

Balance autonómico basal y durante el ejercicio isométrico en jóvenes con diferente reactividad cardiovascular

MSc. Dr. Alexis Rodríguez Pena¹✉, Dr.C. Otmara Guirado Blanco², Dr. Héctor J. González Paz¹, Dra. Marianela Ballesteros Hernández¹, Dr. José C. Casas Blanco¹ y Dr. Alexander E. Cárdenas Rodríguez¹

¹ Facultad de Medicina, Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara. Villa Clara, Cuba.

² Unidad de Investigaciones Biomédicas, Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara. Villa Clara, Cuba.

Full English text of this article is also available

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 20 de septiembre de 2018

Aceptado: 23 de octubre de 2018

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Abreviaturas

FC: frecuencia cardíaca

HF: alta frecuencia (siglas en inglés)

HTA: hipertensión arterial

LF: baja frecuencia (siglas en inglés)

PPS: prueba del peso sostenido

SD: desviación estándar (siglas en inglés)

VFC: variabilidad de la frecuencia cardíaca

RESUMEN

Introducción: El sistema nervioso autónomo desempeña un papel importante en los reajustes cardiovasculares al ejercicio. En la hiperreactividad cardiovascular existe una mayor sensibilidad del sistema simpático ante diferentes estímulos estresantes.

Objetivo: Determinar las características del control autonómico cardíaco en adultos jóvenes con diferentes grados de reactividad cardiovascular en condiciones basales y durante el ejercicio isométrico.

Método: La muestra estuvo constituida por 97 individuos de ambos sexos, y se dividió en tres grupos: normorreactivos, hiperreactivos y con respuesta hipertensiva, de acuerdo a la respuesta presora a la prueba del peso sostenido. A todos los individuos se les realizó un estudio de variabilidad de la frecuencia cardíaca en reposo y durante la prueba isométrica. Se estudiaron las variables en el dominio de la frecuencia: baja, alta, relación baja/alta en reposo, y los parámetros del diagrama de Poincaré en reposo y durante el ejercicio (valores de desviación estándar 1 [SD1], 2 [SD2], y la razón entre ambos).

Resultados: En estado basal los individuos hiperreactivos y con respuesta hipertensiva presentaron un predominio simpático sobre la función cardíaca y una menor variabilidad de la frecuencia cardíaca. Durante el ejercicio isométrico disminuyeron los valores de los ejes SD1 y SD2 en todos los grupos y la razón SD1/SD2 decreció en individuos normorreactivos y con respuesta hipertensiva; pero apenas se modificó en los hiperreactivos.

Conclusiones: En los individuos con hiperreactividad cardiovascular ya está presente un desbalance autonómico en estado basal y existe una reducción de la modulación autonómica vagal durante el ejercicio, que puede favorecer el desarrollo de la hipertensión arterial.

Palabras clave: Hiperreactividad cardiovascular, Frecuencia cardíaca, Ejercicio, Contracción isométrica, Prueba del peso sostenido

Basal autonomic balance and during the isometric exercise in young people with different cardiovascular reactivity

ABSTRACT

Introduction: The autonomic nervous system plays an important role in cardiovascular readjustments to exercise. In cardiovascular hyperreactivity there is a greater sensitivity of the sympathetic system to different stressors.

✉ A Rodríguez Pena
Universidad de Ciencias Médicas de
Villa Clara. Carretera de Acueducto y
Circunvalación. Santa Clara, CP
50200. Villa Clara, Cuba.
Correo electrónico:
alexisrp@infomed.sld.cu

Objectives: To determine the characteristics of cardiac autonomic control in young adults with different degrees of cardiovascular reactivity under basal conditions and during isometric exercise.

Method: The sample consisted of 97 individuals of both sexes, and was divided into three groups: normoreactive, hyperreactive and with hypertensive response, according to the pressor response to weight-bearing tests. The individuals underwent a complete study of heart rate variability at rest and during isometric test. The frequency domain for the variables was: low, high, low/high resting ratio, and the parameters of Poincaré plots at rest and during exercise (values of standard deviation 1 [SD1], 2 [SD2], and the reason between them).

Results: Under basal conditions, hyperreactive individuals with a hypertensive response had a sympathetic predominance over cardiac function and lower heart rate variability. During the isometric exercise SD1 and SD2 axes values decreased in all groups and SD1/SD2 ratio decreased in normoreactive individuals with hypertensive response; but it was hardly modified in those hyper-reactive.

Conclusions: Individuals with cardiovascular hyperreactivity have a prior autonomic imbalance under basal conditions and a reduction of autonomic vagal modulation during exercise that may favor the development of arterial hypertension.

Keywords: Cardiovascular hyperreactivity, Heart rate, Exercise, Isometric contraction, Dynamic weight-bearing test

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha establecido la relación existente entre el funcionamiento del sistema nervioso autónomo y la mortalidad cardiovascular. Esto ha motivado la búsqueda de marcadores cuantitativos del balance autonómico, como la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), que representa uno de los más promisorios. La vfc o modificación de los intervalos de tiempo entre los latidos consecutivos del corazón, es una propiedad emergente de los sistemas reguladores interdependientes que opera sobre diferentes escalas temporales para adaptarse a los retos ambientales y psicológicos¹. Se relaciona con las adaptaciones fisiológicas a los cambios en el medio interno y con la presencia de diferentes enfermedades^{2,3}.

Existen varios métodos para evaluarla, los más aceptados actualmente están en el dominio de la frecuencia (análisis espectral); los métodos del dominio del tiempo son básicamente estadísticos y evalúan la variabilidad por medio de promedios y desviaciones estándar, son los más conocidos, pero al parecer tienen menos ventajas que los métodos espectrales. Otros métodos utilizados son los no lineales, como el ploteo de Poincaré, que a diferencia de las mediciones en el dominio de la frecuencia, este es insensible a los cambios en los intervalos R-R del electrocardiograma. Es la técnica más simple para describir la dinámica no lineal de un fenómeno

y presenta buenos resultados en estudios clínicos, experimentales, y en la fisiología del deporte⁴.

El desequilibrio autonómico o desbalance simpático-vagal, que asocia la actividad simpática creciente y el tono vagal reducido, está implicado en la fisiopatología de la arritmogénesis, la muerte súbita cardíaca y la hipertensión arterial (HTA)^{2,3}. Existen varios métodos para evaluar el estado autonómico de un individuo⁵, dentro de los que se encuentran la VFC en reposo y en respuesta a la activación del sistema nervioso autónomo mediante respiraciones profundas y maniobra de Valsalva, la respuesta a la ortostasia activa y la contracción muscular isométrica^{3,5,6}. Estas pruebas están estandarizadas, son simples de realizar, seguras, reproducibles y no implican maniobras cruentas⁷⁻¹⁰.

Por otra parte, aquellos individuos en los que existe un incremento de la respuesta o una mayor sensibilidad del sistema simpático ante diferentes estímulos estresantes presentan un estado denominado hiperreactividad cardiovascular. En este sentido, un grupo de investigaciones recientes han demostrado que las pruebas que detectan individuos hiperreactivos, pueden constituir buenos predictores de HTA^{11,12}. Estos estudios se han desarrollado considerando la hipótesis de que los individuos con mayor hiperreactividad tienen un incremento del riesgo de desarrollar HTA, y que éste es independiente de la presencia de otros marcadores de riesgo cardiovascular.

Existen varias pruebas para inducir hiperreactividad, entre ellas se encuentran el ejercicio físico isométrico o isotónico (dinámico), el estrés mental y el frío. Dentro de las pruebas isométricas se halla la prueba del peso sostenido (PPS). Esta es una variante de la prueba de la empuñadura (*handgrip*) desarrollada por Paz Basanta *et al*¹³ en la década de los años '90 del siglo pasado, la cual demostró elevadas especificidad, sensibilidad y valor predictivo, y fue utilizada en pesquisajes de HTA en la atención primaria de salud. Sin embargo, no se realizaron estudios posteriores para determinar las características del balance simpático-vagal en los individuos con hiperreactividad cardiovascular, y se desconoce si existen diferencias con los normorreactivos en la respuesta autonómica a la mencionada prueba.

El objetivo de esta investigación fue determinar las características del control autonómico cardíaco en reposo y durante el ejercicio isométrico en adultos jóvenes con diferentes grados de reactividad cardiovascular.

MÉTODO

Se realizó un estudio analítico de tipo transversal en el Laboratorio de Fisiología Cardiovascular de la Unidad de Investigaciones Biomédicas de la Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara. Se tomó una muestra aleatoria de 97 estudiantes, 56 del sexo femenino y 41 del masculino, con una media de edad de $19,16 \pm 1,41$ años.

Los individuos no tenían antecedentes de enfermedades crónicas, excepto HTA sin tratamiento farmacológico y como requisitos previos a la prueba no podían fumar, tomar café, ni realizar ejercicios intensos desde el día anterior.

Se realizó una toma inicial de la presión arterial en el miembro superior derecho en posición sentada por el método auscultatorio clásico con un esfigmomanómetro de mercurio marca Kennel. A continuación se realizó la PPS en posición sentada, sujetando una pesa de 500 gramos con el miembro superior izquierdo perpendicular al cuerpo, durante 2 minutos. Según los valores de la presión arterial media se clasificaron los individuos en normorreactivos ($n=58$), hiperreactivos ($n=31$) y con respuesta hipertensiva ($n=8$) cumpliendo los requisitos establecidos por Paz Basanta *et al*¹³.

En un segundo momento se determinó la respuesta presora a la PPS en posición de decúbito supino. Para ello se colocó al individuo con el brazo

izquierdo paralelo al piso, perpendicular al eje longitudinal y con el hombro fuera de la cama, y se determinaron los valores de presión arterial sistólica, diastólica y media, en el primer y segundo minuto de la prueba.

La VFC se determinó de acuerdo con las guías de la Sociedad Europea de Cardiología y la Sociedad Norteamericana de Marcapaso y Electrofisiología¹⁴. Para la adquisición de datos se empleó un equipo digital de registro PowerLab y el programa LabChart 8, a través de la derivación electrocardiográfica estándar D_{II}, en posición decúbito supino, en reposo durante 10 minutos y en el ejercicio isométrico. Los parámetros de la VFC se analizaron en los últimos 5 minutos del reposo y durante la ejecución del ejercicio.

El estudio de la VFC se realizó en el dominio de la frecuencia. Para calcular los parámetros en el mencionado dominio se utilizó el análisis espectral del tacograma y el periodograma de Lomb. Los valores de potencia, con unidades ms^2/Hz , fueron expresados como el logaritmo natural de las cifras obtenidas.

La medición de las energías de los componentes de baja (LF) y alta frecuencia (HF) se expresaron en valores absolutos de frecuencia, calculadas en milisegundos cuadrados y en los valores de las energías normalizadas, expresadas en porcentaje de las diferentes bandas, respecto a la potencia espectral total que representan el valor relativo de cada uno de estos componentes en proporción al valor total del componente de muy baja frecuencia¹⁵. Otro análisis efectuado fue el cálculo de la relación entre ambas frecuencias (LF/HF), que en condiciones controladas representa el balance simpático-vagal.

En el análisis no lineal se utilizó el gráfico de dispersión de Poincaré, que se realizó de forma cuantitativa por el ajuste de una elipse a la figura formada por el ploteo de cada intervalo R-R contra el intervalo precedente. De la nube de puntos de la elipse se obtuvieron los parámetros de desviación estándar (SD) 1 y 2 que están asociados con las diagonales transversal y longitudinal, respectivamente. Estos parámetros se corresponden con las desviaciones estándar de los datos de la elipse y describen la variabilidad a corto y largo plazos. La relación SD1/SD2 representa el balance autonómico^{16,17}.

Todas las mediciones de los parámetros estudiados se realizaron en el horario comprendido entre las 08:00 am y las 10:00 am, en el Laboratorio de Fisiología Cardiovascular de la Unidad de Investigaciones Biomédicas.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS versión 20.0, los resultados se indican por la media \pm desviación estándar ($\bar{x} \pm DE$). Se realizó una comparación de las variables de estudio entre los grupos a través de la prueba T para muestras independientes, y en la comparación de los valores basales con los alcanzados durante el ejercicio isométrico, se utilizó una prueba T para muestras relacionadas. Se consideró la significación estadística para $p < 0,05$.

RESULTADOS

En la **tabla 1** se presentan las medias y desviaciones estándar de la presión arterial y la frecuencia cardíaca (FC) en condiciones basales y durante el ejercicio isométrico. Se compararon las medias en ambas condiciones, y se pudo constatar que los valores de presión arterial sistólica, diastólica y media presentaron aumentos significativos en todos los grupos ($p < 0,05$); además, que estos valores se incrementaron en relación al grado de reactividad cardiovascular. Por otra parte, la FC también se incrementó significativamente en el ejercicio en todos los grupos, aunque en los individuos con respuesta hipertensiva las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$).

En la **tabla 2** se observan los parámetros de la VFC en el dominio de la frecuencia en reposo, donde se constata que existieron diferencias significativas en todas las variables entre normorreactivos e hiperreactivos ($p < 0,05$); sin embargo, no se apreciaron diferencias en los individuos con respuesta hipertensiva respecto al resto de los grupos ($p > 0,05$).

Los hiperreactivos presentaron el mayor valor de LF (en unidades normalizadas: $58,19 \pm 14,98$) y los individuos con respuesta hipertensiva tuvieron los menores valores de HF (en milisegundos al cuadrado [$23,26 \pm 13,02$] y en unidades normalizadas [$40,98 \pm 19,76$]) y la mayor razón LF/HF $1,93 \pm 1,52$ (menor VFC), aunque sin diferencias significativas con el grupo de normorreactivos.

En los parámetros del diagrama de Poincaré se observó que los individuos normorreactivos presentaron valores más elevados de los ejes SD1, SD2 y en la razón SD1/SD2 que los individuos hiperreactivos y con respuesta hipertensiva, con diferencias estadísticas significativas sólo con los primeros ($p < 0,05$).

En el hecho de no encontrar diferencias estadísticas en las variables estudiadas en el grupo de respuesta hipertensiva pudo incidir el pequeño tamaño de la muestra con una mayor dispersión de los datos.

En la **tabla 3** se muestran los valores de los parámetros cuantitativos del ploteo de Poincaré durante la PPS. Se pudo constatar que los individuos con respuesta hipertensiva presentaron el menor valor del parámetro SD1 y de la razón SD1/SD2, aunque no se obtuvieron diferencias significativas entre los grupos ($p > 0,05$).

Al comparar los valores basales con los obtenidos durante la prueba isométrica mediante el ploteo de Poincaré (**Figura 1**) se pudo apreciar que en todos los grupos disminuyeron los valores de SD1 y SD2 con diferencias significativas en normorreactivos e hiperreactivos ($p < 0,05$). Por otro lado, la razón SD1/SD2 apenas se modificó en el grupo de hiperreactivos y en el resto de los grupos disminuyó, aunque de forma significativa solo en los normo-

Tabla 1. Parámetros hemodinámicos en condiciones basales y durante el ejercicio isométrico en individuos normorreactivos, hiperreactivos y con respuesta hipertensiva.

Variables	Normorreactivos (n=58)			Hiperreactivos (n=31)			Respuesta Hipertensiva (n=8)		
	Basal	PPS	p	Basal	PPS	p	Basal	PPS	p
PAS	111,45 \pm 9,81	119,72 \pm 8,39	<0,0001	123,42 \pm 10,42	131,55 \pm 10,6	<0,0001	132,00 \pm 12,65	142,00 \pm 12,23	0,005
PAD	71,52 \pm 8,72	82,65 \pm 7,92	<0,0001	78,58 \pm 7,38	90,64 \pm 5,69	<0,0001	89,00 \pm 7,63	98,25 \pm 6,27	0,001
PAM	84,81 \pm 8,05	95,03 \pm 6,95	<0,0001	93,52 \pm 6,87	104,26 \pm 5,83	<0,0001	103,25 \pm 9,06	112,83 \pm 7,97	0,001
FC	72,48 \pm 9,65	78,72 \pm 18,22	<0,0001	75,68 \pm 10,20	82,26 \pm 11,80	<0,0001	85,62 \pm 13,18	93,63 \pm 10,78	0,161

Los valores se expresan en media \pm desviación estándar.

Prueba T de *Student* para muestras relacionadas, significación $p < 0,05$.

FC, frecuencia cardíaca; PAD, presión arterial diastólica; PAM, presión arterial media; PAS, presión arterial sistólica; PPS, prueba del peso sostenido.

reactivos ($p < 0,05$).

Los diagramas de Poincaré representan tres tipos de individuos con diferente grado de reactividad

(Figura 2). Se puede observar que, en condiciones basales, en aquellos con hiperreactividad (B y C) los diámetros SD1 y SD2 tienen valores inferiores al del

Tabla 2. Parámetros de variabilidad de la frecuencia cardíaca en estado basal en los grupos de estudio.

Variables	Normorreactivos (n=58)	Hiperreactivos (n=31)	Respuesta Hipertensiva (n=8)	NR-HR $p^{\#}$	NR-RHT $p^{\#}$	HR-RHT $p^{\#}$
BF (ms ²)	32,70±10,42	32,35±10,30	30,66±10,72	0,882	0,627	0,698
AF (ms ²)	33,38±15,13	24,61±13,56	23,26±13,02	0,008*	0,095	0,812
BF (un)	50,48±14,37	58,19±14,98	56,81±15,38	0,020*	0,300	0,840
AF (un)	48,39±13,41	41,30±14,08	40,98±19,76	0,022*	0,196	0,959
BF/AF	1,27±0,91	1,69±0,95	1,93±1,52	0,040*	0,097	0,599
MDE1	45,56±25,27	31,11±12,67	30,00±17,94	0,004*	0,120	0,848
MDE2	92,68±31,81	78,68±17,56	77,05±31,19	0,026*	0,223	0,850
MDE1/MDE2	0,47±0,20	0,40±0,13	0,37±0,88	0,033*	0,090	0,618

Los valores se expresan en media ± desviación estándar.

[#] Prueba T para variables independientes. Comparación entre las medias de las categorías (* $p < 0,05$).

Unidades: ms², milisegundos al cuadrado; un, unidades normalizadas.

AF, altas frecuencias; BF, bajas frecuencias; MDE, valor de media ± desviación estándar; HR, hiperreactivos; NR, normorreactivos; RHT, respuesta hipertensiva.

Tabla 3. Análisis cuantitativo del ploteo de Poincaré durante el ejercicio isométrico en los grupos de estudio.

Variables	Normorreactivos (n=58)	Hiperreactivos (n=31)	Respuesta hipertensiva (n=8)	NR-HR $p^{\#}$	NR-RHT $p^{\#}$	HR-RHT $p^{\#}$
MDE1	35,68±25,4	26,80±15,38	24,01±11,95	0,080	0,240	0,657
MDE2	76,13±29,62	64,30±23,43	66,47±23,29	0,058	0,410	0,826
MDE1/MDE2	0,40±0,165	0,40±0,132	0,34±0,08	0,334	0,169	0,287

Los valores se expresan en media ± desviación estándar (milisegundos).

[#] Prueba T para variables independientes. Comparación entre las medias de las categorías.

HR, hiperreactivos; MDE, valor de media ± desviación estándar; NR, normorreactivos; RHT, respuesta hipertensiva.

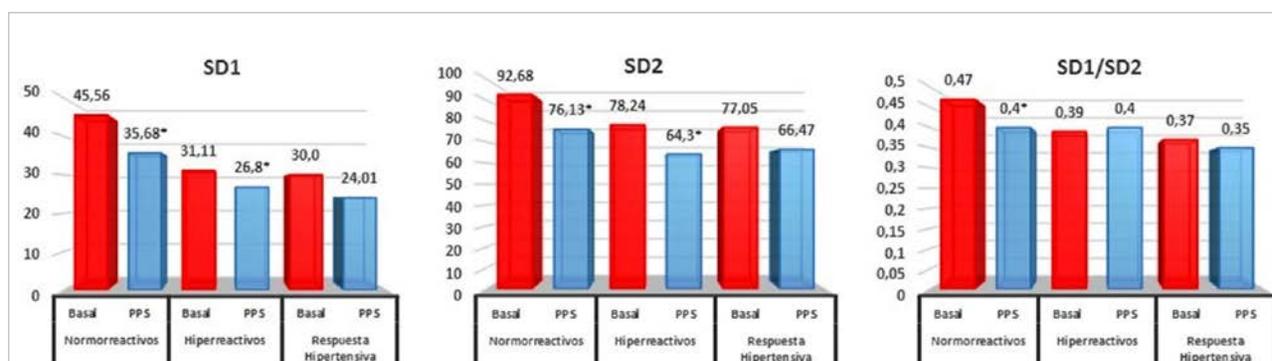


Figura 1. Comparación del balance autonómico basal con el ejercicio mediante el ploteo de Poincaré. Los valores se expresan en medias. Prueba T de Student para la comparación de variables relacionadas (* $p < 0,05$). PPS, prueba del peso sostenido; SD, desviación estándar.

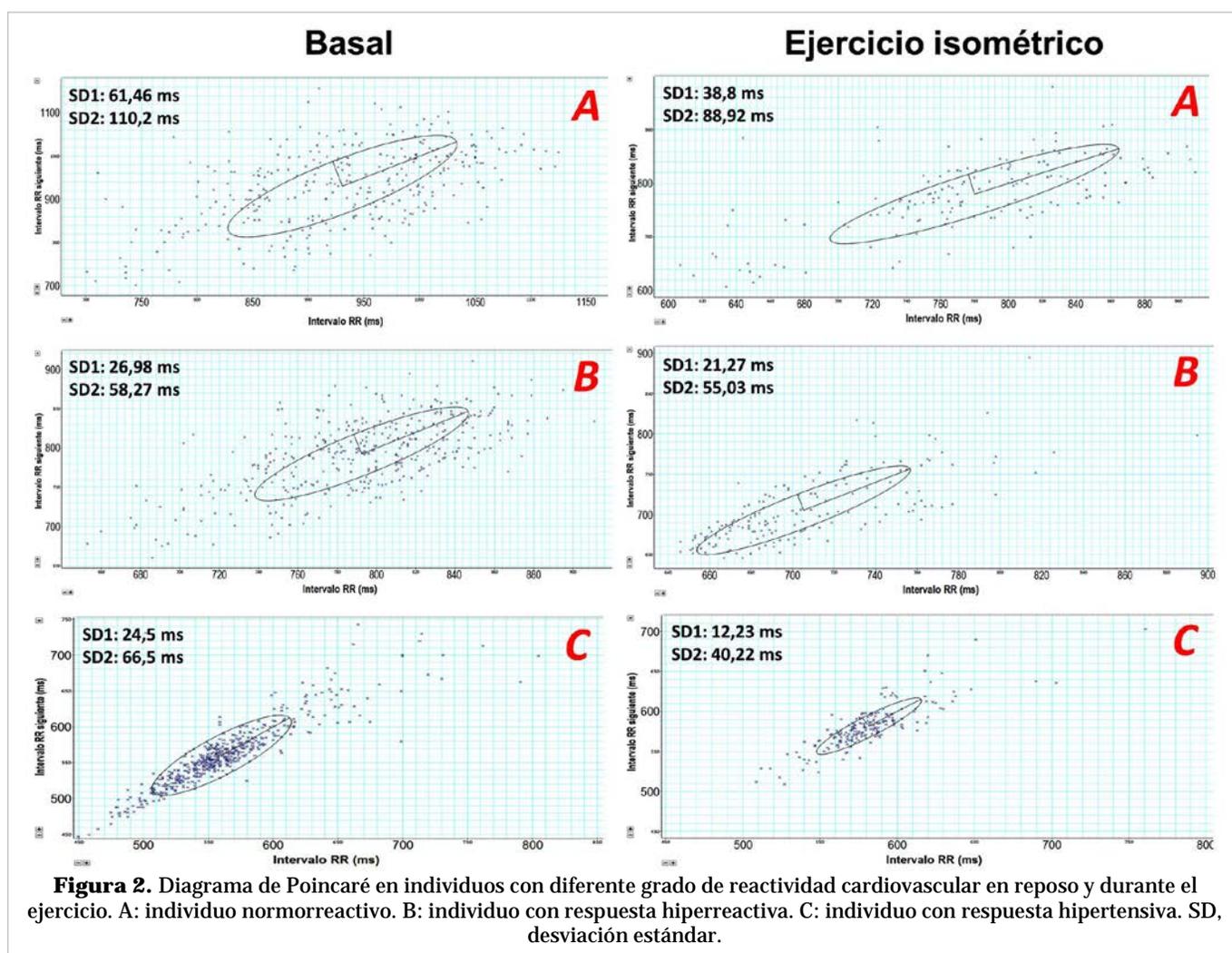
normorreactivo (A) y la elipse es más estrecha; lo que indica menor actividad vagal y mayor actividad simpática. La menor VFC a corto y largo plazos se observa en el individuo C con respuesta hipertensiva. Durante el ejercicio isométrico se aprecia disminución de la magnitud de ambos diámetros y estrechamiento de la elipse en todos los individuos, lo que refleja un incremento de la estimulación simpática e inhibición vagal.

DISCUSIÓN

El estudio de la VFC ha mostrado ser de gran valor para determinar el riesgo cardiovascular y es considerado un marcador de riesgo independiente. Recientemente ha retomado interés el estudio del papel del sistema nervioso autónomo como modula-

dor de la progresión del daño tisular en enfermedades como la HTA sistémica y la diabetes mellitus⁴.

La VFC se define como la variación que ocurre en el intervalo de tiempo entre latidos consecutivos y su comportamiento depende de la modulación autonómica. El balance simpático-vagal es dependiente de un elevado número de factores internos y externos que actúan mediante mecanismos de retroacción que regulan el ritmo cardíaco en diferentes escalas de tiempo (información de barorreceptores, quimiorreceptores, receptores atriales y ventriculares, cambios en la frecuencia respiratoria, sistema vasomotor, sistema renina-angiotensina y mecanismos de termorregulación)¹⁸. Por otra parte, se ha planteado que una inadecuada regulación de la presión arterial, por parte del sistema nervioso autónomo, juega un papel importante en la génesis de la HTA esencial¹⁹. Una actividad simpática aumenta-



da es causante de hiperreactividad cardiovascular y su diagnóstico es utilizado como un predictor de HTA^{20,21}.

Las variaciones en el intervalo R-R que ocurren en condiciones de reposo representan un fino control latido a latido por parte de los mecanismos moduladores. La estimulación aferente vagal lleva a excitación refleja de la actividad eferente vagal y a inhibición eferente simpática. Los efectos reflejos opuestos son mediados por la estimulación de la actividad aferente simpática; por su parte, la actividad vagal y simpática eferente dirigidas al nodo sinusal, se caracterizan por descargas sincrónicas con cada ciclo cardíaco que pueden ser moduladas por oscilaciones centrales (centro vasomotor y respiratorio) y periféricas (oscilaciones en la presión arterial y en los movimientos respiratorios). Estas oscilaciones generan fluctuaciones rítmicas en las descargas neuronales eferentes, que se manifiestan como oscilaciones largas y cortas en el ciclo cardíaco^{22,23}.

La actividad vagal eferente es una contribución importante para el componente HF (0,15-0,4 Hz) bajo condiciones controladas. Además, este componente refleja el control respiratorio y está determinado por la frecuencia que genera la arritmia sinusal respiratoria. Por otro lado, el significado fisiológico de la banda LF (0,04 a 0,15 Hz) es objeto de discusión. Se considera que está influenciada por la eferencia simpática a los músculos esqueléticos y al sistema vascular o como una medida de la modulación simpática, cuando se expresa en unidades normalizadas (LFun). Otras investigaciones demuestran que está determinada por los mecanismos de retroalimentación del reflejo barorreceptor^{1,4}. No obstante, algunos autores lo interpretan como un indicador de la actividad eferente de las dos ramas del sistema nervioso autónomo, aunque es importante tener en cuenta que las interacciones de los sistemas nerviosos simpático y parasimpático son complejas, no lineales, y frecuentemente no recíprocas. De ahí que se considere al índice LF/HF como reflejo del balance autonómico global⁴.

En algunas condiciones asociadas con excitación simpática, como el caso de un ejercicio físico, se produce una disminución de la potencia de la energía absoluta del componente LF y es importante recalcar que el aumento de la FC resultante se acompaña generalmente por una reducción en la VFC, mientras que se presenta lo contrario con la activación vagal. La elevación de la presión arterial reactiva la sensibilidad barorreflexa y la modulación

parasimpática cardíaca durante esta situación²³.

En este estudio se puede apreciar que en condiciones basales el componente HF (en unidades normalizadas) es menor en los individuos hiperreactivos y con respuesta hipertensiva, lo que se refleja en una relación LF/HF incrementada en relación a los normorreactivos. Es decir, poseen una menor influencia del componente vagal eferente en la modulación de la actividad cardíaca, lo que se corrobora en la relación SD1/SD2 que fue menor e indica un incremento de la actividad simpática y una disminución en los cambios de la VFC a largo plazo.

Es conocido que en individuos sanos, en condiciones de reposo, existe un predominio del tono vagal sobre la actividad cardíaca. No obstante, varios autores han informado que en los hijos sanos de padres hipertensos ya está presente una reducción de la modulación autonómica vagal en reposo y una respuesta anormal a los cambios de postura, lo que potencialmente podría incrementar la presión arterial y el riesgo de enfermedad cardiometabólica^{19,24}. Asimismo, Almeida *et al*²⁵ encontraron que además de una disfunción autonómica en estado basal, los hijos de padres hipertensos tienen una modulación autonómica reducida durante el ejercicio isométrico, hecho que se corresponde con los resultados obtenidos en este trabajo en los individuos hiperreactivos y con respuesta hipertensiva.

Según Sassi *et al*⁷, un metaanálisis concluyó que los principales estudios realizados en diferentes tipos de hipertensión apuntan hacia una influencia del sistema nervioso autónomo caracterizada por un decrecimiento global de la VFC y particularmente, del componente parasimpático. Estos autores plantean que la HTA promueve inicialmente un desbalance autonómico que produce dificultades de adaptación de la función cardíaca a condiciones mínimas de estrés físico o mental.

En el presente estudio, tanto la presión arterial como la FC se incrementaron en todos los grupos durante la PPS. Es conocido que durante el ejercicio se producen reajustes cardiovasculares que garantizan la distribución del flujo a los músculos en actividad y la eliminación de metabolitos. Los cambios hemodinámicos que ocurren en respuesta a esta prueba isométrica están bien establecidos en adultos jóvenes e incluyen un aumento de la presión arterial media, ocasionado principalmente por incremento de la resistencia periférica total con ligero incremento del gasto cardíaco y aumento de la FC²⁶.

Los mecanismos responsables de estas respues

tas son centrales y periféricas, dentro de las cuales se encuentran un comando central y un sistema de retroalimentación que opera por vía aferente desde los receptores localizados en los músculos esqueléticos, que se contraen y se integran con la información que llega desde los barorreceptores arteriales a nivel del tallo encefálico. El mecanismo central activa vías neuronales del sistema nervioso central que modifican la actividad de los sistemas simpático y parasimpático, y determinan las respuestas cardiovasculares²⁷.

Existen evidencias en registros electromiográficos que demuestran como la activación de un número mayor de unidades motoras en las fibras musculares durante la contracción, están relacionadas con el mecanismo neural del comando central, lo que determina cambios inmediatos a nivel de la actividad eferente simpática y parasimpática a nivel del corazón y el sistema nervioso simpático de los vasos sanguíneos. Además, el mecanismo reflejo relacionado con la actividad mecánica metabólica del músculo en actividad también determina el nivel de la respuesta autonómica al sistema cardiovascular²⁸. Este reflejo es mediado por fibras aferentes del grupo III que son activadas por el estímulo mecánico de los cambios de tensión y longitud del músculo, y las fibras aferentes tipo IV activadas por los productos metabólicos de la contracción muscular²⁸.

Dos Santos *et al*²⁷ resumen varios estudios publicados durante diez años con diferentes protocolos y diseños, sobre los ajustes cardíacos al ejercicio isométrico. Estos autores concluyen que la modulación autonómica cardíaca durante el ejercicio se caracteriza, en un inicio, por una disminución de la actividad vagal, seguida de incremento de la modulación simpática, lo que se invierte durante la fase de recuperación. Por otro lado, Weippert *et al*²⁹, al comparar la respuesta cardíaca al ejercicio dinámico y estático de tipo isométrico, informaron que los resultados del análisis de la VFC en el dominio del tiempo y la frecuencia indican un aumento de la modulación parasimpática de la FC durante el ejercicio isométrico. En este sentido, González-Camarena y colaboradores³⁰ encontraron que la VFC se encontraba reducida en el ejercicio dinámico e incrementada durante el ejercicio isométrico. Estos autores sugieren un incremento del impulso vagal a través de los barorreceptores, secundario a una activación simpática. Michael *et al*³¹ consideran que debiera cuestionarse la utilización de los parámetros normalizados en el dominio de la frecuencia, y la razón LF/HF como indicadores de la actividad autonómica

simpática y del balance simpático-vagal durante el ejercicio, debido a las inconsistencias encontradas entre diferentes estudios por la influencia de factores no neurales sobre el parámetro HF, principalmente de la respiración. Hecho que fue corroborado en esta investigación, por lo que se decidió utilizar el ploteo de Poincaré.

Es conocido que los métodos tradicionales como el análisis espectral, requieren intervalos de tiempo de las series R-R estacionarias. Durante la ejecución de un ejercicio físico no se cumple esta condición y esto puede llevar a resultados contradictorios e inconsistentes^{31,32}. Por el contrario el ploteo de Poincaré está basado en la noción de diferentes efectos temporales de los cambios en la modulación simpática y parasimpática en la FC y en los subsecuentes intervalos R-R, sin requerir intervalos de tiempo estacionarios³³.

El diagrama de Poincaré permite analizar la dinámica de los cambios de la actividad del sistema nervioso autonómico sobre el corazón. Muestra una morfología fácil de analizar de forma visual, ya que la medida del eje SD1 es proporcional a la influencia parasimpática, y la del eje SD2 es inversamente proporcional a la actividad simpática. De esta forma al observar un gráfico estrecho estará reducida la actividad parasimpática con el consiguiente dominio simpático. En cambio cuando el diagrama se encuentra más disperso en el sentido transversal existe una actividad vagal incrementada^{34,35}.

Se ha sugerido que entre los mecanismos que subyacen en la respuesta al ejercicio isométrico en los individuos con hiperreactividad cardiovascular podrían estar, una respuesta anormal de la función barorrefleja y al reflejo presor. Asimismo, se ha demostrado que presentan una actividad exacerbada de la actividad nerviosa simpática muscular en respuesta a la prueba isométrica del *handgrip* por activación del mecanismo reflejo relacionado con la actividad metabólica del músculo en actividad²⁰.

CONCLUSIONES

Los individuos hiperreactivos y con respuesta hipertensiva presentan, en estado basal, un desbalance autonómico por disminución del tono vagal e incremento de la actividad simpática con una menor variabilidad de la frecuencia cardíaca comparado con los normorreactivos. Durante el ejercicio isométrico se realizan ajustes nerviosos en el control de la función cardíaca que garantizan un flujo adecuado

de sangre a los músculos en actividad; sin embargo, en los individuos con hiperreactividad existe una reducción de la modulación autonómica vagal, por lo que presentan una menor capacidad de adaptación a los estímulos estresantes de tipo físico lo que pudiera favorecer el desarrollo de hipertensión arterial.

BIBLIOGRAFÍA

1. McCraty R, Shaffer F. Heart rate variability: New perspectives on physiological mechanisms, assessment of self-regulatory capacity, and health risk. *Glob Adv Health Med*. 2015;4(1):46-61.
2. Grassi G, Mark A, Esler M. The sympathetic nervous system alterations in human hypertension. *Circ Res*. 2015;116(6):976-90.
3. Loni SA. Valsalva ratio: a measure of stress in first year medical students. *Int J Res Med Sci*. 2015;3(7):1599-604.
4. Shaffer F, Ginsberg JP. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front Public Health* [Internet]. 2017 [citado 10 Sep 2018];5:258. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpubh.2017.00258>
5. Longin E, Dimitriadis C, Shazi S, Gerstner T, Lenz T, König S. Autonomic nervous system function in infants and adolescents: impact of autonomic tests on heart rate variability. *Pediatr Cardiol*. 2009;30(3):311-24.
6. Hilz MJ, y col. Valsalva maneuver unveils central baroreflex dysfunction with altered blood pressure control in persons with a history of mild traumatic brain injury. *BMC Neurol* [Internet]. 2016 [citado 12 Sep 2018];16:61. Disponible en: <https://bmcneurol.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12883-016-0584-5>
7. Chelimsky G, Ialacci S, Chelimsky TC. Autonomic testing in healthy subjects: preliminary observations. *Clin Auton Res*. 2013;23(2):113-6.
8. Hilz MJ, Dütsch M. Quantitative studies of autonomic function. *Muscle Nerve*. 2006;33(1):6-20.
9. Presciuttini B, Duprez D, De Buyzere M, Clement DL. How to study sympatho-vagal balance in arterial hypertension and the effect of antihypertensive drugs? *Acta Cardiol*. 1998;53(3):143-52.
10. Švigelj V, Šinkovec M, Avbelj V, Trobec R, Gaspar L, Petrovič D, et al. Cardiovagal and adrenergic function tests in unilateral carotid artery stenosis patients – A Valsalva manoeuvre tool to show an autonomic dysfunction? *Wien Klin Wochenschr*. 2016;128(13-14):504-12.
11. Benet Rodríguez M, Espinosa Chang LJ, Apollinaire Pennini JJ, León Regal ML. Hiperreactividad cardiovascular en la predicción de la hipertensión arterial en la comunidad. *Medisur* [Internet]. 2006 [citado 12 Sep 2018];4(3):33-41. Disponible en: <http://www.medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/218/4945>
12. Benet Rodríguez M, Morejón Giraltoni A. Hiperreactividad cardiovascular: un marcador de riesgo poco conocido en la predicción de la hipertensión arterial. Premio Anual de la Salud 2012 [Internet]. 2013 [citado 9 Sep 2018]. Disponible en: <http://files.sld.cu/boletincnscs/files/2013/02/6-hiperreactividad-cardiovascular.pdf>
13. Paz Basanta HA, Guirado Blanco O, González Paz H, Curbelo Hernández H, de Armas Sáez M, Ventura Espina JL. Nuevos criterios para tratar la hipertensión arterial ligera en el nivel primario de salud. *Medicentro* [Internet]. 1998 [citado 10 Sep 2018];2(3). Disponible en: <http://www.medicentro.sld.cu/index.php/medicentro/article/view/41/1977>
14. Assessment: Clinical autonomic testing report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 1996;46(3):873-80.
15. Palma Gámiz JL, Arribas Jiménez A, González Juanatey JR, Marín Huerta E, Martín-Ambrosio ES. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en la monitorización ambulatoria del electrocardiograma y presión arterial. *Rev Esp Cardiol*. 2000;53(1):91-109.
16. Jørgensen RM, Abildstrøm SZ, Levitan J, Kobo R, Puzanov N, Lewkowicz M, et al. Heart Rate Variability Density Analysis (Dyx) and prediction of long-term mortality after acute myocardial infarction. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2016;21(1):60-8.
17. Sassi R, Cerutti S, Lombardi F, Malik M, Huikuri HV, Peng CK, et al. Advances in heart rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *Europace*. 2015;17(9):1341-53.
18. Shaffer F, Venner J. Heart Rate Variability Anatomy and Physiology. *Biofeedback*. 2013;41(1):13-25.
19. Wu D, Xu L, Abbott D, Hau WK, Ren L, Zhang H,

- et al.* Analysis of beat-to-beat blood pressure variability response to the cold pressor test in the offspring of hypertensive and normotensive parents. *Hypertens Res.* 2017;40(6):581-9.
20. León Regal ML, Benet Rodríguez M, Mass Sosa LA, Williams Serrano S, González Otero LH, León Valdés A. La hiperreactividad cardiovascular como factor predictivo de la hipertensión arterial en la mujer. 2016 [Internet]. 2016 [citado 11 Sep 2018];14(3):269-79. Disponible en: <http://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/3095/2052>
 21. Greaney JL, Wenner MM, Farquhar WB. Exaggerated increases in blood pressure during isometric muscle contraction in hypertension: role for purinergic receptors. *Auton Neurosci.* 2015;188:51-7.
 22. Orrego CM, Astudillo BV, Senior JM, Cuéllar F, Velásquez Ó, Velásquez M. Variabilidad de la frecuencia cardiaca y alteraciones del ritmo cardiaco asociados a la terapia con células progenitoras en enfermedad cardiovascular. *Rev Colomb Cardiol.* 2007;14(6):353-8.
 23. Chu Duc H, Nguyen Phan K, Nguyen Viet D. A review of heart rate variability and its applications. *APCBEE Procedia.* 2013;7:80-5.
 24. Lopes HF, Consolim-Colombo FM, Barreto-Filho JA, Riccio GM, Negrão CE, Krieger EM. Increased sympathetic activity in normotensive offspring of malignant hypertensive parents compared to offspring of normotensive parents. *Braz J Med Biol Res.* 2008;41(10):849-53.
 25. Almeida LB, Peçanha T, Mira PAC, Souza LV, da Silva LP, Martinez DG, *et al.* Cardiac autonomic dysfunction in offspring of hypertensive parents during exercise. *Int J Sports Med.* 2017;38(14):1105-10.
 26. Rodríguez Pena A, Guirado Blanco O, Paz González HJ, Cárdenas Rodríguez AE. Patrones hemodinámicos y respuesta al ejercicio isométrico en normotensos, prehipertensos e hipertensos; diferencias de género. *Medicentro* [Internet]. 2018 [citado 14 Sep 2018];22(3):228-37. Disponible en: <http://www.medicentro.sld.cu/index.php/medicentro/article/view/2554/2219>
 27. dos Santos Antônio AM, Cardoso MA, do Amaral JAT, de Abreu LC, Valenti VE. Cardiac autonomic modulation adjustments in isometric exercise. *MedicalExpress* [Internet]. 2015 [citado 15 Sep 2018];2(1):M150102. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/medical/v2n1/2318-8111-medical-02-01-20150102.pdf>
 28. Alegret JM, Beltrán-Debón R, La Gerche A, Franco-Bonafonte L, Rubio-Pérez F, Calvo N, *et al.* Acute effect of static exercise on the cardiovascular system: assessment by cardiovascular magnetic resonance. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(6):1195-203.
 29. Weippert M, Behrens K, Rieger A, Stoll R, Kreuzfeld S. Heart rate variability and blood pressure during dynamic and static exercise at similar heart rate levels. *PLoS One* [Internet]. 2013 [citado 19 Sep 2018];8(12):e83690. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3862773/pdf/pone.0083690.pdf>
 30. González-Camarena R, Carrasco-Sosa S, Román-Ramos R, Gaitán-González MJ, Medina-Bañuelos V, Azpiroz-Leehan J. Effect of static and dynamic exercise on heart rate and blood pressure variabilities. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(10):1719-28.
 31. Michael S, Graham KS, Davis GM. Cardiac Autonomic Responses during Exercise and Post-exercise Recovery Using Heart Rate Variability and Systolic Time Intervals – A Review. *Front Physiol* [Internet]. 2017 [citado 19 Sep 2018];8:301. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5447093/pdf/fphys-08-00301.pdf>
 32. Casadei B, Cochrane S, Johnstone J, Conway J, Sleight P. Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the heart rate variability during exercise in humans. *Acta Physiol Scand.* 1995;153(2):125-31.
 33. Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Rouillon JD, Regnard J. Quantitative Poincaré plot analysis of heart rate variability: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(1):79-87.
 34. Woo MA, Stevenson WG, Moser DK, Middlekauff HR. Complex heart rate variability and serum norepinephrine levels in patients with advanced heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 1994;23(3):565-9.
 35. Carrasco S, Gaitán MJ, González R, Yáñez O. Correlation among Poincaré plot indexes and time and frequency domain measures of heart rate variability. *J Med Eng Technol.* 2001;25(6):240-8.