

Respuesta autonómica cardiovascular al estrés mental inducido por la prueba de cálculo aritmético

Autonomic cardiovascular response to mental stress induced by the arithmetic computation test

Elys María Pedraza-Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0002-6521-1541>

Víctor Ernesto González-Velázquez¹ <https://orcid.org/0000-0001-9756-8257>

Margarita Montes de Oca-Carmenaty² <https://orcid.org/0000-0002-8918-5587>

Kathleen Nicole González-Medina³ <https://orcid.org/0000-0002-7832-6647>

Gustavo Alejandro Muñoz-Bustos⁴ <https://orcid.org/0000-0002-5351-3016>

David de Jesús Bueno-Revilla² <https://orcid.org/0000-0002-7775-2732>

Erislandis López-Galán² <https://orcid.org/0000-0002-2622-5051>

Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría^{5*} <https://orcid.org/0000-0001-9461-203X>

¹Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara, Hospital Universitario Clínico Quirúrgico “Arnaldo Milián Castro”. Santa Clara, Cuba.

²Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, Facultad de Medicina. Santiago de Cuba, Cuba.

³Universidad de Ciencias Médicas de Las Tunas, Facultad de Ciencias Médicas “Dr. Zoilo Enrique Marinello Vidaurreta”. Las Tunas, Cuba.

⁴Universidad de Las Américas, Facultad de Ciencias de la Salud, Sede Concepción. Concepción, Chile.

⁵Universidad Católica de la Santísima Concepción, Facultad de Medicina, Departamento de Ciencias Básicas y Morfología. Concepción, Chile.

* Autor para la correspondencia: miguel.sanchez881119@gmail.com; misanchez@ucsc.cl

RESUMEN

Introducción: El estrés mental agudo, así como los estados de ansiedad inducidos para influenciar la reactividad psicofisiológica en jóvenes sanos, aportan cambios en los patrones nerviosos que pueden ser medidos mediante la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Objetivo: Determinar las diferencias en los parámetros lineales del balance autonómico cardiovascular en individuos jóvenes en estado basal y durante la prueba de cálculo aritmético.

Métodos: Se realizó un estudio cuasi-experimental, sin grupo control de tipo antes y después, en el Laboratorio de Ciencias Básicas Biomédicas de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Población y muestra de 10 sujetos. Se registró el trazado electrocardiográfico (5 min) durante el reposo y luego durante la prueba de cálculo aritmético.

Resultados: Existieron diferencias significativas entre ambos estados en las variables frecuencia cardíaca ($p = 0,005$); mínima ($p = 0,007$); máxima ($p = 0,005$); intervalo RR ($p = 0,005$); *stress index* ($p = 0,028$); índice simpático ($p = 0,005$); bajas frecuencias ($p = 0,005$); relación LF/HF ($p = 0,005$); RMSSD ($p = 0,007$); NN50 ($p = 0,008$); pNN50 ($p = 0,005$); índice parasimpático ($p = 0,005$) y altas frecuencias ($p = 0,005$). El estrés mental provocó una disminución parasimpática y un predominio simpático uniforme en todos los sujetos participantes en el estudio.

Conclusiones: Durante el estrés mental inducido por la prueba de cálculo aritmético la dinámica lineal de la respuesta autonómica cardiovascular experimenta un aumento en la actividad simpática y una disminución del tono parasimpático, traduciendo una respuesta adaptativa en la regulación de la función cardiovascular por el sistema nervioso autónomo.

Palabras clave: estrés mental; variabilidad de la frecuencia cardíaca; sistema nervioso autónomo; prueba de cálculo aritmético.

ABSTRACT

Introduction: Acute mental stress and states of anxiety induced to influence psychophysiological reactivity in healthy young people, result in changes in nervous patterns which may be measured in terms of heart rate variability.

Objective: Determine the differences in linear parameters for autonomic cardiovascular balance in young individuals at baseline and during the arithmetic computation test.

Methods: A non-observational quasi-experimental before-after study without a control group was conducted at the Basic Biomedical Sciences Laboratory of the University of Medical Sciences of

Santiago de Cuba. The study population and sample was 10 subjects. The electrocardiographic tracing (5 min) was recorded at rest and then during the arithmetic computation test.

Results: Significant differences were found between the two states as to the variables heart rate ($p = 0.005$), minimum ($p = 0.007$), maximum ($p = 0.005$), RR interval ($p = 0.005$), stress index ($p = 0.028$), sympathetic index ($p = 0.005$), low frequencies ($p = 0.005$), LF/HF ratio ($p = 0.005$), RMSSD ($p = 0.007$), NN50 ($p = 0.008$), pNN50 ($p = 0.005$), parasympathetic index ($p = 0.005$) and high frequencies ($p = 0.005$). Mental stress caused a parasympathetic reduction and uniform sympathetic predominance in all the subjects participating in the study.

Conclusions: During the mental stress induced by the arithmetic computation test, the linear dynamic of the autonomic cardiovascular response experiences an increase in sympathetic activity and a reduction in parasympathetic tone, displaying an adaptive response in cardiovascular function regulation by the autonomous nervous system.

Keywords: mental stress; heart rate variability; autonomous nervous system; arithmetic computation test.

Recibido: 02/02/2020

Aceptado: 23/05/2020

Introducción

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) es la variación entre latidos cardiacos consecutivos como resultado de eventos eléctricos, mecánicos y nerviosos que confluyen en el corazón; por lo que se considera a la VFC un reflejo de la modulación de la función cardiaca como expresión de los sistemas de control del medio interno del organismo.^(1,2)

Los métodos basados en los dominios de tiempo, de frecuencia y de tiempo-frecuencia, más conocidos como métodos lineales, permiten evaluar la regulación autonómica cardiovascular bajo diferentes estímulos.⁽³⁾ Además, el estudio del vínculo entre el sistema nervioso autónomo (SNA) y la función cardiovascular ha permitido asociar determinadas enfermedades con patrones de la VFC, por lo que los índices y variables que componen la regulación autonómica cardiovascular

permiten determinar los individuos con desregulaciones autonómicas mediante técnicas no invasivas, como el uso del electrocardiograma (ECG).⁽⁴⁾

La determinación de las variaciones que ocurren como consecuencia de la actividad ininterrumpida de las ramas simpática y parasimpática del SNA, también hace posible estudiar las diferencias entre grupos de sujetos sanos con condiciones cardiovasculares óptimas, para identificar las características que se asocian con una mejor función cardíaca y a una mejor respuesta al aumento de las demandas fisiológicas del organismo.⁽⁵⁾

El estrés mental agudo, así como los estados de ansiedad inducidos para influenciar la reactividad psicofisiológica en jóvenes sanos, aportan cambios en los patrones nerviosos como la hiperreactividad autonómica cardiovascular.⁽⁶⁾ Variaciones fisiológicas como el incremento de la presión arterial, la frecuencia cardíaca y otros parámetros hemodinámicos más allá de los valores considerados como normales, pueden mostrar la verdadera modulación nerviosa de la función cardíaca bajo condiciones estresantes.⁽⁷⁾

La prueba de cálculo aritmético permite influenciar hiperreactividad cardiovascular al causar estrés psíquico en individuos sanos en reposo mientras se realiza el registro electrocardiográfico continuo.⁽⁸⁾ Determinar los cambios en la VFC durante el estrés mental permitiría evaluar la capacidad de respuesta nerviosa ante situaciones de mayor demanda fisiológica.⁽⁹⁾

Se ha descrito que los individuos con menor capacidad de adaptación autonómica al estrés agudo son más propensos a desarrollar enfermedades psiquiátricas como trastornos depresivos y de ansiedad,⁽⁷⁾ así como manifestaciones de disautonomía que aún están en estudio.^(6,10,11) En este sentido, el estudio de la VFC bajo diversos estímulos adquiere cada vez más relevancia, pues constituye, en esencia, un método de fácil aplicación disponible en laboratorios y universidades de todo el mundo.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, los autores de la presente investigación consideran importante conocer los cambios inducidos por el estrés mental en los mecanismos fisiológicos básicos, mediante la determinación de las variaciones en la VFC antes y durante la prueba de cálculo aritmético.

El objetivo de esta investigación fue determinar las diferencias en los parámetros lineales del balance autonómico cardiovascular en individuos jóvenes en estado basal y durante la prueba de cálculo aritmético.

Métodos

Se realizó un estudio cuasi-experimental sin grupo control de tipo antes y después en el Laboratorio de Ciencias Básicas Biomédicas de la Facultad de Ciencias Médicas No.1 de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba.

La población de estudio estuvo constituida por jóvenes masculinos en las edades comprendidas entre 17 y 19 años, los cuales eran estudiantes de primero y segundo año de la carrera de Medicina. La muestra quedó constituida por 10 individuos voluntarios supuestamente sanos, elegidos por un muestreo no probabilístico, en los que se confirmaron clínicamente los antecedentes de salud y normalidad de las funciones cardiovasculares, por medio de un examen físico general y cardiovascular.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron en el estudio los individuos que no tuviesen antecedentes de enfermedades cardíacas intercurrentes (enfermedad del nodo sinusal, fibrilación auricular, flúter auricular, portadores de marcapasos permanentes o antecedentes de síncope vasovagal) que pudieran interferir con la dinámica fisiológica cardiovascular o la regulación de esta por el SNA.

Fueron excluidos los individuos con otras enfermedades no cardíacas (antecedente de traumatismo craneoencefálico, hipotiroidismo o hipertiroidismo) que pudieran interferir en la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Como requisito previo a los registros los sujetos no podían fumar, tomar café, ni realizar ejercicios intensos desde el día anterior.

Análisis cuasi-experimental

Se realizó en reposo un registro *holter* de 5 minutos (control) y con posterioridad otra grabación de 5 minutos durante la provocación del estrés mental (experimental). El registro se realizó en posición de Fowler en un asiento destinado para este fin. Se utilizó como estresor psicológico un cálculo aritmético sencillo que consistió en una tarea de sustracción (ir restando retrospectivamente de 7 en 7 unidades desde el 100) típica descrita en la literatura.⁽¹²⁾

Registros fisiológicos y procesamiento de las señales

Los datos fueron recolectados en el Laboratorio de Ciencias Básicas Biomédicas de la Facultad de Ciencias Médicas No.1 de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, mediante el polígrafo de 8 canales PowerLab[®] (ADInstruments). Cada medición fue registrada por la misma persona, para minimizar los errores de metodología, en el local de mediciones corporales del mencionado laboratorio de Ciencias Básicas Biomédicas.

Al comienzo de la sesión de los registros electrocardiográficos, en la mañana (08:30-12:00 horas), los sujetos fueron acostados en una camilla cómoda, situada en una habitación con temperatura controlada entre 24 y 27 °C y luz tenue, en un ambiente con control del ruido ambiental y la humedad, sin distracciones ni interacciones entre los voluntarios. En estas condiciones se les permitió descansar por 10-15 minutos hasta lograr una mejor adaptación a las condiciones del local. No existió circulación de personal ajeno a los encargados de los registros dentro de la habitación. Se colocaron los electrodos correspondientes a las derivaciones de los miembros, para registrar el trazado electrocardiográfico durante 5 minutos en cada estado. La señal eléctrica se recogió mediante el polígrafo de 8 canales PowerLab[®] de producción australiana por la compañía ADInstruments (2016); luego esta se digitalizó a una frecuencia de muestreo de 1000 muestras/segundo (1 kHz) mediante el software Kubios[®] versión 3.0.4 Premium (2018), de producción finlandesa. Este paquete de software posibilita la tabulación y exportación de los registros al paquete de programación MatLab 2016[®] de la MathWork Company, y su archivo en formato PDF para más fácil análisis e interpretación de la información. El procesamiento ulterior de los registros digitalizados incluyó su inspección visual. La discriminación de los picos R de la señal digitalizada y el cálculo de los intervalos RR se realizaron empleando el método de *Manikandan*.⁽¹³⁾ El conjunto de intervalos RR obtenido fue almacenado y constituye la serie de datos a partir de la cual se realizó todo el análisis posterior de la VFC. Se utilizaron las bandas de frecuencias tradicionales de la VFC según lo recomendado por el Consenso Internacional de Expertos sobre la VFC de 1996,⁽¹⁴⁾ los cuales fueron para frecuencias muy bajas [VLF: 0,003-0,04 Hz]; para frecuencias bajas [LF: 0,04-0,15 Hz] y para frecuencias altas [HF: 0,15-0,4 Hz].

Variables

- Frecuencia cardiaca (FC): frecuencia cardiaca media durante la medición, se expresa en latidos/minuto (lat/min).

- FC mínima (min): valor mínimo de frecuencia cardiaca durante la medición (lat/min).
- FC máxima (max): valor máximo de frecuencia cardiaca durante la medición (lat/min).
- Intervalo RR: duración media de los intervalos RR, se expresa en milisegundos (ms).
- SDNN: desviación estándar de todos los intervalos RR (ms).
- RMSSD: raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR (ms).
- NN50: número de pares de intervalos RR consecutivos que discrepan en más de 50 ms entre sí.
- pNN50: porcentaje de los intervalos RR consecutivos que discrepan en más de 50 ms entre sí.
- RR triangular Index: medición geométrica que calcula la densidad de los intervalos RR divididos por su altura.
- TINN: es el ancho de referencia de un histograma de intervalos RR.
- Stress Index: Raíz cuadrada del índice de stress de *Baevsky*.⁽¹⁴⁾
- Índice parasimpático (PNS Index): índice del sistema nervioso parasimpático, calculado sobre la base de los resultados registrados de Mean RR, RMSSD y HF en unidades de energía normalizada (n.u.).
- Índice simpático (SNS Index): índice del sistema nervioso simpático calculado sobre la base de los resultados registrados de Mean HR, Stress Index y LF (n.u.).
- Altas frecuencias (HF) en unidades de energía normalizada (n.u.): energía normalizada en el espectro de 0,15-0,4 Hz en que se descompone la serie temporal de intervalos RR consecutivos: $HF (n.u.) = HF / (LF + HF)$. La HF está claramente relacionada con la actividad del sistema nervioso parasimpático e influenciado por la frecuencia respiratoria.
- Bajas frecuencias (LF) en unidades de energía normalizada (n.u.): energía normalizada en el espectro de 0,04-0,15 Hz en que se descompone la serie temporal de intervalos RR consecutivos: $LF (n.u.) = LF / (LF + HF)$. Es la zona más controvertida en su interpretación ya que puede atribuirse a influencias de los sistemas nerviosos.
- Muy bajas frecuencias (VLF): compuesta por ondas entre 0,003-0,04 Hz, la VLF es un componente mucho menos definido y la existencia de procesos fisiológicos específicos atribuibles a los cambios de la VFC en el periodo de medición son incluso cuestionables.

- Relación LF/HF: Aunque bajo polémica, se ha propuesto como un indicador del balance simpático-vagal.

Para la cualificación de las variables como cualitativas ordinales se tuvo en cuenta el diagrama del modelo multiparamétrico que aporta el software Kubios®, tal como se muestra en el ejemplo de uno de los sujetos en la figura 1. Las variables pertenecientes al tono parasimpático (Intervalos RR, RMSSD y HF) y al tono simpático (FC, Stress Index y LF) fueron categorizadas según su desviación estándar (DE) de la siguiente forma: bajo (< -2 DE), normal (entre ± 2 DE) y alto (> 2 DE).

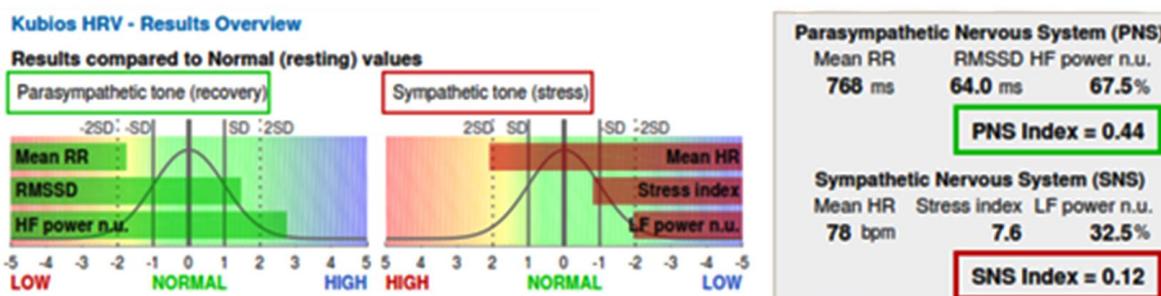


Fig. 1 - Cualificación de las variables propuesta por el Software Kubios®.

Análisis estadístico

Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el software SPSS v.22.0 para Windows. Las medias entre las muestras relacionadas fueron comparadas a través de la prueba no paramétrica de los rangos con signo de Wilcoxon, asumiendo una distribución diferente de la normal por el tamaño de la muestra. Para el análisis cualitativo de las variables se utilizó la prueba de homogeneidad marginal en aquellas variables con más de dos categorías válidas posibles (mayores que cero); para las que tuvieron dos o menos categorías válidas se utilizó la prueba de McNemar. Se establecieron las diferencias como estadísticamente significativas cuando $p \leq 0,05$. Se calculó el tamaño del efecto de Cohen interpretando sus resultados como bajo, medio y alto según su valor.⁽¹⁵⁾ Finalmente se representó mediante gráficos de líneas con marcadores las distribuciones de los índices simpático y parasimpático en cada individuo.

Consideraciones éticas

La investigación fue aprobada por el comité de ética de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Los datos personales de los sujetos no fueron publicados y se siguieron los principios establecidos en la Declaración de Helsinki. Cada individuo firmó un consentimiento informado.

Resultados

En la tabla 1 se resumen los parámetros relacionados con la variabilidad de la frecuencia cardiaca que resultaron significativamente diferentes entre el estado basal y de estrés mental.

Tabla 1 - Distribución de la muestra según valores de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en estado basal y en estado de estrés mental

Variable	Total*	Basal*	Estrés mental*	Tamaño del efecto	p
FC	85,00 ± 14,20	74,50 ± 4,88	95,50 ± 12,51	2,21 Largo	0,005 ^a
FC mínima	71,80 ± 11,73	65,20 ± 4,56	78,40 ± 13,14	1,34 Largo	0,007 ^a
FC máxima	104,30 ± 18,05	90,50 ± 7,21	118,10 ± 14,57	2,40 Largo	0,005 ^a
Intervalo RR	722,20 ± 107,46	806,50 ± 52,45	637,90 ± 76,38	2,57 Largo	0,005 ^a

*Media ± DE

^aResultado de la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.

En la tabla 2 se puede apreciar que existió un incremento significativo en los valores de Stress Index, índice simpático, bajas frecuencias y relación LF/HF durante el estrés mental. Además, los valores muestran que existió una disminución significativa en las variables RMSSD, NN50, pNN50, índice parasimpático y altas frecuencias en dicho estado.

Tabla 2 - Distribución de la muestra según valores de los parámetros lineales del balance autonómico cardiovascular en estado basal y en estado de estrés mental

Variable	Total*	Basal*	Estrés mental*	Tamaño del efecto	p
SDNN	49,85 ± 20,86	53,78 ± 20,24	45,92 ± 21,77	0,37 Medio	0,314 ^a
RMSSD	48,09 ± 25,23	58,55 ± 25,12	37,63 ± 21,66	0,89 Largo	0,007 ^a
NN50	100,85 ± 66,95	127,60 ± 58,14	74,10 ± 67,01	1,12 Largo	0,008 ^a
pNN50	25,88 ± 18,60	35,10 ± 17,38	16,66 ± 15,47	0,33 Medio	0,005 ^a
RR triangular Index	12,11 ± 4,48	12,86 ± 3,40	11,35 ± 5,44	0,50 Medio	0,285 ^a
TINN	242,85 ± 84,15	263,90 ± 65,15	221,80 ± 98,59	0,89 Largo	0,168 ^a

Stress Index	11,02 ± 5,55	8,73 ± 1,98	13,32 ± 7,02	1,83 Largo	0,028 ^a
PNS Index	-0,58 ± 1,37	0,34 ± 1,05	-1,50 ± 0,96	1,79 Largo	0,005 ^a
SNS Index	1,49 ± 1,91	0,21 ± 0,72	2,76 ± 1,88	1,86 Largo	0,005 ^a
HF	48,08 ± 19,91	61,67 ± 17,54	34,50 ± 10,92	1,87 Largo	0,005 ^a
LF	51,80 ± 19,95	38,16 ± 17,53	65,44 ± 10,93	0,86 Largo	0,005 ^a
VLF	3,17 ± 2,65	2,14 ± ,087	4,20 ± 3,42	1,30 Largo	0,093 ^a
LF/HF	1,46 ± 1,13	0,84 ± 0,96	2,08 ± 0,95	0,37Medio	0,005 ^a

*Media ± DE

^aResultado de la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.

En la tabla 3 se muestra la cualificación de las variables que traducen características propias del tono parasimpático y simpático. Los parámetros lineales intervalos RR y RMSSD pertenecientes al tono vagal mostraron diferencias estadísticamente significativas, así como la frecuencia cardiaca, las bajas frecuencias y el índice simpático, pertenecientes al tono simpático.

Tabla 3 - Análisis cualitativo de las los parámetros lineales del balance autonómico cardiovascular en estado basal y en estado de estrés mental

Variable	Bajo		Normal		Alto		p
	Basal	Estrés	Basal	Estrés	Basal	Estrés	
<i>Tono parasimpático</i>							
Intervalos RR	2 (20)	10 (100)	8 (80)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0,008 ^b
RMSSD	0 (0)	2(20)	8 (80)	8 (80)	2 (20)	0 (0)	0,046 ^a
HF	0 (0)	0 (0)	5 (50)	10 (100)	5 (50)	0 (0)	0,063 ^b
PNS Index	0 (0)	2 (20)	9 (90)	8 (80)	1 (10)	0 (0)	0,083 ^a
<i>Tono simpático</i>							
FC	0 (0)	0 (0)	7 (70)	0 (0)	3 (30)	10 (100)	0,016 ^b
Stress Index	0 (0)	0 (0)	0 (0)	8 (80)	10 (100)	2 (20)	0,157 ^a
LF	3 (30)	0 (0)	6 (60)	6 (60)	1 (10)	4 (40)	0,034 ^a
SNS Index	0 (0)	0 (0)	10 (10)	4 (40)	0 (0)	6 (60)	0,014 ^a

Los resultados mostrados son frecuencia absoluta (%). ^aResultado de la prueba de homogeneidad marginal. ^bResultado de la prueba de McNemar.

La figura 2 muestra la distribución de valores de PNS Index. El estrés mental provocó una disminución parasimpática en todos los sujetos, lo que evidencia que las diferencias en este parámetro, en ambos estados, siguieron una distribución bastante uniforme, ya que los individuos con mayores valores en estado basal también presentaron mayores valores en estado de estrés mental.

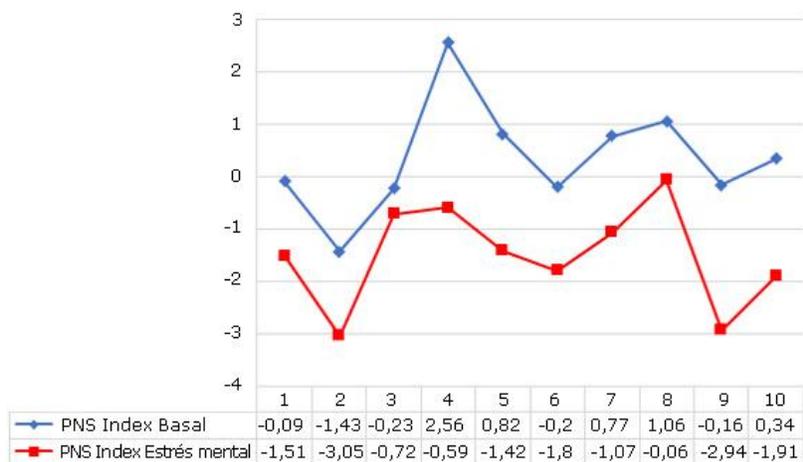


Fig. 2. Distribución de valores de PNS Index en estado basal y en estado de estrés mental.

El estrés mental provocó un aumento en los valores del índice simpático en todos los sujetos (Fig. 3). Las diferencias en este parámetro en ambos estados no siguieron una distribución tan uniforme como las del índice parasimpático.

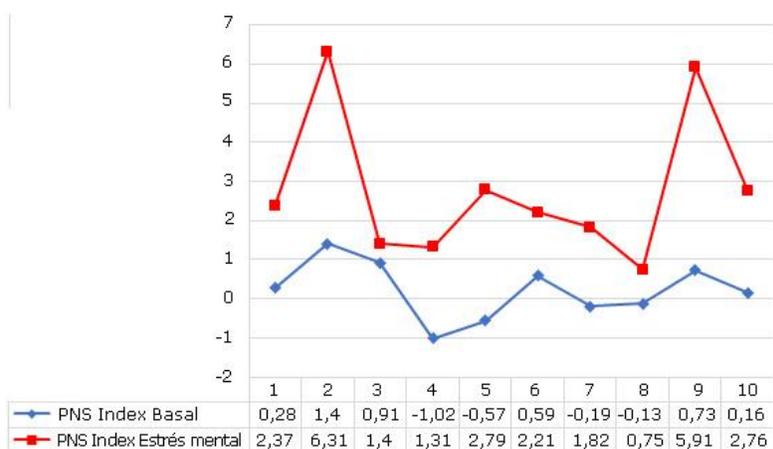


Fig. 3 - Distribución de valores de SNS Index en estado basal y en estado de estrés mental.

Discusión

El aumento significativo de los valores de frecuencia cardiaca durante el estrés inducido por la prueba de cálculo aritmético coincide con lo obtenido por otros autores.^(16,17,18) El estado de hiperreactividad cardiovascular desencadenado por el esfuerzo mental induce acentuaciones

significativas en los índices de frecuencia cardiaca y respiratoria, así como en las concentraciones de cortisol y activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona,⁽¹⁹⁾ los que, en conjunto, conducen a un aumento en las necesidades metabólicas del organismo.

Los resultados del presente estudio muestran que durante el estrés existió una disminución significativa de varios parámetros de tiempo-frecuencia. *Taelman* y otros⁽²⁰⁾ describen que durante una tarea mental compleja ocurren variaciones en la VFC debido a las contracciones de los grandes grupos musculares y a los cambios en las concentraciones de catecolaminas producidas por las glándulas adrenales.

Schiweck y otros,⁽⁷⁾ como resultado de una revisión sistemática, mostraron que la mayoría de los estudios publicados que evalúan la respuesta autonómica ante pruebas mentales que inducen hiperreactividad cardiovascular evidencian pocas variaciones en las bandas de alta frecuencia. En la presente investigación las variables Intervalos RR, RMSSD, HF y PNS Index, que representan el tono parasimpático, resultaron distribuirse significativamente diferentes entre ambos momentos en el análisis cuantitativo. Sin embargo, en el análisis cualitativo de los índices simpático y parasimpático que ofrece el modelo multiparamétrico del software Kubios[®], se obtuvo que solo los intervalos RR y RMSSD mostraron diferencias, mientras que los valores de las altas frecuencias (HF) y el índice parasimpático no varió cualitativamente ante el estrés mental. Esto demuestra lo que, a consideración de los autores constituyen las limitaciones que presenta dicho modelo, ya que utiliza valores de referencia para establecer puntos de corte (normal, alto y bajo) que no son aplicables a todas las poblaciones de individuos.

Un estudio publicado en Cuba refiere que las variaciones en los valores de los parámetros no lineales de la VFC por la prueba de cálculo aritmético responden a los cambios hacia un comportamiento más estable y periódico del ritmo cardíaco bajo estrés,⁽⁹⁾ mientras que los resultados publicados por *Hjortskov* y otros⁽²¹⁾ muestran que en un grupo de individuos sanos sometidos a estrés mental se observó una reducción en el componente de alta frecuencia de la VFC, sin exponer cambios en los componentes de baja frecuencia. En el presente estudio las bajas frecuencias se distribuyeron de manera diferente durante el estrés mental, tanto en el análisis cuantitativo como en el cualitativo de las mismas.

Se ha investigado sobre los cambios que experimentan los diferentes parámetros de la VFC con diversos estímulos físicos^(22,23,24) y mentales,⁽²⁵⁾ pero la asociación entre sus variables y la regulación autonómica cardiovascular indican sensibilidad y selectividad al estrés mental.

Hjortskov y otros⁽²¹⁾ se refieren a una posible ruta central en los mecanismos de control cardiovascular bajo el estímulo estresor, mientras que la respuesta al estrés físico está más influenciada por las condiciones locales en los músculos que trabajan, que enmascaran, en parte, el efecto de los cambios en las cargas de trabajo mentales.

En el análisis de la distribución de los índices parasimpático y simpático en cada sujeto en estado basal y en estado de estrés mental, se constató un predominio de la actividad simpática durante la prueba de cálculo aritmético, consecuente con la activación de las fibras nerviosas de esta rama del sistema nervioso autónomo que inervan al corazón.

Las respuestas adaptativas al estrés, también conocidas como “resistencia al estrés”, no han sido ampliamente estudiadas. Sin embargo, *Dong* y otros⁽¹¹⁾ obtuvieron que la mayoría de los parámetros de la VFC se asocian bajo estrés mental a cambios importantes en la actividad parasimpática, recomendando estos para la medición cuantitativa de la resistencia al estrés y el estudio predictivo de respuestas adaptativas ante eventos estresantes.

En pacientes con enfermedades psiquiátricas, como trastornos depresivos, se ha demostrado la mayor actividad simpática durante episodios de estrés.^(7,26) Aunque el predominio simpático puede deberse a que su inervación sobre el miocardio es mucho más marcada que la parasimpática, y en detrimento de las fibras autónomas resulta más notable la contribución a la actividad cardiaca de los niveles en sangre de adrenalina, la cual aumenta sus niveles durante el estrés y mimetiza los efectos de la actividad simpática.⁽²⁾

Los estados de relajación extrema, como la meditación *chi*^(27,28) y de la práctica de *yoga*⁽²⁹⁾ de manera opuesta a las situaciones estresantes, han demostrado disminuir los niveles de los índices simpáticos en individuos sanos. Es evidente la interacción entre la actividad simpática y el estrés mental que se obtuvo en este estudio. Varios autores^(30,31) han descrito resultados similares en poblaciones de individuos sanos, por lo que el índice simpático se propone como una referencia para determinar los individuos con mayor vulnerabilidad a padecer desregulaciones autonómicas. En el presente estudio se determinó que durante el estrés mental inducido por la prueba de cálculo aritmético la dinámica lineal de la respuesta autonómica cardiovascular experimenta un aumento en la actividad simpática y una disminución del tono parasimpático, traduciendo un desbalance en la regulación de la función cardiovascular por el sistema nervioso autónomo.

Limitaciones del estudio

El presente estudio tuvo como limitación que se trata de una muestra pequeña de individuos. No obstante, queda justificado la realización de esta investigación, al tener en cuenta que cumple con el tamaño muestral mínimo aceptable para la realización de investigaciones biomédicas, según lo declarado por *Ristic-Djurovic* y otros.⁽³²⁾

Agradecimientos

El presente estudio se realizó como parte de la primera Beca Estudiantil de Investigación en Psicofisiología Cardiovascular “Iván Pávlov”. Los autores agradecemos a los profesores y estudiantes que hicieron posible dicha iniciativa.

Referencias bibliográficas

1. Amat Macías IM, Sarabia Cachadiña E, Naranjo Orellana J. Variabilidad de la frecuencia cardiaca en relación con el ciclo menstrual: revisión. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*. 2015 [acceso: 03/01/2020]; 8(4):176. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1888-75462015000400012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
2. García D, Manlio C, Coro Antich F, Plain Reyes A, Machado García A, Rodríguez E. Efecto de la edad sobre la variabilidad de la frecuencia cardiaca en individuos sanos. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2008 [acceso: 03/01/2020]; 27(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03002008000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
3. Mirescu SC, Ciocoiu AL, David L, Tarba C. Heart rate variability: a practical review for the beginner. *Studia UBB Biologia*. 2017 [acceso: 06/01/2020]; 62(1):87-100. Disponible en: http://www.studia.ubbcluj.ro/arhiva/abstract_en.php?editie=BIOLOGIA&nr=1&an=2017&id_art=15151
4. Hammoud S, Karam R, Mourad R, Saad I, Kurdi M. Stress and Heart Rate Variability during University Final Examination among Lebanese Students. *Behav Sci (Basel)*. 2018;9(1):3. DOI: [10.3390/bs9010003](https://doi.org/10.3390/bs9010003)

5. Solana-Tramunt M, Morales J, Buscà B, Carbonell M, Rodríguez-Zamora L. Heart-Rate Variability in Elite Synchronized Swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2019;14(4):464-71. DOI: [10.1123/ijsp.2018-0538](https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0538)
6. Rozenman M, Sturm A, McCracken JT, Piacentini J. Autonomic arousal in anxious and typically developing youth during a stressor involving error feedback. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2017;26(12):1423-32. DOI: [10.1007/s00787-017-1001-3](https://doi.org/10.1007/s00787-017-1001-3)
7. Schiweck C, Piette D, Berckmans D, Claes S, Vrieze E. Heart rate and high frequency heart rate variability during stress as biomarker for clinical depression. A systematic review. *Psychological Medicine*. 2019;49(2):200-11. DOI: [10.1017/S0033291718001988](https://doi.org/10.1017/S0033291718001988)
8. Vuksanović V, Gal V. Heart rate variability in mental stress aloud. *Medical Engineering & Physics*. 2007 [acceso: 08/01/2020]; 29(3):344-9. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350453306001068>
9. Pedraza-Rodríguez EM, Almira-Gómez CR, Reyna SC, Bueno-Revilla D de J, López-Galán E, Sánchez-Hechavarría ME. Modifications of the non-linear parameters of the heart rate variability related to the mental arithmetic test. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2019 [acceso: 08/01/2020]; 38(1). Disponible en: <http://www.revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/161>
10. Dimitriev DA, Saperova EV, Indeykina OS, Dimitriev AD. Heart rate variability in mental stress: The data reveal regression to the mean. *Data in Brief*. 2019 [acceso: 16/01/2020]; 22:245-50. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340918315531>
11. Dong S-Y, Lee M, Park H, Youn I. Stress Resilience Measurement with Heart-Rate Variability During Mental and Physical Stress. In: 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC); Honolulu, HI, USA 2018 July 18-21. *IEEE Xplore*; 2018. p. 5290-3. DOI: [10.1109/EMBC.2018.8513531](https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8513531)
12. Sánchez-Hechavarría ME, Ghiya S, Carrazana-Escalona R, Cortina-Reyna S, Andreu-Heredia A, Acosta-Batista C, *et al*. Introduction of Application of Gini Coefficient to Heart Rate Variability Spectrum for Mental Stress Evaluation. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 2019 [acceso: 08/01/2020];113(4):725-33. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-782X2019001000725&lng=en&nrm=iso

13. Manikandan MS, Soman KP. A novel method for detecting R-peaks in electrocardiogram (ECG) signal. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2012 [acceso: 18/01/2020]; 7(2):118-28. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809411000292>
14. Camm AJ, Malik M, Bigger JT, Breithardt G, Cerutti S, Cohen RJ, *et al.* Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. 1996 [acceso: 18/01/2020]; 93(5):1043-65. Disponible en: <https://air.unimi.it/handle/2434/188038>
15. Quintana DS. Statistical considerations for reporting and planning heart rate variability case-control studies. *Psychophysiology*. 2017 [acceso: 18/01/2020]; 54(3):344-9. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/psyp.12798>
16. Castro MN, Vigo DE, Chu EM, Fahrer RD, de Achával D, Costanzo EY, *et al.* Heart rate variability response to mental arithmetic stress is abnormal in first-degree relatives of individuals with schizophrenia. *Schizophrenia Research*. 2009 [acceso: 18/01/2020]; 109(1):134-40. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920996409000048>
17. Hammadah M, Kim JH, Al Mheid I, Samman Tahhan A, Wilmot K, Ramadan R, *et al.* Coronary and Peripheral Vasomotor Responses to Mental Stress. *J Am Heart Assoc*. 2018 [acceso: 18/01/2020]; 7(10). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6015339/>
18. Hermann R, Biallas B, Predel H-G, Petrowski K. Physical versus psychosocial stress: effects on hormonal, autonomic, and psychological parameters in healthy young men. *Stress*. 2019;22(1):103-12. DOI: [10.1080/10253890.2018.1514384](https://doi.org/10.1080/10253890.2018.1514384)
19. Balady GJ, Morise AP. Prueba de esfuerzo. En: Mann DL, Zipes DP, Libby P, Bonow RO, eds. Braunwald. Tratado de Cardiología. Texto de Medicina Cardiovascular. Philadelphia: Elsevier; 2016. p. 1068-94.
20. Taelman J, Vandeput S, Spaepen A, Van Huffel S. Influence of Mental Stress on Heart Rate and Heart Rate Variability. En: Vander Sloten J, Verdonck P, Nyssen M, Haueisen J, editores. 4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer; 2009: vol. 22. p. 1366-9. (IFMBE Proceedings). DOI: [10.1007/978-3-540-89208-3_324](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89208-3_324)
21. Hjortskov N, Rissén D, Blangsted AK, Fallentin N, Lundberg U, Søgaard K. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *Eur J Appl Physiol*. 2004;92(1):84-9. DOI: [10.1007/s00421-004-1055-z](https://doi.org/10.1007/s00421-004-1055-z)

22. González-Velázquez VE, Cobiellas-Carballo LI, Rebastillo-Escobar RM, Semanat-Gabely W, Bueno-Revilla D de J, López-Galán E, *et al.* Modifications of the non-linear parameters of the heart rate variability related to the systematic practice of physical exercise. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas.* 2019 [acceso: 19/01/2020]; 38(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03002019000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=en
23. Torres-Leyva M, Carrazana-Escalona R, Ormigó-Polo LE, Ricardo-Ferro BT, López-Galán E, Ortiz-Alcolea L, *et al.* Respuesta autonómica cardiovascular durante la prueba isométrica cubana del peso sostenido. *CorSalud.* 2019 [acceso: 23/01/2020]; 11(1):1-10. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2078-71702019000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
24. González-Velázquez VE, Pedraza-Rodríguez EM, Carrazana-Escalona R, Moreno-Padilla M, Muñoz-Bustos GA, Sánchez-Hechavarría ME. Cardiac vagal imbalance to the isometric sustained weight test in adolescents with emotional eating behavior. *Physiol Behav.* 2020 ;223:112994. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.112994>
25. Bu N. Poincaré Analysis based on Short-term Heart Rate Variability Data for Stress Evaluation. In: 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC); Honolulu, HI, USA 2018 July 18-21. IEEE Xplore; 2018. p. 1-4. DOI: [10.1109/EMBC.2018.8513019](https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8513019)
26. Sung C-W, Lee H-C, Chiang Y-H, Chiu W-T, Chu S-F, Ou J-C, *et al.* Early dysautonomia detected by heart rate variability predicts late depression in female patients following mild traumatic brain injury. *Psychophysiology.* 2016 [acceso: 23/01/2020]; 53(4):455-64. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/psyp.12575>
27. Cáceres DJLH, Sánchez-Hechavarría ME, Syed EH, Cira EK. Heart Rate Variability analysis as a tool for assessing the effects of chi meditation on cardiovascular regulation. *Revista Cubana de Informática Médica.* 2017 [acceso: 25/01/2020]; 9(1). Disponible en: <http://www.revinformatica.sld.cu/index.php/rcim/article/view/214>
28. Van der Zwan JE, de Vente W, Huizink AC, Bögels SM, de Bruin EI. Physical Activity, Mindfulness Meditation, or Heart Rate Variability Biofeedback for Stress Reduction: A Randomized Controlled Trial. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2015;40(4):257-68. DOI: [10.1007/s10484-015-9293-x](https://doi.org/10.1007/s10484-015-9293-x)

29. Pradnya D, Nalini A, Nagarathna R, Raju TR, Sendhilkumar R, Meghana A, *et al.* Effect of Yoga as an Add-on Therapy in the Modulation of Heart Rate Variability in Children with Duchenne Muscular Dystrophy. *Int J Yoga.* 2019 [acceso: 25/01/2020]; 12(1):55-61. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6329227/>
30. Lim S-J, Kim C. Effects of Autogenic Training on Stress Response and Heart Rate Variability in Nursing Students. *Asian Nursing Research.* 2014 [acceso: 25/01/2020]; 8(4):286-92. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S197613171400070X>
31. Britton DM, Kavanagh EJ, Polman RCJ. Validating a Self-Report Measure of Student Athletes' Perceived Stress Reactivity: Associations with Heart-Rate Variability and Stress Appraisals. *Front Psychol.* 2019 [acceso: 25/01/2020]; 10:1083. DOI: [10.3389/fpsyg.2019.01083](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01083)
32. Ristic-Djurovic JL, Cirkovic S, Mladenovic P, Romcevic N, Trbovich AM. Analysis of methods commonly used in biomedicine for treatment versus control comparison of very small samples. *Computer Methods and Programs in Biomedicine.* 2018;(157):153-62. DOI: [10.1016/j.cmpb.2018.01.026](https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.01.026)

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

1. *Conceptualización:* David de Jesús Bueno-Revilla; Erislandis López-Galán; Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.
2. *Curación de datos:* Elys María Pedraza-Rodríguez, Víctor Ernesto González-Velázquez; Margarita Montes de Oca.
3. *Análisis formal:* Elys María Pedraza-Rodríguez, Víctor Ernesto González-Velázquez; Margarita Montes de Oca Carmenaty; Kathleen Nicole González Medina; Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.
4. *Adquisición de fondos:* David de Jesús Bueno-Revilla; Erislandis López-Galán; Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.

5. *Investigación*: Elys María Pedraza-Rodríguez; Víctor Ernesto González-Velázquez; Margarita Montes de Oca Carmenaty; Kathleen Nicole González Medina; Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.
6. *Metodología*: Gustavo A. Muñoz-Bustos; David de Jesús Bueno-Revilla; Erislandis López-Galán; Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.
7. *Administración del proyecto*: David de Jesús Bueno-Revilla; Erislandis López-Galán.
8. *Recursos*: David de Jesús Bueno-Revilla; Erislandis López-Galán; Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.
9. *Software*: Gustavo A. Muñoz-Bustos; Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.
10. *Supervisión*: Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.
11. *Validación*: Gustavo A. Muñoz-Bustos.
12. *Redacción – borrador original*: Elys María Pedraza-Rodríguez; Víctor Ernesto González-Velázquez; Margarita Montes de Oca Carmenaty; Kathleen Nicole González Medina.
13. *Redacción – revisión y edición*: Gustavo A. Muñoz-Bustos; David de Jesús Bueno-Revilla; Erislandis López-Galán; Miguel Enrique Sánchez-Hechavarría.