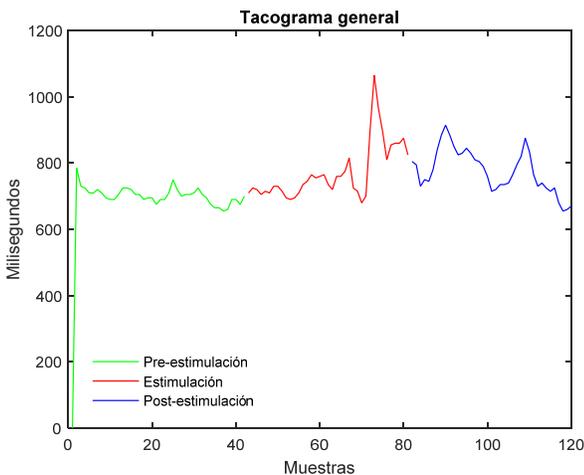


Figura 4. Tacograma construido a partir de la señal de ECG.

Para realizar un análisis más detallado de la VFC se utilizó Kubios HRV®, una herramienta científica (For Better Heart Rate Variability Analysis, 2016) que permite obtener valores en el dominio del tiempo y la frecuencia específicos para el estudio de esta variable. En esta investigación, únicamente nos centraremos en los parámetros en el dominio del tiempo, RMSSD y pNN50 y de la frecuencial, HF.

III. RESULTADOS

Se analizó la FC para las pruebas control y OASE, OCSE, OAPE y OCPE, las cuales presentan las subetapas PRE (Pre-estímulo), EST (Estímulo) y POST (Post-estímulo). Los valores registrados se enlistan en la Tabla 1.

FC			
PRUEBA		MEDIA	DE
COAS		67.100	11.714
COCS		68.300	9.627
COAP		72.800	13.831
COCP		75.800	13.959
OASE	PRE	69.400	11.549
	EST	61.800	15.267
	POST	64.300	13.425
OCSE	PRE	67.800	11.331
	EST	63.000	13.507
	POST	62.700	13.375
OAPE	PRE	75.200	11.896
	EST	67.700	16.853
	POST	66.200	14.823
OCPE	PRE	72.200	12.090
	EST	66.700	14.182
	POST	70.100	16.141

Tabla 1. Valores registrados de FC en las diferentes condiciones experimentales.

Como se esperaba, se presentó un incremento de la media de la FC al comparar las pruebas control COAS y COAP. Lo mismo sucedió al comparar la FC entre pruebas COCS y COCP. En cambio, al aplicar EGV en las pruebas OASE, OCSE, OAPE y OCPE, la FC media disminuyó en todos los sujetos. Es decir, comparando las medias de las fases (PRE, EST, POST), la FC sufrió un decremento sin importar si el sujeto se encontraba de pie o sentado. Se encontró, a través de una prueba t-Student Pareada, diferencias significativas al analizar las medias obtenidas de la FC en la prueba OASE en las etapas PRE y EST ($p=0.018$), en la prueba OAPE con los datos PRE y POST ($p=0.003$), así como en la prueba OCPE con los datos PRE y EST ($p=0.031$) y los datos EST y POST ($p=0.039$). Para la VFC, los parámetros en el dominio del tiempo (RMSSD, pNN50) y dominio de la frecuencia (frecuencia fundamental y espectro de potencia de la HF) presentaron un incremento al comparar las pruebas control (COCS y COAP) con las pruebas con estimulación (OCSE y OAPE). En la Figura 5 (A, B y C) se muestra lo obtenido para estas variables en las pruebas en las cuales se observó mayor aumento de la VFC en el dominio de tiempo, así como la Potencia (área bajo la curva), en el dominio de la frecuencia.

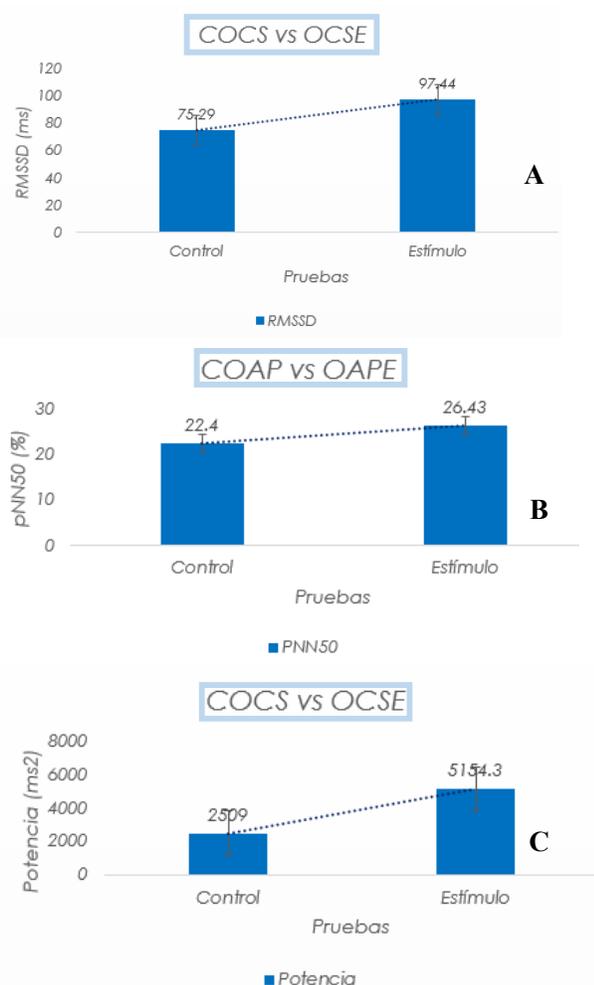


Figura 5. Resultados obtenidos que muestran incremento de la VFC. (A) Incremento de RMSSD en prueba COCS vs OCSE. (B) Incremento de pNN50 en pruebas COAP vs OAPE. (C) Incremento en la potencia de la HF en pruebas COCS vs OCSE.

IV. DISCUSIÓN

En este trabajo de investigación se determinó que la EGV tiene un efecto en la VFC, posiblemente modulada por la vía refleja vaso-vagal. Lo anterior se extiende debido al efecto que tiene este estímulo en la VFC, pues los parámetros RMSSD, pNN50 y potencia de la banda HF ya han sido identificados como indicadores de la influencia vaso-vagal en el sistema cardiovascular. Las pruebas experimentales se diseñaron para producir, en primer lugar, una respuesta cardiovascular por cambio de postura, como la observada en el reflejo ortostático, y en segundo lugar, un aumento en la respuesta vestibular inducida por la privación temporal de la visión. El efecto de la EGV sobre la FC se observa aún después de realizar la maniobra de cambio de

postura (sentado a parado), pues aunque se espera un aumento de la FC cuando los sujetos permanecen de pie en comparación a cuando están sentados, es consistente la disminución de la FC al recibir estimulación en ambas condiciones. El análisis en el dominio de la frecuencia de la VFC fortalece los hallazgos descritos con los parámetros en el dominio del tiempo, ya que se presenta un incremento al comparar, tanto el área bajo la curva del espectro de potencia como el ancho de banda en el periodo de estimulación.

V. CONCLUSIÓN

De acuerdo a lo observado en este trabajo, es posible establecer que el uso de EGV tiene un efecto significativo en la FC similar al de la respuesta parasimpática.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Urbina A. d. R. F., "El sistema vestibular: Aspectos generales y neurodesarrollo", Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 2001.
- [2] Hudspeth A., "Mechano-electrical transduction by hair cells in the acousticolateralis sensory system", de *Neurosci., Ann*, 1983, pp. 187-215. DOI: 10.1146/annurev.ne.06.030183.001155
- [3] Bent L.R. Bolton P.S: Macefield V.G. "Modulation of muscle sympathetic bursts by sinusoidal galvanic vestibular stimulation in human subjects", *Exp Brain Res.* 2006 Oct; 174(4):701-711. DOI: 10.1007/s00221-006-0515-6
- [4] Grewal T. James C. Macefield V.G. Frequency-dependent modulation of muscle sympathetic nerve activity by sinusoidal galvanic vestibular stimulation in human subjects. *Exp Brain Res.* 2009 Aug; 197 (4): 379:386. DOI: 10.1007/s00221-009-1926-y
- [5] James C. Stathis A, Macefield VG "Vestibular and pulse-related modulation of skin sympathetic nerve activity during sinusoidal galvanic vestibular stimulation in human subjects". *Exp Brain Res.* 2010 Apr; 202 (2): 291-298. DOI: 10.1007/s00221-009-2131-8
- [6] James C. Macefield V.G. "Competitive interactions between vestibular and cardiac rhythms in the modulation of muscle sympathetic nerve activity". *Auton. Neurosci.* 2010 Dec 8; 158 (1-2): 127-131. DOI: 10.1016/j.autneu.2010.07.005
- [7] Cohen B. Yakushin S.B., Holstein G.R. What does galvanic vestibular stimulation actually activate: response. *Front. Neurol.* 2012 Oct 22; 3:148. DOI: 10.3389/fneur.2012.00148
- [8] Latarjet M. y Ruiz Liard A. "Nervios craneales" de Anatomía humana, Volumen 1, Panamericana, 2006, pp.335-343.
- [9] Acharya U. R., Joseph K. P., Kannatha N. I y Suri J. S., "Heart rate variability: a review". International Federation for Medical and Biological Engineering, India, 2006.
- [10] Mager D. Merritt M., Kasturi J. Witkin L. Urdiquin-Macdonald M. Sollers J., Evans M. Zonderman A. Abernethy D. y Thayer J. "Kullback-Leibler clustering of continuous wavelet transform measures of heart rate variability", *Biomed Sci Instrum*, 2004.