

Recibido: enero 2014
Aceptado: abril 2014

Vol. 3, Núm. 1
Enero-Abril 2014
pp 7-17

Variabilidad de la frecuencia cardiaca durante la estimulación vestibular con pruebas térmicas

Marco Abiel Hernández-Camacho,* Bruno Estañol-Vidal,* José Antonio Gien-López,*
Horacio Senties-Madrid,* René Ignacio González-Gómez,* Caroline Malamud-Kessler,*
Samuel Ayala-Anaya,* Anaclara Michel-Chávez,* Jesús Emmanuel Cisneros-Chico,†
Ana Paola Escalante-Ornelas,‡ Úrsula Gutiérrez-Canencia§

Resumen

Introducción. En la literatura clínica, están bien establecidas las manifestaciones autonómicas de la disfunción vestibular y el mareo. Sin embargo, existen pocos estudios que demuestren el efecto de la estimulación vestibular sobre el sistema nervioso autónomo a través de la medición de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC). **Material y métodos.** Se tomó una muestra por conveniencia de 15 sujetos sanos de entre 25 y 55 años (estudiando 30 oídos), elegidos al azar de una población del Distrito Federal, México. Se les estimuló el vestíbulo por medio de irrigación con agua en el conducto auditivo externo a una temperatura, cantidad y presión constantes por medio de un irrigador automático, donde cuantificamos la frecuencia cardiaca y la diferencia entre intervalos R-R del electrocardiograma. **Resultados.** En el análisis espectral, no se observan diferencias significativas en los componentes de alta y baja frecuencia ni en la relación de componentes de alta y baja frecuencia. **Conclusiones.** No fue posible establecer una diferencia significativa entre la frecuencia cardiaca basal o sin estimulación vestibular comparada con la frecuencia cardiaca durante la estimulación vestibular con las pruebas térmicas estandarizadas.

Palabras clave: Vestíbulo, estimulación, frecuencia cardiaca, pruebas térmicas.

Abstract

Introduction. In clinical literature, autonomic manifestations of vestibular dysfunction and dizziness are well established. However, few studies that demonstrate the effect of vestibular stimulation on the autonomic nervous system through the measurement of heart rate variability (HRV). **Material and methods.** A convenience sample of 15 healthy subjects between 25 and 55 years (studying 30 ears), randomly chosen from a population of Mexico City was noted. Vestibule was stimulated by instilling water in the ear canal at constant temperature, quantity and pressure, via an automatic irrigator. Quantifying heart rate and the difference between RR intervals of the ECG. **Results.** In spectral analysis, no significant differences were observed in the components of high and low frequency, or the ratio of components of high and low frequency. **Conclusions.** It was not possible to establish a significant difference between basal heart rate or without vestibular stimulation, compared with heart rate during standardized vestibular thermal testing.

Key words: Vestibule, stimulation, heart rate, thermal testing.

* Departamento de Neurología y Psiquiatría. Laboratorio de Neurofisiología Clínica, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán".

† Médico Residente de Audiología, Otoneurología y Foniatria. Instituto Nacional de Rehabilitación.

§ Centro de Rehabilitación y Educación Especial de Veracruz.

Introducción

Uno de los aspectos de la modulación del sistema nervioso autónomo sobre el aparato cardiovascular implica el balance entre el tono simpático y parasimpático sobre la frecuencia cardíaca ante diversas situaciones fisiológicas. Para estudiar la actividad del sistema nervioso autónomo, se ha utilizado la variabilidad de la frecuencia cardíaca, principalmente en reposo, en respiración rítmica, en ortostatismo y en maniobra de Valsalva.

En el ortostatismo hay una alteración en la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), secundaria a la redistribución de volúmenes en el organismo. Sin embargo, se ha mencionado poco el efecto que la estimulación vestibular podría tener durante esta maniobra. Se conoce que la estimulación vestibular tiene un efecto de estimulación autonómica, manifestado por náusea y vómito, así como un efecto ligado a la descarga vegetativa general del estado de alerta. Principalmente, los estudios más recientes² sobre regulación autonómica se han centrado en las respuestas autonómicas a la estimulación de los órganos vestibulares en el oído interno. En estudios con animales de experimentación se ha demostrado que las lesiones bilaterales de los núcleos vestibulares resultan en déficits cardiovasculares irreversibles, especialmente en pruebas ortostáticas.

El sistema nervioso autónomo

El sistema nervioso autónomo (SNA) o vegetativo es un componente importante del sistema nervioso, constituido por un complejo conjunto de neuronas centrales, ganglios periféricos y vías nerviosas que controla la función de los diferentes sistemas viscerales del organismo. Su función global consiste en mantener la situación de homeostasis del organismo y efectuar las respuestas de adaptación ante cambios del medio ambiente externo e interno. El SNA, a través de los tres componentes eferentes que lo integran —simpático, parasimpático y entérico—, inerva el músculo cardíaco, el músculo liso de todos los órganos y las glándulas exocrinas y endocrinas. Así regula la respiración, la circulación, la digestión, el metabolismo, la secreción glandular, la temperatura corporal, la reproducción y, además, coordina todas estas funciones vitales para mantener la homeostasis.

En la actualidad se acepta que el SNA está integrado por vías aferentes viscerales, centros de integración y vías eferentes viscerales simpáticas y parasimpáticas, de forma que el SNA se extiende tanto en el sistema nervioso central como en el periférico.

Uno de los aspectos de la modulación del sistema nervioso autónomo sobre el aparato cardiovascular implica el balance entre el tono simpático y parasimpático sobre la frecuencia cardíaca ante diversas situaciones fisiológicas.

Antecedentes de la VFC

La primera vez que la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) tuvo relevancia clínica fue en 1965, cuando Hon y Lee notaron que el fallecimiento fetal era precedido por alteraciones en los intercomplejos QRS antes de que ocurriera un cambio apreciable en la misma frecuencia cardíaca.^{1,9}

El término de “variabilidad fisiológica” comenzó a divulgarse en la década de los años 70, cuando se observó que algunas anomalías en los mecanismos de regulación del sistema cardiovascular podían ser evaluados mediante el cálculo de la potencia espectral de la VFC.^{1,15}

Entre las primeras aplicaciones clínicas se encuentra el hallazgo de que una disminución en la VFC puede estar asociada con un incremento en la mortalidad en pacientes con reciente infarto agudo al miocardio.¹¹ Recientemente se ha utilizado la VFC para estudiar la actividad del sistema nervioso autónomo. Se han realizado estudios sobre la relación entre los cambios de la amplitud del pulso fotopletomográfico y la frecuencia cardíaca.⁸

El sistema vestibular

El aparato vestibular es el órgano periférico del sentido del espacio, por medio de los canales semicirculares (CS), cuya excitación produce una serie de sensaciones, se obtiene la percepción de las tres dimensiones del espacio.

Los conductos semicirculares están capacitados para detectar aceleraciones angulares (rotación), mientras que las máculas lo están para aceleraciones lineales e inclinaciones en el espacio; por tanto, la sensación que se puede hacer consciente en la corteza cerebral será de tipo rotatorio, aceleratorio o inclinatorio.

El sistema nervioso central (SNC) adquiere la noción de espacio tridimensional a la que son enviadas todas las sensaciones de los diferentes órganos sensoriales, informándonos sobre la situación, la disposición de los objetos y la posición del cuerpo en el espacio.

El aparato vestibular periférico envía su información hacia los núcleos vestibulares, y por medio de los haces ascendentes hacia los núcleos talámicos ventrales posteriores; de allí a la corteza cerebral donde terminaría el proceso de la toma de conciencia de la sensación originada en el receptor.

Las conexiones con los centros vegetativos

De acuerdo con Brunas, las manifestaciones vegetativas que acompañan a la sensación vertiginosa deben ser consideradas bajo dos aspectos distintos: el relacionado con

las náuseas y vómitos y el que está ligado a la descarga vegetativa general de alerta.⁵

La sensación de náuseas y vómitos son sensaciones que se producen después de la estimulación vestibular prolongada o con las lesiones del aparato vestibular, éstas

Registro basal



Figura 1.

Registro del electrooculograma (trazo superior) y electrocardiograma (trazo inferior). Nótese la ausencia de nistagmos en el EOG.

Estimulación oído derecho



Figura 2.

Se ejemplifica la estimulación en oído derecho. Se aprecia el inicio del nistagmo (con fase rápida a la izquierda) en el registro del electrooculograma en la parte superior, señalando con flechas el inicio del nistagmo (flecha superior) a partir del cual se inicia la medición de los intervalos R-R (flecha inferior).

se deben a que existen fibras colinérgicas con terminaciones directas que van al tallo cerebral y a la formación reticular.

Por su parte, la reacción vegetativa general de alerta se activa mediante la estimulación vestibular sostenida, la cual provoca una activación de la formación reticular por medio de dos sistemas. A saber:

Por intermedio del sistema ascendente: taquicardia, hipertensión y sudoración. La activación de la corteza cerebral provoca el estado psíquico de alerta o ansiedad.

Por intermedio del sistema descendente: modificaciones en el tono muscular.

Exploración instrumentada del aparato vestibular

La videonistagmografía (VNG) es un sistema especial de análisis y registro de la motilidad ocular durante el estudio del sistema vestibular mediante diversos estímulos. Se trata de la detección de la posición ocular por medio de cámaras de video situadas en una máscara especial sujeta firmemente a la cabeza del paciente.¹⁴ En la electronistagmografía se colocan electrodos en los cantos oculares referenciados entre sí, de tal forma que, al girar los ojos, el potencial corneorretiniano genera una deflexión positiva o negativa según la dirección de la mirada, permitiéndonos obtener un registro gráfico de los movimientos oculares en el tiempo.

Pruebas térmicas

Constituyen hasta ahora el único procedimiento clínico que permite estimular cada laberinto por separado.⁶ Los conductos semicirculares y el neuroepitelio detectan normalmente aceleraciones angulares, pero pueden estimularse artificialmente con procedimientos térmicos, mecánicos y corrientes galvánicas. Robert Bárány consideró que el cambio de temperatura ocasionado por la irrigación del conducto auditivo externo se transmite por las paredes óseas y la cadena tímpano-ocular, llegando primero al conducto semicircular horizontal para luego extenderse progresivamente a todo el laberinto.⁸

El cambio de temperatura de los líquidos laberínticos es pequeño, pero si el fluido de irrigación tiene una temperatura mayor a 37 grados centígrados es suficiente para variar su densidad, lo que ocasiona una corriente de convección en el sistema, formado por el conducto semicircular y el vestíbulo.

El enfriamiento produce un aumento de densidad, la endolinfa tiende a dirigirse hacia abajo con un impulso ampulífugo, si el estímulo térmico es caliente, la corriente endolinfática se va hacia arriba y habrá un estímulo ampulípeto. El estímulo térmico se correlaciona con la reactividad laberíntica ante estímulos rotatorios alternantes de baja frecuencia.

Las pruebas térmicas son fundamentalmente cualitativas, ya que sólo tienen un valor clínico en asimetrías mayores al 30%.³

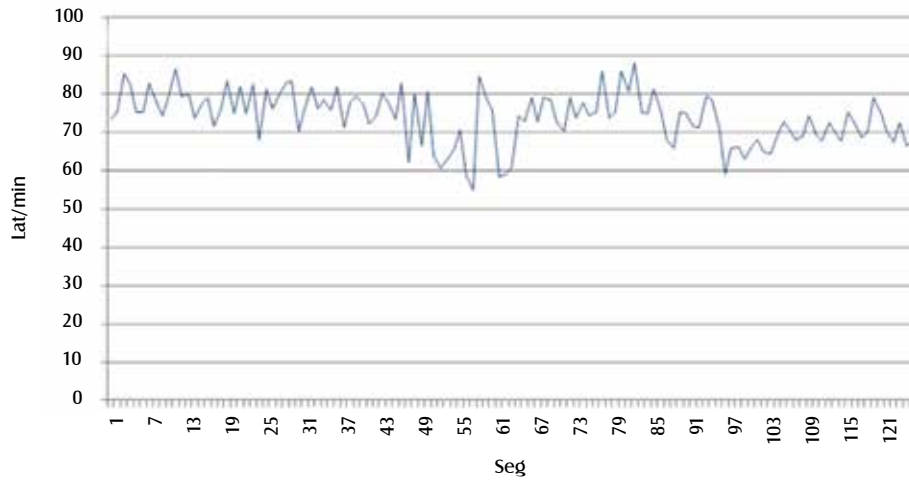
Estimulación oído izquierdo



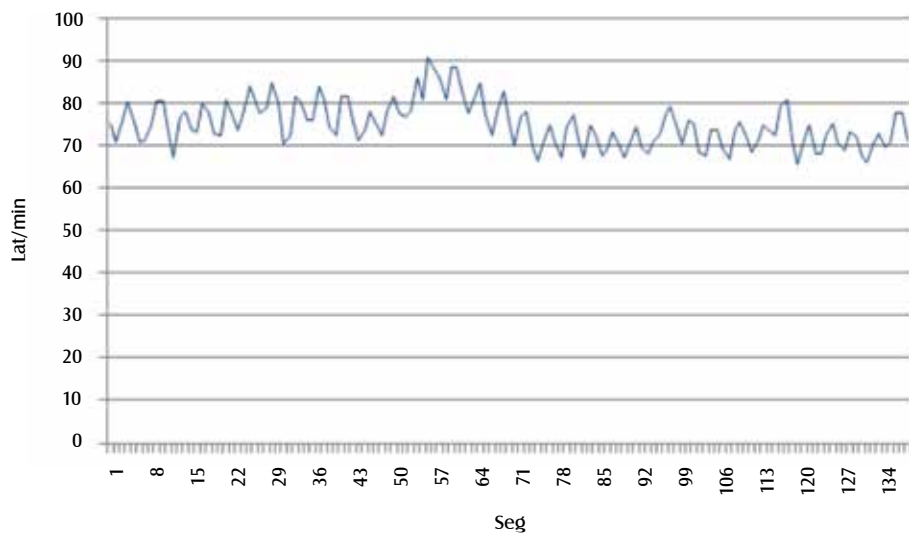
Figura 3.

Ejemplo de estimulación en el oído izquierdo. En la parte superior se aprecia el nistagmo con fase rápida a la derecha. En el registro inferior se ejemplifica la medición de un intervalo R-R.

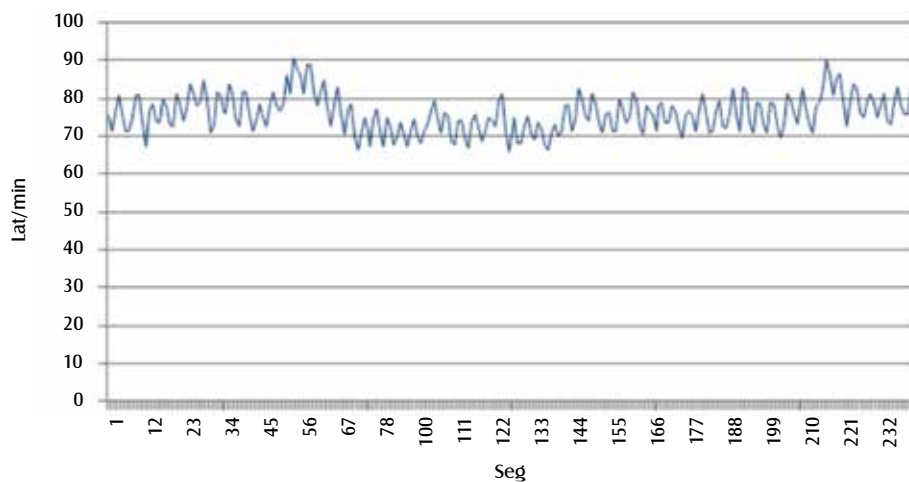
Conteo de intervalos R-R y valor en lat/min



a) Registro basal.



b) Estimulación oído izquierdo.



c) Estimulación oído derecho.

Figura 4.

Tacograma de la frecuencia cardiaca sobre el tiempo registrado en registro basal (a), y con estimulación en oído izquierdo (b) y derecho (c).

Material y métodos

Se realizó un estudio prospectivo y descriptivo. Dado que se trata de un estudio exploratorio donde no contamos con antecedentes, se tomó una muestra por conveniencia de 15 sujetos sanos (estudiando 30 oídos), elegidos al azar de una población del Distrito Federal, México. Todos los sujetos de este estudio cumplieron con los criterios de inclusión y de exclusión. Este estudio no requiere cálculo de la muestra.

De cada uno de los individuos, se evaluó que la edad estuviese comprendida entre 25 y 55 años, de sexo indistinto, con audición normal documentada por audiometría, otoscopia normal, sin evidencia clínica de alteración vestibular uni o bilateral, sin enfermedad autonómica o cardíaca documentada, con presión arterial normal, que estuvieran en ayuno de cafeína de por lo menos seis horas y sin ingesta de fármacos en las últimas 72 horas.

Se excluyeron a todos aquellos pacientes con cardiopatías y enfermedad autonómica, con perforación timpánica, disfunción vestibular, así como los que se encontraran usando fármacos betabloqueadores, antihistamínicos, calcioantagonistas, sedantes vestibulares o neurolépticos, además de quienes presentaran hipertensión arterial o padecieran arritmias documentadas por electrocardiograma.

Para la elaboración del proyecto se inició con la programación de un montaje en el polígrafo portátil Nicolet® donde se colocó el canal de registro electrocardiográfico (ambos para electrodo activo, referencia y tierra); el electrodo se utilizó para registro de electrooculograma (EOG), referenciando el electrooculograma derecho (ROC) con el izquierdo (LOC) y las dos tierras propiamente dichas.

El montaje se realizó con la tierra y su referencia en la frente del paciente. El electrodo de registro electrocardiográfico era colocado sobre la región parasternal izquierda del paciente a la altura del segundo y cuarto espacio intercostal, y el registro del EOG se colocó en el canto externo de ambos ojos: el electrooculograma derecho (ROC) con el izquierdo (LOC). La *figura 1* ejemplifica el registro del electrooculograma en la parte superior, y el electrocardiograma en la inferior.

Las impedancias requeridas estuvieron por debajo de los 5 Ohms para todos los electrodos de registro. Asimismo se colocó un equipo de video Frenzel Otometrics®, con el cual se documentaron los trazos de los nistagmos producidos por la estimulación vestibular. El sujeto estuvo en reposo por al menos tres minutos sin que obtuviéramos algún registro. Se corroboró que presentara cifras de presión arterial normales, y a continuación se le realizó el registro basal durante los siguientes tres minutos para posteriormente realizar la estimulación vestibular me-

dante la irrigación de 20 mL de agua a 30 °C durante 20 segundos por medio del irrigador automático del equipo de VNG Otometrics®.

Se registró simultáneamente en ambos equipos para documentar la duración exacta de la estimulación vestibular (mediante la identificación del nistagmo, tanto en el electrooculograma [EOG] como en el videonistagmograma [VNG]).

Con los datos obtenidos, de manera visual se identificó la ausencia de estimulación durante dos minutos, así como el periodo de estimulación documentada durante la duración del nistagmo. Para estos periodos de tiempo, se realizó de manera manual el conteo del intervalo R-R en milisegundos, utilizando para ello el lector de electroencefalograma de EEG to Go de la empresa Nicolet®, capturando en hojas de Excel® los intervalos R-R consecutivos de cada uno de los latidos referidos para cada momento: reposo y estimulación vestibular. Los tiempos eran convertidos a frecuencia cardíaca por latido en Excel® y posteriormente se sacaron: promedios, desviación estándar, latido máximo y mínimo, índice de máximo/mínimo para cada uno de los registros de cada paciente.

La estimulación vestibular se realizó mediante las pruebas térmicas, registrando el tiempo que duraba el nistagmo recogido en el videonistagmógrafo. Para poder realizar el análisis espectral, se registró un tiempo mínimo de 120 segundos. En la *figura 2* se ejemplifica la estimulación en oído derecho. Se aprecia el inicio del nistagmo (con fase rápida a la izquierda) en registro del electrooculograma en la parte superior señalando con flechas el inicio del nistagmo (flecha superior) a partir del cual se inicia la medición de los intervalos R-R (flecha inferior).

La *figura 3* ejemplifica la estimulación en oído izquierdo. En la parte superior se aprecia el nistagmo con fase rápida a la derecha. En el registro inferior se ejemplifica la medición de un intervalo R-R.

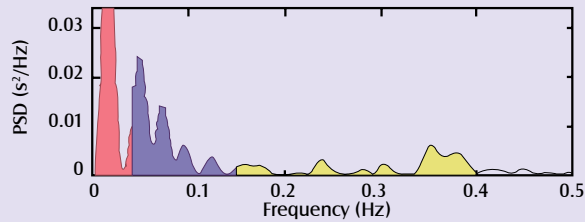
En la *figura 4* se observa un tacograma de la frecuencia cardíaca sobre el tiempo registrado en registro basal (4a), y con estimulación en oído izquierdo (4b) y derecho (4c).

El análisis de frecuencia cardíaca en reposo y con estimulación vestibular se realizó una vez hecho el conteo manual del tiempo en milisegundos del intervalo R-R, y calcular los latidos por minuto; se realizó además el análisis espectral mediante el programa Kubios®, obteniendo los valores espectrales para cada uno de los registros, tal como se muestra en la *figura 5*.

Posteriormente, se realizaron pruebas de normalidad para cada paciente; el análisis fue hecho usando el test Shapiro-Wilk para medir la normalidad. Para las pruebas normales se realizó la prueba T pareada, y para las no paramétricas la prueba de Wilcoxon.

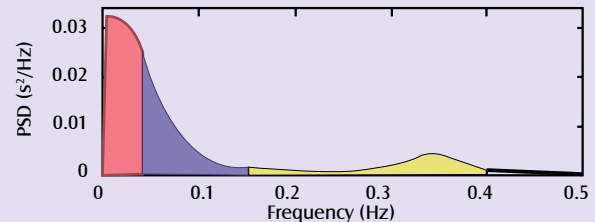
Frequency - Domain Results

FFT spectrum (Welch's periodogram: 256 s window with 50% overlap)



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0156	847	42.6	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0469	744	37.4	65.2
HF (0.15-0.4 Hz)	0.3516	397	20.0	34.8
Total		1990		
LF/HF		1.875		

AR spectrum (AR model order = 16, not factorized)

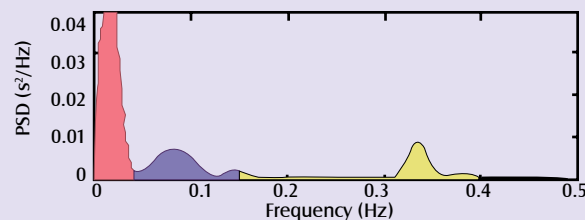


Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0039	1197	47.7	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0430	875	34.9	66.7
HF (0.15-0.4 Hz)	0.3398	434	17.3	33.1
Total		2508		
LF/HF		2.013		

a) Análisis espectral en reposo.

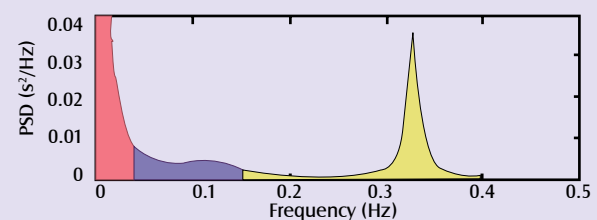
Frequency - Domain Results

FFT spectrum (Welch's periodogram: 256 s window with 50% overlap)



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0156	1139	62.4	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0820	382	20.0	55.6
HF (0.15-0.4 Hz)	0.3359	305	16.7	44.3
Total		1826		
LF/HF		1.254		

AR spectrum (AR model order = 16, not factorized)

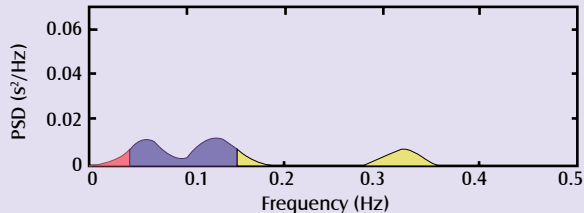


Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0039	1729	56.3	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0430	482	15.7	35.9
HF (0.15-0.4 Hz)	0.3281	859	28.0	64.0
Total		3072		
LF/HF		0.561		

b) Análisis espectral con estimulación en oído derecho.

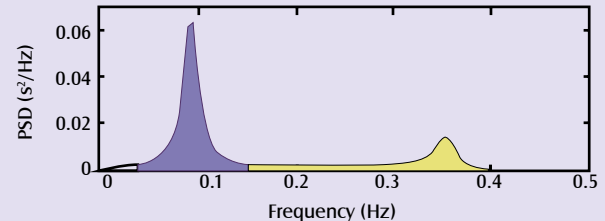
Frequency - Domain Results

FFT spectrum (Welch's periodogram: 256 s window with 50% overlap)



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0391	134	7.8	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.1289	1025	59.7	64.7
HF (0.15-0.4 Hz)	0.3203	559	32.4	35.2
Total		1719		
LF/HF		1.839		

AR spectrum (AR model order = 16, not factorized)



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF (0-0.04 Hz)	0.0391	72	3.0	
LF (0.04-0.15 Hz)	0.0938	1675	70.7	72.9
HF (0.15-0.4 Hz)	0.3555	622	26.2	27.1
Total		2370		
LF/HF		2.695		

c) Análisis espectral con estimulación en oído izquierdo.

Figura 5. Resultado del análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en el registro basal (a), durante la estimulación en oído derecho (b) e izquierdo (c) en un paciente. Se observa el registro en el dominio de la frecuencia (arreglos espectrales).

Cuadro I. Registro basal versus estimulación térmica en oído izquierdo.

	Control			Izquierda			<i>p</i> *
HR (media)	72.42	±	7.60	70.33	±	8.31	0.0141
HR (SD)	4.42	3.09	7.16	4.18	3.18	5.56	0.4603
HR (máx.)	88.30	±	12.21	87.49	±	8.21	0.7251
HR (mín.)	63.01	±	8.08	60.08	±	9.45	0.1688
SDNN (ms)	48.70	35.70	81.30	44.70	33.80	57.90	0.4603
RMSSD (ms)	43.70	35.30	55.30	50.80	36.80	55.20	0.4265
NN50	19.00	7.00	38.00	11.00	5.00	16.00	0.0031
pNN50 (%)	20.50	11.90	38.80	32.30	12.50	46.40	0.0366
TP (ms ²)	1,857.00	787.00	3,939.00	1,563.00	801.00	3,111.00	0.3942
LF (ms ²)	744.00	293.00	1,082.00	461.00	222.00	1,025.00	0.8647
HF (ms ²)	397.00	216.00	1,080.00	754.00	558.00	1,086.00	0.3066
LF/HF ratio (ms ²)	1.10	0.36	1.87	0.42	0.35	1.84	0.1914
LF (nu)	47.06	±	22.97	43.79	±	22.49	0.5887
HF (nu)	52.11	±	22.99	55.86	±	22.32	0.5402
LF/HF ratio (nu)	1.10	0.36	1.87	0.42	0.35	1.84	0.5873

HR (media) = frecuencia cardiaca media (latidos/minutos), **HR (SD)** = desviación estándar de la frecuencia cardiaca media, **HR (máx.)** = frecuencia cardiaca máxima, **HR (mín.)** = frecuencia cardiaca mínima, **SDNN** = desviación estándar de intervalo R-R (milisegundos), **RMSSD** = desviación estándar dentro de diferencias consecutivas de los intervalos R-R, **NN50** = mediana del intervalo R-R (milisegundos), **pNN50** = porcentaje de los intervalos R-R consecutivos mayores a 50 ms, **TP: LF** = componente de baja frecuencia (ms²), **HF** = componente de alta frecuencia (ms²), **LF/HF ratio** = índice del componente de baja y alta frecuencia, **LF (nu)** = componente de baja frecuencia, **HF (nu)** = componente de alta frecuencia, **LF/HF ratio (nu)** = índice del componente de baja y alta frecuencia.

* Los valores en los que se obtuvo significancia estadística se encuentran en cursiva.

Cuadro II. Registro basal versus estimulación térmica en oído derecho.

	Control			Derecho			<i>p</i>
HR (media)	72.42	±	7.60	70.29	±	8.54	0.016
HR (SD)	4.42	3.10	7.16	4.84	3.38	5.47	0.9547
HR (máx.)	88.30	±	12.20	83.45	±	12.11	0.0992
HR (mín.)	63.006	±	8.08	58.88	±	6.90	0.0103
SDNN (ms)	48.70	35.70	81.30	51.00	33.00	72.80	0.9321
RMSSD (ms)	43.70	35.30	55.30	43.50	24.40	70.80	0.7333
NN50	19.00	7.00	38.00	15.00	6.00	70.00	0.589
pNN50 (%)	20.50	11.90	38.80	34.50	4.60	56.10	0.7982
TP (ms ²)	1,857.00	787.00	3,939.00	2,926.00	709.00	5,592.00	0.3343
LF (ms ²)	744.00	293.00	1,082.00	493.00	209.00	1,613.00	0.8647
HF (ms ²)	397.00	216.00	1,080.00	677.00	190.00	1,820.00	0.9096
LF/HF ratio (ms ²)	1.10	0.36	1.87	1.03	0.54	1.47	0.256
LF (nu)	47.06	±	22.97	46.94	±	18.69	0.9856
HF (nu)	52.11	±	22.997	47.06	±	22.96	0.9069
LF/HF ratio (nu)	1.10	0.36	1.87	1.03	0.54	1.47	0.3066

HR (media) = frecuencia cardiaca media (latidos/minutos), **HR (SD)** = desviación estándar de la frecuencia cardiaca media, **HR (máx.)** = frecuencia cardiaca máxima, **HR (mín.)** = frecuencia cardiaca mínima, **SDNN** = desviación estándar de intervalo R-R (milisegundos), **RMSSD** = desviación estándar dentro de diferencias consecutivas de los intervalos R-R, **NN50** = mediana del intervalo R-R (milisegundos), **pNN50** = porcentaje de los intervalos R-R consecutivos mayores a 50 ms, **TP: LF** = componente de baja frecuencia (ms²), **HF** = componente de alta frecuencia (ms²), **LF/HF ratio** = índice del componente de baja y alta frecuencia, **LF (nu)** = componente de baja frecuencia, **HF (nu)** = componente de alta frecuencia, **LF/HF ratio (nu)** = índice del componente de baja y alta frecuencia.

* Los valores en los que se obtuvo significancia estadística se encuentran en cursiva.

Resultados

Los datos promedios con desviación estándar, latidos máximo y mínimo, índice máximo/mínimo y rango de datos cardiacos para el registro basal o en reposo en comparación con el registro de los sujetos evaluados con estimulación térmica en oído izquierdo se muestran en el *cuadro I*. Los datos promedios para el registro basal o en reposo contra el registro con estimulación térmica en oído derecho se muestran en el *cuadro II*. Los datos promedio con desviación estándar, latidos máximo y mínimo, índice máximo/mínimo y rango de datos cardiacos para el registro con estimulación térmica en oído derecho en comparación con el oído izquierdo se muestran en el *cuadro III*. En estos cuadros podemos observar que no existen diferencias significativas entre la frecuencia cardiaca basal y la frecuencia obtenida durante la estimulación en cada uno de los oídos (*Cuadros I y II*), de hecho la única diferencia que podría resultar en una variación significativa es la aparente reducción que depende de la frecuencia cardiaca mínima más baja en el oído derecho (*Cuadro II*).

En el análisis espectral no se observan diferencias significativas en los componentes de alta y baja frecuencia, ni en la relación de componentes de alta y baja frecuencia.

Discusión

Se observa que, con respecto a la frecuencia cardiaca basal, la frecuencia cardiaca media disminuye significativamente durante la estimulación individual de ambos oídos. Esto depende de la frecuencia cardiaca mínima más baja, especialmente en el oído derecho (*Cuadro II*), ya que se mantiene una desviación estándar sin diferencias significativas en ambas estimulaciones, por lo que podría resultar tentador sugerir que la estimulación vestibular conduce a un decremento en la frecuencia cardiaca basal.

Sin embargo, el decremento no se explica por ningún mecanismo fisiopatológico; por el contrario, se ha descrito que dicha estimulación produce taquicardia.^{4,5} En 2005, Mori y cols. demostraron que la lesión de los núcleos vestibulares en gatos conducía a un incremento en la frecuencia cardiaca con y sin aferencia visual.¹²

Al no observar diferencias significativas en el análisis espectral, se complica aún más el establecer una participación directa del sistema nervioso simpático y parasimpático durante la realización de la prueba.

Con estos resultados podríamos considerar las siguientes posibilidades: en sujetos normales el equilibrio del sistema autónomo durante la estimulación vestibular

Cuadro III. Estimulación térmica en oído izquierdo versus oído derecho.

	Derecho			Izquierdo			p
HR (media)	70.29	±	8.55	70.33	±	8.31	0.9168
HR (SD)	4.84	3.39	5.48	4.18	3.18	5.56	0.256
HR (máx.)	83.45	±	12.11	87.49	±	8.21	0.1092
HR (mín.)	58.88	±	6.90	60.08	±	9.45	0.5073
SDNN (ms)	51.00	33.00	72.80	44.70	33.80	57.90	0.0535
RMSSD (ms)	43.50	24.40	70.80	50.80	36.80	55.20	0.6496
NN50	15.00	6.00	70.00	11.00	5.00	16.00	0.0122
pNN50 (%)	34.50	4.60	56.10	32.30	12.50	46.40	0.5508
TP (ms ²)	2,926.00	709.00	5,592.00	1,563.00	801.00	3,111.00	0.0884
LF (ms ²)	493.00	209.00	1,613.00	461.00	222.00	1,025.00	0.6496
HF (ms ²)	677.00	190.00	1,820.00	754.00	558.00	1,086.00	0.7333
LF/HF ratio (ms ²)	1.04	0.54	1.47	0.42	0.35	1.84	0.688
LF (nu)	46.94	±	18.69	43.79	±	22.49	0.5662
HF (nu)	47.06	±	22.97	55.86	±	22.32	0.5889
LF/HF ratio (nu)	1.03	0.54	1.47	0.42	0.35	1.84	0.673

HR (media) = frecuencia cardiaca media (lat/min), **HR (SD)** = desviación estándar de la frecuencia cardiaca media, **HR (máx.)** = frecuencia cardiaca máxima, **HR (mín.)** = frecuencia cardiaca mínima, **SDNN** = desviación estándar de intervalo R-R (milisegundos), **RMSSD** = desviación estándar dentro de diferencias consecutivas de los intervalos R-R, **NN50** = mediana del intervalo R-R (milisegundos), **pNN50** = porcentaje de los intervalos R-R consecutivos mayores a 50 ms, **TP**: **LF** = componente de baja frecuencia (ms²), **HF** = componente de alta frecuencia (ms²), **LF/HF ratio** = índice del componente de baja y alta frecuencia, **LF (nu)** = componente de baja frecuencia, **HF (nu)** = componente de alta frecuencia, **LF/HF ratio (nu)** = índice del componente de baja y alta frecuencia.

* Los valores en los que se obtuvo significancia estadística se encuentran en cursiva.

no permite demostrar la presencia de diferencias estadísticamente significativas (lo que no significa que no sean fisiológicamente importantes), ya que dicho equilibrio se lleva a cabo mediante activaciones regionalmente selectivas.² Kerman y Yates revisaron, en un estudio realizado en el año 2000, la evidencia de actividad simpática regional provocada por estimulación vestibular mediante la medición de la respuesta vasoconstrictora muscular. Dichos autores encontraron respuestas significativamente distintas de forma regional; las unidades individuales situadas en el miembro posterior exhibieron respuestas predominantemente de tipo excitatorio, mientras que las respuestas de los situados en la extremidad anterior y la cara exhibían respuestas de tipo inhibitorio. Esto podría explicar que un estímulo vestibular local (que produce una respuesta rotatoria específica en el plano horizontal) no produzca una alteración sistémica significativa en la VFC.

Que las alteraciones autonómicas desencadenadas por estimulación vestibular dependan de la interacción del vestíbulo con otros sistemas. En 2003, Jáuregui y cols. midieron la variabilidad de la frecuencia cardiaca, presión arterial y frecuencia respiratoria en seis individuos sanos y en un individuo con disfunción vestibular aplicando estimulación térmica vestibular durante la respiración espontánea y respiración rítmica. Se encontraron alteraciones estadísticamente significativas. Sin embargo, para ambas condiciones, las proporciones de la VFC y la variabilidad de la presión arterial, independientes linealmente de la respiración, no mostraron ningún cambio inducido por la estimulación térmica, concluyendo que la estimulación vestibular calórica produce cambios en la variabilidad de la frecuencia cardiaca y de la presión arterial mediante la modificación del patrón respiratorio.¹⁰ Por otro lado, Wood y cols. estudiaron las variaciones en la presión arterial y en la VFC mediante estimulación visual ilusoria de inclinación y rotación sobre los ejes *pitch* y *yaw* y, aunque no pudieron demostrar una correlación significativa entre la magnitud del estímulo y los cambios en los parámetros cardiorrespiratorios de su grupo de estudio, varios sujetos mostraron una disminución transitoria significativa en la presión arterial media, muy semejante a su respuesta inicial a la basculación pasiva.¹⁶

Por otro lado, la estimulación térmica no es precisamente representativa de las vías que conectan los centros vestibulares con el sistema nervioso autónomo (como ejemplo, podemos describir que en la prueba de ortostatismo hay una activación de ambos vestíbulos; dicha activación se realiza primordialmente como una aceleración lineal en el plano vertical [mediada por el sáculo] con un componente angular en el eje *pitch*, con participación de

los canales semicirculares superior e inferior.⁴ En las pruebas térmicas, en cambio, se estimula el aparato vestibular en el plano horizontal, con participación de los canales semicirculares laterales) y que, fisiológicamente, no tiene esta vía un valor importante en la activación autonómica.

Al respecto, Myers y cols. midieron la VFC estimulando mediante rotación centrífuga (estimulación utricular y sacular) y tangencial (estimulación sacular), encontrando diferencias significativas únicamente durante la estimulación tangencial, lo que sugiere que la conexión sacular es la más importante del vestíbulo con el sistema nervioso autónomo.¹³ Esto nos lleva a pensar que se podría intentar una estimulación sacular por medio de otros estímulos, como los estímulos acústicos (utilizados para la realización de los potenciales evocados miogénicos vestibulares VEMPs). Chen y cols., en 2005, demostraron que la estimulación acústica (con música y con ruido) altera la ritmicidad de las ondas lentas gástricas. Sin embargo, en dicho trabajo no se pudo demostrar la participación de las vías simpáticas o vagales eferentes mediante el análisis espectral de la VFC.⁷

Es posible que la estimulación estandarizada para las pruebas térmicas no sea lo suficientemente intensa para arrojar diferencias significativas en el control del sistema nervioso autónomo. Al respecto se podría intentar una mayor activación con un mayor volumen de agua, mayor tiempo de estimulación y menor temperatura del agua instilada que permita mantener una activación vestibular por más tiempo.

Conclusiones

No fue posible establecer una diferencia significativa entre la frecuencia cardiaca basal o sin estimulación vestibular, comparada con la frecuencia cardiaca durante la estimulación vestibular con las pruebas térmicas estandarizadas.

A pesar de no haber encontrado significancia estadística en la frecuencia cardiaca, no significa que no haya participación del sistema nervioso autónomo durante la estimulación vestibular ya que, incluso en algunos de los pacientes estudiados en el presente trabajo refirieron datos de cortejo vagal durante la realización de la prueba.

Conflicto de intereses

Todos los autores han contribuido de forma sustancial al diseño, realización, análisis y presentación de este trabajo, de forma tal que han tomado responsabilidad por éste.

Cada autor cree que este artículo representa la comunicación de un trabajo válido, verídico y ético, y cada autor ha revisado el contenido de este escrito y lo ha aprobado para su publicación, siendo esta autorización dictaminada por el autor de correspondencia, pero cuya responsabilidad es delegada a éste, sin conflictos, por cada uno de los autores.

Además, todos dan fe de la precisión con la que se hicieron los análisis, hasta el punto donde el error humano no advertido haya permitido lograr. Los autores declaran que este trabajo nunca ha sido publicado, ya sea de forma parcial o total, en otra revista de divulgación científica, y que el mismo no está siendo considerado en ninguna otra parte para su publicación. Asimismo, no existe afiliación alguna con cualquier organización con un interés monetario o ético directo o indirecto con la sustancia de lo tratado en este escrito científico. Todos los autores declaran que no existe conflicto de intereses alguno que afecte el diseño y el reporte de los resultados del estudio.

Los autores transferimos formalmente los derechos de este escrito a la *Revista Mexicana de Comunicación, Audiología, Otoneurología y Foniatría*.

BIBLIOGRAFÍA

1. American TN. Guidelines Heart rate variability. *Heart*. 1996; 354-381.
2. Balaban CD. Vestibular autonomic regulation (including motion sickness and the mechanism of vomiting). *Current Opinion in Neurology*. 1999; 12: 29-33.
3. Barin K. Baseline Shift and gain asymmetry in the caloric test. *Baseline*. 1977; 1-8.
4. Brandt T, Strupp M. General vestibular testing. *Clinical Neurophysiology*. 2005; 116: 406-426. doi: 10.1016/j.clinph.2004.08.009
5. Brunas RL. *Sistema vestibular y trastornos oculares*. 2a ed. El Ate-neo; 1985: pp. 16-29.
6. Gonçalves DU, Felipe L. Interpretation and use of caloric testing. *Rev Bras Otorrinolaringol*. 2008; 74: 440-446.
7. Chen DD, Xu X, Wang Z, Chen JD. Alteration of gastric myoelectrical and autonomic activities with audio stimulation in healthy humans. *J Gastroenterol Hepatol*. 2005; 40 (7): 814-821.
8. Infante O. *Coherencia entre los cambios de la amplitud del pulso fotopletimográfico y de la frecuencia cardíaca*. III Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica. 2004; 96.
9. Jugo D, Medina R, Rojas R, Núñez T, Arellano E, Borrego A. Nuevos métodos de análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. *Bioengineering Solutions for Latin America Health IFMBE Proceedings*. 2008; 18: 1182-1185.
10. Jáuregui-Renaud K, Hermosillo AG, Gómez A, Márquez MF, Cárdenas M, Bronstein AM. Autonomic function interferes in cardiovascular reflexes. *Archives of Medical Research*. 2003; 34 (3): 200-204.
11. Kleiger R et al. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol*. 1987; 59: 256-262.
12. Mori RL, Cotter LA, Arendt HE, Olsheski CJ, Yates BJ. Effects of bilateral vestibular nucleus lesions on cardiovascular regulation in conscious cats. *J Appl Physiol*. 2005; 98 (2): 526-533. doi: 10.1152/japplphysiol.00970.2004.
13. Myers EN, Yamamoto KI, Kawasaki Y, Izumi R, Kubo T. Assessment of the otolith-autonomic response using spectral analysis of the r-r interval and blood pressure. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2000; 123 (5): 582-583.
14. Rama-López J, Pérez-Fernández N. Pruebas vestibulares y posturografía. *Rev Med Univ Navarra*. 2003; 47: 21-28.
15. Sayers B. Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*. 1973; 16: 17-32.
16. Wood SJ, Ramsdell CD, Mullen TJ, Oman CM, Harm DL. Transient cardio-respiratory responses to visually induced tilt illusions. *Brain Research Bulletin*. 2000; 53 (1): 25-31.

Correspondencia:

Dr. Marco Abiel Hernández Camacho

Departamento de Neurología y Psiquiatría.

Laboratorio de Neurofisiología Clínica, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán" Vasco de Quiroga Núm. 15, Colonia Sección XVI, Tlalpan, 14000, México, D.F.

Fax: 55-55683450

E-mail: marco_abiel@hotmail.com